

Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen.

Protection of populated territories from floods, debris flow, mass movements, and avalanches.

Protection du territoire contre les crues, le laves torrentilles, le mouvements de masse et les avalanches.

Protezione del territorio da alluvioni, colate detritiche, frane e valanghe.



Conference Proceedings

26-30 May 2008

Dornbirn Vorarlberg Austria

www.interpraevent.at



INTERPRAEVENT

International
Research Society



die.wildbach
und lawinerverbauung

Vol. 1

Published by the International Research Society INTERPRAEVENT, Klagenfurt, Austria

INTERPRAEVENT 2008 – Conference Proceedings, Vol.1
ISBN 978-3-901164-10-1

© 2008 International Research Society INTERPRAEVENT

Edited by the INTERPRAEVENT Science & Technology Board:

Matjaž Mikoš

Johannes Huebl

and Gernot Kobltschnig

The authors bear full responsibility for the contents of their contribution.

All rights reserved; no part of this publication may be reproduced, stored or retrieved in any form or by any means without the prior written permission of the International Research Society INTERPRAEVENT.

Printed in Austria by ☞ Kreiner Druck, Villach/Spittal

Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen.

Protection of populated territories from floods, debrisflow, mass movements, and avalanches.

Protection du territoire contre les crues, le laves torrentilles, le mouvements de masse et les avalanches.

Protezione del territorio da alluvioni, colate detritiche, frane e valanghe.

26-30 May 2008

Dornbirn Vorarlberg Austria

www.interpraevent.at

Conference Proceedings

Keynotes, River Basin Management, Torrents

Vol. 1

PREFACE

In 2008, the International Research Society INTERPRAEVENT, founded in 1968 in Austria, celebrates its 40th Anniversary. The society developed from a research association in Austria to a recognised and well known international research network with 11 international members as well as numerous national members such as corporate bodies, local authorities, companies or even individuals.

One of the main events and services INTERPRAEVENT offers, is the congress every 4 years. The 11th INTERPRAEVENT Congress in Dornbirn is organised by the Forest Engineering Service on Torrent and Avalanche Control, Department Vorarlberg. The general congress theme is »**Protection of living space from floods, debris flows, avalanches and mass movements**«. The congress venue, which is close to the so-called »Dreilaendereck« fits well to the international essence of the INTERPRAEVENT.

The interest to present latest research results and practical experiences in the field of protection from natural hazards, such as floods, debris flows, avalanches and mass movements, was large. The International Scientific Committee selected 129 potential full papers from 241 submitted extended abstracts. The internationality of the congress was stressed by the nationality of the contributing authors, coming from 21 countries, 9 of them outside of Europe (People's Republic of China, Japan, Malaysia, Nepal, Republic of China (Taiwan), Uzbekistan, Russia, Turkey, and Venezuela). Altogether 102 full papers were received, and after revision, 100 revised full papers were accepted for publication. Finally, the full papers were printed in two congress proceedings volumes grouped in the congress themes.

VOL 1: river basin management, torrents

VOL 2: disaster management, mass movements, risk management, and protection forest and avalanches

INTERPRAEVENT Science & Technology Board

Matjaž Mikoš, Chairman

Johannes Huebl, Co-chairman

INTERPRAEVENT Business Administration

Gernot Koboltschnig

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Aller Doerte, Zurich
Armanini Aronne, Trento
Berger Frederick, Grenoble
Beyer-Portner Niki, Billens
Chen Su-Chin, Taichung
Cui Peng, Chengdu
Fiebiger Gernot, Salzburg
Frei Rosa, Dornbirn
Gutknecht Dieter, Vienna
Huebl Johannes, Vienna
Kanonier Arthur, Vienna
Kienholz Hans, Bern
Kirnbauer Robert, Vienna
Klaghofer Eduard, Petzenkirchen
Kreuzer Stefan, Tulln
Lied Karstein, Oslo
Lundström Karin, Linköping
Margreth Stefan, Davos
Marui Hideaki, Niigata
Marutani Tomomi, Sapporo
Mikoš Matjaž, Ljubljana
Moser Michael, Erlangen
Nestmann Franz, Karlsruhe
Poisel Rainer, Vienna
von Poschinger Andreas, Munich
Romang Hans, Davos
Ruch Christophe, Graz
Rudolf-Miklau Florian, Vienna
Scotton Paolo, Padova
Simonini Paolo, Padova
Strauss Alfred, Vienna
Thoeni Magdalena, Innsbruck
Wieprecht Silke, Stuttgart
Zingari Pier Carlo, Chambéry
Zollinger Fritz, Zurich

INHALT / CONTENT / CONTENU / INDICE

KEYNOTES

FLOOD RISK ANALYSIS: UNCERTAINTIES AND VALIDATION Merz B., Kreibich H., Apel H.	15
WIEVIEL SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN KÖNNEN WIR VERSPRECHEN? Petrascheck A.	25
DER ALPENRHEIN – VERSUCH EINER NACHHALTIGEN ENTWICKLUNG FÜR DEN GRÖSSTEN ALPINEN WILDFLUSS Stalzer W.	31

FLUSSGEBIETSMANAGEMENT / RIVER BASIN MANAGEMENT / GÉSTION DES BASSINS HYDRAULIQUES / GESTIONE BACINI IDRAULICI

3 RD RIVER RHONE TRAINING PROJECT – OBJECTIVES, SOLUTIONS AND SPATIAL DEVELOPMENT Arborino T.	41
OPERATIONELLE HOCHWASSERVORHERSAGEN FÜR DAS EINZUGSGEBIET DES RHEINS IN DER SCHWEIZ Bürgi T.	51
TYPHOONS' EFFECTS ON LONG-TERM WATERSHED SEDIMENT MANAGEMENT IN SHIHMEN RESERVOIR IN TAIWAN Chen S., Lai Y., Wang C.	63
INTEGRATION OF FLOOD RISK INFORMATION INTO LAND USE PLANNING IN NORWAY Fergus T., Berg H.	71
RIVER BRENTA DEFENCE BY CONTROLLED FLOODING Ferri M., Giuriato F.	79
AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES FLUVIAUX A BUTS MULTIPLES – APPROCHE SYSTEMIQUE ET INTEGRATION DU MARNAGE, DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE ET DES ASPECTS SOCIAUX Heller P., Schleiss A.	89
UNWETTERSCHÄDEN IN DER SCHWEIZ 1972-2007 – MIT BESONDERER BETRACHTUNG DES AUGUST-HOCHWASSERS 2005 Hilker N., Hegg C., Zappa M.	99

EINSCHRÄNKUNGEN BEI ABFLUSS- UND GESCHWINDIGKEITSMESSUNGEN SOWIE UNSICHERHEITEN BEI VERFAHREN ZUR ABSCHÄTZUNG VON HOCHWASSERSPITZEN IN WILDBÄCHEN Hodel H., Petrascheck A.	111
TWO LARGE LANDSLIDE DAMS AND OUTBURST DISASTERS – IN THE SHINANO RIVER, CENTRAL JAPAN Inoue K., Mori T., Mizuyama T.	121
MODELLVERSUCHE DER RHONE BEI VISP (SCHWEIZ) UNTER BETRACHTUNG MEHRERER WASSERBAULICHER ASPEKTE Jenzer J., Carvalho Pereira S., Federspiel M., Boillat J.-L.	131
FLOOD FORECAST AND FLOOD MANAGEMENT MODEL – OPTIMIZATION OF THE OPERATION OF STORAGE POWER PLANTS FOR FLOOD ROUTING Jordan F., Garcia Hernandez J., Boillat J.-L., Schleiss A.	141
DAS LINTHWERK ZWISCHEN GESTERN UND MORGEN Jud M., Loat R.	153
HOCHWASSERSCHUTZ KÖTSCHACH/MAUTHEN – VERGLEICH VON SOHLSTABILISIERUNGSMASSNAHMEN IN DER GAIL Krassnitzer T., Stephan U.	165
EIN FRÜHWARNSYSTEM FÜR DEN THUNERSEE – HYDRO-METEOROLOGISCHE INDIKATOREN FÜR DEN BETRIEB DES ENTLASTUNGSSTOLLENS IN THUN Mani P., Schmocker P., Bollaert E., Andres M.	177
RISIKOABSCHÄTZUNG FÜR EINEN HYPOTHETISCHEN TALSPERRENBRUCH Pohl R., Bornschein A.	187
OUTFLOW ANGLE FOR SIDE WEIRS IN A CHANNEL WITH MOBILE BED AT FLOOD DISCHARGES Rosier B., Boillat J.-L., Schleiss A.J.	199
EIGENDYNAMISCHE FLUSSMORPHOLOGISCHE PROZESSE IN ZUSAMMENHANG MIT FLUSSAUFWEITUNGEN ALS PRAXISBEISPIEL FÜR DEN MODERNEN WASSERBAU Schober S., Formann E., Mandler H., Habersack H.	209
INTEGRATED LAND USE PLANNING AND RIVER BASIN MANAGEMENT (ILUP) Siegel H., Schabl A.	221
HORA – AN AUSTRIAN PLATFORM FOR NATURAL HAZARDS AS A NEW WAY IN RISK COMMUNICATION Stiefelmeyer H., Hlatky T.	229

GEWÄSSERBETREUUNGSKONZEPT DORNBIRNERACH – WASSERWIRTSCHAFTLICHE ERGEBNISSE Vondrak D.	237
--	-----

ENTWICKLUNGSKONZEPT ALPENRHEIN Zarn B.	247
--	-----

WILDBÄCHE / TORRENTS / TORRENTS / TORRENTI

EMPIRISCHE MODELLE ZUR GESCHIEBEFRACHTABSCHÄTZUNG KALIBRIERUNG UND EINGRENZUNG UNTERSCHIEDLICHER MODELLE Bertschi W., Hunziker G., Kienholz H.	261
---	-----

UNERWARTETE PROZESSE IN EINEM GESCHIEBESAMMLER DER GESCHIEBESAMMLER “STIGLISBRÜCKE” AM SCHÄCHEN WÄHREND DES HOCHWASSERS VOM AUGUST 2005 Bezzola G.R.	271
--	-----

RISK ASSESSMENT OF DEBRIS FLOW DISASTER IN SONGHE COMMUNITY IN TAIWAN Chen S., Wu C., Ko Y., Huang B.	283
--	-----

GESCHIEBETRANSPORTMODELLIERUNG IN WILDBÄCHEN UND VERGLEICH DER MORPHOLOGISCHEN VERÄNDERUNG MIT LIDAR DATEN Chiari M., Mair E., Rickenmann D.	295
--	-----

REMEDIAL WORKS AGAINST DEBRIS FLOWS AFTER THE 2000 FLOODS IN VALLE D’AOSTA Di Pietro P., Tinti M.	307
--	-----

SEDEX – EINE PRAXISTAUGLICHE METHODIK ZUR BEURTEILUNG DER FESTSTOFFLIEFERUNG IN WILDBÄCHEN Frick E., Kienholz H., Roth H.	319
--	-----

GESCHIEBELIEFERUNG ALPINER WILDBACHSYSTEME BEI GROSSEREIGNISSEN Gertsch E., Kienholz H.	331
--	-----

EXPERIMENTAL APPROACH ON MEASUREMENT OF IMPULSIVE FLUID FORCE USING DEBRIS FLOW MODEL Ishikawa N., Inoue R., Hayashi K., Hasegawa Y., Mizuyama T.	343
--	-----

NUMERISCHE HYDROLOGISCHE UND HYDRAULISCHE SIMULATION DER AUSWIRKUNGEN EINER MÖGLICHEN FLUTWELLE IM RAHMEN EINER RISIKOANALYSE UND RISIKOMANAGEMENTS AM SUGGADINBACH Jäger G., Moser M.	355
OPTIMIERUNG DES GESCHIEBEABLAGERUNGSPLATZES VORDERBERGERBACH, ÖSTERREICH – EIN PHYSIKALISCHER MODELLVERSUCH Kaitna R., Kerschbaumer M., Kapeller H., Zlatic-Jugovic J., Zott F., Hübl J.	367
VERGLEICHENDE RHEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN VON MURGANMATERIAL – ROTIERENDE TROMMEL UND KUGELRHEOMETER Kaitna R., Rickenmann D., Schatzmann M.	379
GESCHIEBEKATASTROPHEN DURCH DEN TAIFUN „RUSA“ NACH WALDBRÄNDEN AN DER OSTKÜSTE DER REPUBLIK KOREA Kimura M., Chun K., Marutani T., Kim S.	391
MESSUNG DER GESAMTEN GESCHIEBEFRACHT IM ABE-RIVER MIT EINER GESCHIEBEFALLE Kondo R., Hashinoki T.	403
DAS EF30FORWARD KONZEPT EIN HINWEISINSTRUMENT ZUR ERMITTLUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT UND FUNKTIONSEFFIZIENZ VON WASSERSCHUTZBAUTEN Mazzorana B.	415
MONITORING SEDIMENT TRANSPORT IN MOUNTAIN TORRENTS Mizuyama T., Satofuka Y., Laronne J., Nonaka M., Matsuoka M.	425
RECENT TRENDS IN JAPANESE SABO MODEL EXPERIMENT TECHNOLOGY Oda A., Hasegawa Y., Sugiura N., Mizuyama T.	433
HOCHWASSERSCHUTZ VORDERBERG UNTER DEM ASPEKT GESCHIEBETRANSPORT UND BINNENSTAU Porzer W., Poglitsch H.	445
BEOBACHTUNGS- UND KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN ZUR FESTSTOFFTRANSPORTKONTROLLE AM RIEGERBACH, ÖSTERREICH Praschnig C., Hübl J., Zott F.	455
HOCHWASSER UND SEDIMENTTRANSPORT WÄHREND DES UNWETTERS VOM AUGUST 2005 IN DER SCHWEIZ Rickenmann D., Hunzinger L., Koschni A.	465

ABLAGERUNGSVERHALTEN UND REICHWEITEN ALPINER MURGÄNGE Scheidl C. Rickenmann D.	477
GLYSSIBACH BRIENZ, SCHWEIZ: HOCHWASSER UND MURGANGEREIGNIS VOM 22./23. AUGUST 2005 SCHUTZMASSNAHMEN GEGEN ZUKÜNFTIGE HOCHWASSER UND MURGÄNGE Speerli J., Grob M., Künzi R., Wyss P., Zimmermann M., Pozzi A.	489
MURGANGAKTIVITÄT AUF EINEM BEWALDETEN KEGEL DER SCHWEIZER ALPEN SEIT DEM SPÄTEN HOLOZÄN LEHREN AUS DER DER VERGANGENHEIT – AUSWIRKUNGEN FÜR DIE ZUKUNFT Stoffel M.	501
JAHRRINGREKONSTRUKTION VERGANGENER MURGANGEREIGNISSE UND ERKENNUNG KÜNFTIGER RISIKEN IN 32 WILDBÄCHEN DER WALLISER ALPEN (SCHWEIZ) Stoffel M.	513
INSPEKTION UND ÜBERWACHUNG VON SCHUTZANLAGEN DER WILDBACHVERBAUUNG IN ÖSTERREICH Suda J., Jenni M., Rudolf-Miklau F.	525
CHEMICAL WEATHERING RATES FROM WATERSHEDS IN THE TATEYAMA CALDERA, CENTRAL JAPAN Watanabe N., Hizuka T., Cheibany O.E., Marui H.	537
HAZARD PREVENTION USING FLEXIBLE MULTI-LEVEL DEBRIS FLOW BARRIERS PROTECTION AGAINST DEBRIS FLOWS BY INSTALLATION OF 13 FLEXIBLE BARRIERS IN THE MILIBACH RIVER (CANTON BERNE, SWITZERLAND) Wendeler C., Volkwein A., Roth A., Herzog B., Hählen N., Wenger M.	547

Keynotes

FLOOD RISK ANALYSIS: UNCERTAINTIES AND VALIDATION

Bruno Merz¹, Heidi Kreibich¹, Heiko Apel¹

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Quantifizierung des Hochwasserrisikos werden Risikoanalysen durchgeführt. Solche Analysen beschäftigen sich typischerweise mit extremen Ereignissen und Versagensszenarios, die zum Zeitpunkt der Analyse kaum oder überhaupt nicht beobachtet wurden. Aus diesem Grund sind Risikoanalysen mit beträchtlicher Unsicherheit verbunden. Analysen zur Unsicherheit von Hochwasser-Risikoaussagen werden heute immer noch selten durchgeführt. Dieser Beitrag argumentiert für die Durchführung von Unsicherheitsanalysen und zeigt, dass diese (1) Risikoanalysen verbessern, (2) die Validierung bzw. Plausibilisierung von Risikoanalysen unterstützen, und (3) eine zusätzliche Information für die Entscheidungsfindung sind.

Keywords: Risikoanalyse, Unsicherheiten, Entscheidungsfindung

ABSTRACT

The aim of flood risk analyses is to quantitatively assess the flood risk. In its broad sense, flood risk is defined as the probability of adverse consequences due to inundation. Flood risk analyses are typically dealing with extreme events and failure scenarios which have hardly been (or not at all) observed. Therefore, flood risk assessments are accompanied with considerable uncertainty. Today, it is not standard practice to explicitly analyse the uncertainty bounds of flood risk estimates. This paper discusses the value of uncertainty analysis for flood risk analysis. We argue in favour of uncertainty analyses in flood risk assessments, since uncertainty considerations (1) improve risk analyses, (2) help to confirm or falsify risk analyses, and (3) support decision-making.

Keywords: risk analysis, uncertainties, decision making

INTRODUCTION

Decisions on flood mitigation and risk management are usually based on flood risk assessments. Such assessments may be associated with significant uncertainty (e.g. Apel et al., 2004, 2006, Merz et al., 2004, Downton et al., 2005). Although uncertainty analysis has received increased attention in hydrology and risk analysis during the last years, it is still not standard practice. In flood risk analysis, explicit quantification of uncertainty is the exception, rather than the rule. Pappenberger and Beven (2006) discuss seven arguments that are

¹ GeoForschungsZentrum Potsdam, Telegrafenberg, 14473 Potsdam, Germany, bmerz@gfz-potsdam.de

frequently raised against the use of uncertainty analysis in hydrological and hydraulic modelling, and advance the view that these arguments are not tenable. Similarly, we emphasise the value of uncertainty considerations in flood risk analysis. We argue that uncertainty considerations (1) improve flood risk analyses, (2) help to confirm or falsify risk analyses, and (3) support decision-making for flood risk mitigation. In the following, we use a broad definition of the term risk. We define flood risk as the probability of adverse consequences due to inundation. Therefore, risk encompasses flood hazard (i.e. flood discharges and associated probability) and flood damages.

UNCERTAINTY CONSIDERATIONS IMPROVE FLOOD RISK ANALYSIS

The quantification of the flood risk of a certain area is a process where many decisions have to be made. The spectrum of possibilities to model the flood risk chain ‘triggering weather event – runoff generation in the basin – flood routing – behavior of flood defense systems – inundation – damage’ is wide, from complex approaches involving numerical simulation models (e.g., Dutta et al., 2003) to simplified approaches, such as the combination of flood frequency analysis with loss estimation (e.g., Merz et al., 2002). The risk analyst has to decide on the overall risk analysis approach, on the processes that are included, on the representation of the processes by models, and on the model parameterization, including the level of detail and boundary conditions. For most choices no clear-cut answers can be given, however, these choices influence the estimation of the flood risk. Further, the overall uncertainty of a risk estimate results from the superposition of several uncertainty sources. These sources have different relevance for the risk estimate, and therefore, for the decision that has to be made on the basis of the risk analysis. Given this situation, uncertainty analysis helps to identify the weak points of a flood risk analysis. It guides the efforts for assembling further information and data that are supposed to be most valuable for constraining the uncertainty, and therefore, to improve the risk estimate.

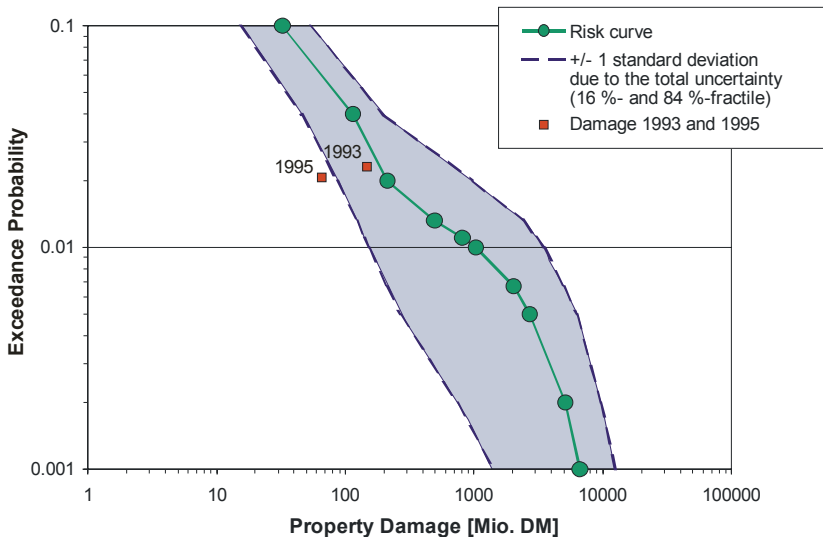


Fig1: Flood risk curve for Cologne, including uncertainty bounds (Merz et al., 2002)

This argument is illustrated by means a flood risk analysis for the city of Cologne/Germany (Merz et al., 2002). Flood risk is estimated based on three modules: flood frequency analysis, transformation of flood discharges into river water levels (rating curve), and estimation of direct monetary flood damage for Cologne (damage stage relation), given certain river water levels. The modules describe the flood processes in a simplified form, allowing for calculation of a very large number of damage scenarios. By means of a second order Monte Carlo simulation, uncertainty bounds are derived for the risk estimates. Fig. 1 shows the flood risk curve for Cologne, including an uncertainty band. In a further step, the significance of the uncertainty of the three modules is assessed. Fig. 2 gives the (theoretical) reduction of the flood risk uncertainty if a module carried no uncertainty at all, i.e. we provided a perfect module. To derive this figure, the uncertainty calculations were repeated, successively switching off the uncertainty that is attached to each module.

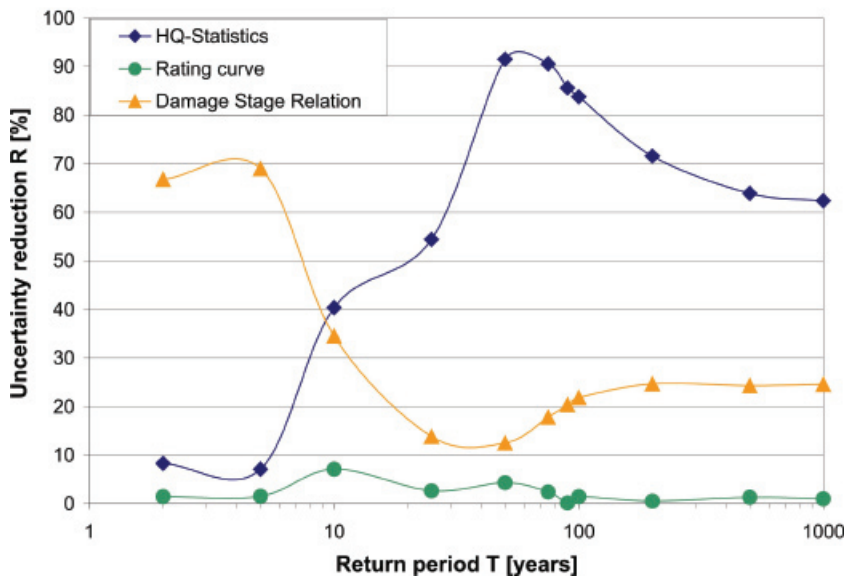


Fig2: Uncertainty reduction as indicator for the significance of the different uncertainty sources (Merz et al., 2002)

Fig. 1 illustrates that the overall uncertainty is significant. Interestingly, the uncertainty bound is widest (at least in the log-diagram) for exceedance probabilities around 0.01 (return period T of 100 years). This effect is the result of threshold processes linked to the flood defence system of Cologne. Several of the flood defence systems are designed for design floods of around 50 to 100 years. Small uncertainties in the estimations of discharges associated with such return periods can lead to large differences in damage, depending on whether a certain flood defence system fails or not. If it does not fail, there is no damage; if it fails, there may be a significant damage. This threshold effect translates into comparably large uncertainty bounds.

Fig. 2 shows that the contribution of the different components of the flood risk analysis to the overall uncertainty varies considerably. Furthermore, the contribution varies with the return period. For small floods (return period $T < 10$ years), the overall uncertainty is dominated by the damage estimation. For larger floods, the flood frequency analysis dominates the overall uncertainty.

In this way, the uncertainty analysis gives additional insight and enhances the risk analysis. It shows that the risk estimate is uncertain which may influence the decisions on flood mitigation. If the uncertainty is deemed too large to be acceptable for a decent decision, the uncertainty analysis helps to prioritize further efforts. In the given case, further work should go into improving the flood frequency estimates for return periods around 100 years.

The separation of risk and uncertainty, as it is shown in Fig. 1, is only possible if two basic types of uncertainty are distinguished in the risk analysis: aleatory and epistemic uncertainty (e.g., Merz and Thielen, 2005). Aleatory uncertainty stems from variability of the process under study. It refers to quantities that are inherently variable over time, space, or populations of individuals or objects. It exists, for example, in the maximum runoff of a catchment in consecutive years, or in the infiltration capacity across a catchment. Epistemic uncertainty results from incomplete knowledge, i.e. a lack of knowledge about quantities that have fixed but poorly known values. It depends on the ability to understand, measure, and describe the system under study. For example, if we use a mathematical model, epistemic uncertainty may arise in the process of choosing a specific value for the model parameters. The important issue in this context is that epistemic uncertainty can be reduced whereas aleatory uncertainty is not reducible. Merz and Thielen (2005) elaborate on this concept for flood frequency analysis.

Another challenge that flood risk assessments face is the complexity of the models describing the flood processes, especially those of the hydraulic models estimating inundated areas. This results in extensive simulation times and restricts the possibilities of incorporating these models in Monte Carlo based uncertainty analysis, because only a few scenarios can be simulated. The problem increases with the spatial scale of the analysis, for example, if risk assessments are needed for large catchments or extended river reaches. Faced with such situations, risk analysts and modellers prefer to use complex models; an uncertainty analysis is rarely performed. They argue that reliable information about the inundation processes is required in order to get reliable risk assessments. A typical example is the calculation of inundation scenarios including river dike breaching. Complex hydrodynamic simulations are performed, however, just for a very limited number of scenarios. Important aspects of the problem, e.g., location of breach, point in time, width of breach, flood event leading to the breach, are chosen in advance. In our view, this combination of very sophisticated hydrodynamic modelling and negligence of uncertain, however important aspects may not be suitable. In many cases a more appropriate approach is to put more efforts in the investigation of models of reduced complexity, which describe the essential flood processes sufficiently, but with reduced computational demand. The simplified models would be amenable for probabilistic risk assessments and uncertainty analysis. One example of this approach can be found in Apel et al. (2004, 2008). The authors developed a flood risk assessment model for complete river reaches protected by dikes. The model includes simplified simulation approaches for flood routing in the channel, dike breaches, and floodplain inundation, amongst others. These models could be embedded in a Monte Carlo framework for both a comprehensive flood risk assessment and an uncertainty analysis considering several uncertainty sources. The model produced flood risk estimates for the river reach under study, the Lower Rhine in Germany, and associated uncertainty bands for selected or all considered uncertainty sources (Apel et al. 2008). This simplified system is able to describe the dominant processes and their interaction along the river reach. For example, it facilitates the

quantification of the decrease of dike failure probabilities downstream of a dike breach. If a dike breach leads to a significant reduction of the flood peak in the main river, due to large water volumes flowing into the dike hinterland, the dike stretches downstream of the breach location are less prone to breaching.

UNCERTAINTY CONSIDERATIONS HELP TO CONFIRM OR FALSIFY RISK ANALYSES

Models can be validated, or more correctly phrased (Oreske et al., 1994), confirmed or falsified by the demonstration of agreement between prediction and observation. In hydrological modeling this is usually tantamount to comparing observed and simulated time series, e.g., river discharge. The traditional model validation approach, therefore, is based on two assumptions: (1) the system states that are relevant for the purpose of the analysis can be observed, and (2) observations are reliable. These assumptions are mostly fulfilled when the rainfall-runoff behavior of a gauged catchment is simulated. The system states of interest may be repeated many times if a reasonably long time series of observed river discharge is available, and the measurement errors are small.

For flood risk analysis, these assumptions are usually not valid (Hall and Anderson, 2002). The system states of interest, e.g., the 1000-year flood and its associated damages, are rare, and are seldom or not at all contained in the available observations. In some cases the relevant system states cannot be observed since they are unrepeatable. Usually, the failure of a flood defense system is an unrepeatable event. When a failure occurs, people tend to rebuild the defense system with higher safety targets. For example, during the flood in August 2002 more than 130 river dyke breaches occurred in Germany. After the flood, the dyke restoration measures did not restore the situation before the flood – rather, the dykes that were retrofitted are much stronger today than in summer 2002.

Another grave problem is that flood observations, such as river water level, discharge, inundation area and flood damage, are plagued by large measurement errors. The problem of errors in the measurement of flood discharge is well-known among hydrologist. However, they are much less aware of the problematic nature of damage data. The uncertainties associated with damage data is a common problem, since there are no standardized methods or routines to collect and update flood damage data. Depending on the severity of the event and on the loss compensation, flood damage is recorded by governmental agencies and insurance companies. Right after a flood event, loss data is collected to provide a basis for decisions about disaster relief assistance (Downton and Pielke, 2005). These data are especially uncertain. For instance, right after the August 2002 flood in Germany, the total flood loss was estimated to be more than 22 billion €. This number was corrected to about 9 billion € by December 2002 (BMI, 2002). Final estimates on basis of actual repair costs suggest a total loss of 11.8 billion € (Kron, 2004). Besides, the amount and type of damage collected is dependent on the compensation programs and the amount of available money. For instance, after the August 2002 flood, the German government launched an emergency relief fund of 500 million € and a reconstruction aid fund of 7.1 billion € (Sonderfond Aufbauhilfe). Affected private households and companies could apply for money if the damaged property was located in the catchments of the rivers Elbe or Danube and if the damage had occurred between 10 and 31 August 2002 due to inundation of rivers, dam or dike breaches or high groundwater levels. Damage caused by heavy rainfall or due to business interruption was not reimbursed. All together, governmental assistance amounted to more than 60% of all losses (Mechler & Weichselgartner, 2003). In contrast, during the severe flood at the Rhine River in 1993 (total losses of 530 million €), only 10% of the losses were compensated by governmental assistance and about 60% of the losses remained uncompensated (Linneroth-

Bayer et al., 2001), i.e. most flood loss data was not recorded in detail. Downton and Pielke (2005) who analyzed historical records of flood damage provided by the National Weather Service (NWS) in the USA reported that damage due to small floods was frequently underestimated or ignored. The collection of damage data is more likely to be systematic and complete in a major flood than in a smaller flood, also since different agencies are more likely to share information about major floods (Downton and Pielke 2005). Loss information from the insurance sector is particularly problematic in countries where insurance coverage is low, which is the case e.g. in Germany or Australia (Blong 2004; Thieken et al., 2006). For example, in Australia small flood losses were not included in the insured losses of the Australian Insurance Disaster Response Organization (Blong, 2004). Another problem was that some loss data could not be allocated to particular events or objects due to a lack of geo-reference and since different data providers used different start and end dates for the same event (Handmer et al., 2005).

Even for a relatively well-documented case, such as the flood situation in Cologne, the available data does not suffice to validate the risk analysis. The last strong floods in 1993 and 1995 have been documented with respect to flood extent and damage (Fig 1). However, it remains unknown how the damage information has been collected and what damage (direct, indirect, economic sectors etc.) is included. Further, the flood risk curve is compared to just two measurement points. Such scarce information gives only a very weak hint about the plausibility of the risk analysis. In summary, it follows that flood risk estimates cannot be validated or falsified in the traditional way. Events are very rare or unrepeatable, and observations are missing or erroneous. We can only make judgements on the basis of evidence.

There are several ways towards confirmation or falsification of flood risk analyses:

- Improve process understanding and causal relationships: The poorer the possibilities for directly observing the system states of interest, the more important is the understanding of the processes dominating the system. The processes and their interaction that may lead to extreme floods and to damage have to be understood, and described by adequate causal models (Hall and Anderson, 2002).
- Assemble all kind of evidence: In order to confirm or falsify risk estimates, any information that may help to constrain the uncertainty should be sought for. Different approaches and different sources of information should be used, as much as possible. Faeh et al. (2002) compare flood hazard analysis with a puzzle. All different pieces of information that may help to appraise hazard estimates should be used (flood estimation puzzle). A similar view - "Mehr-Säulen-Ansatz" ("Multi-Column-Approach") - is promoted by Gutknecht (2005).
- Quantify the uncertainty associated with the risk estimate: If the model cannot be validated using observations, all hypothesis testing should explicitly consider the potential sources of uncertainty (Pappenberger & Beven, 2006). The value of different data types in constraining uncertainty should be assessed. Which assumptions, parameters, data, and relationships are dominating the risk estimate? How reliably can these decisive elements be determined? If the decisive elements are reliable, then the resulting risk estimate is expected to be reliable as well, even if no observations are available. If the decisive elements are contaminated with large uncertainty, then the risk estimate should be used with caution.

This leads to the central question: What is the expected consequence of uncertain elements? Might the uncertainties change the result in such a way that another decision should be taken?

UNCERTAINTY CONSIDERATIONS SUPPORT DECISION-MAKING

The basic assumptions and decisions taken during the course of a risk analysis are hardly presented to the users. Thus, decision makers or the public are rarely aware of the uncertainty and have no chance to assess the uncertainty of the result. Deterministic estimates without an uncertainty range may lead to a loss of credibility and trust in the scientists and the models (if estimate fails) due to the perception of “certain” estimates (Pappenberger & Beven 2006).

On basis of an uncertainty analysis a decision different, most likely better, than the one taken without the knowledge about the uncertainty is possible. The best estimate e.g. on basis of the mean, is a quite limited information in comparison to an uncertainty statement, e.g. the presentation of a complete distribution function. For instance, if a decision on basis of the benefit-cost-ratio has to be taken between two alternative protection measures, this might be strongly influenced by their uncertainty. Risk-averse decision makers which definitely want to avoid a benefit-cost-ratio below one may prefer the alternative with the smaller uncertainty, although it might have a lower benefit-cost-ratio than the other. Others (risk-neutral) may decide for the alternative with the higher mean benefit-cost-ratio, although the probability that a benefit-cost-ratio below one occurs may be substantial.

Palmer (1999) shows by means of a simple decision-model analysis that probability forecasts of weather and climate have greater potential economic value than single deterministic forecasts. Given a probabilistic forecast, different users with different cost/loss ratios will take precautionary action at different forecast probability thresholds. A user which would suffer a catastrophic loss if a certain event occurred would take precautionary action even when a small probability of the event was forecasted. A user for whom precautionary action was expensive in comparison with any loss would take precautionary action only when a relatively large probability of the event was forecasted.

Analysing two flood management case studies in Colorado, Downton et al. (2005) conclude that uncertainty can have substantial impacts on regulatory processes, public safety and costs. The necessary interpretation of uncertain information, such as flood probabilities, leads to different policies with vast public safety implications. Since different stakeholders of the flood management process have different perspectives, the provision of a single “best” estimate may not necessarily meet the decision needs of all stakeholders (Downton et al., 2005).

A similar issue arises due to the fact that risk analyses often contain value decisions. For example, it may be necessary to decided how ecological damage is taken into account in comparison to economic damage. It is important to clarify the influence of such decisions on the final result. Basically, all relevant assumptions and limitations of a risk assessment should be presented.

Another problem with “best” estimates is that non-linear processes and limits of human imagination may lead to “best” estimates which are not really good (Morgan & Henrion, 1990). The quality of decisions can be significantly improved due to uncertainty analyses, since the analysis forces one to consider the whole range of possible outcomes. The focus should be upon critical uncertainties that may change the ordering between decision options (Hall et al., 2006). Some decisions do not need full explicit quantification of uncertainties, e.g. because the best risk management strategy is fairly obvious.

It may be important for decision making to appreciate the degree of disagreement among experts about different hypotheses and its effect on the results (Pate-Cornell, 1996). An uncertainty analysis helps to clarify what is known and what is not. In situations with very large social and political uncertainty, pluralism has been frequently recommended. Diverse policy approaches or measures should be adopted to increase the likelihood that at least some of these will prove useful (Shackley et al., 1998). Additionally, in situations where only very

uncertain statements can be made, provisions have to be made for the case that the analysis underestimates the flood risk. Such a situation is discussed by Zerger et al. (2002). The analysis of the storm surge risk of Cairns, Australia, showed that due to small topographic gradients small errors in the digital elevation model may lead to large differences in the predicted inundation areas. In such a case, it is not sufficient to indicate flooded and non-flooded, i.e. safe, areas for a certain storm surge. It is necessary to prepare evacuations for the case that predictions are wrong and underestimate unsafe areas.

It is often argued that policy makers and the public are not able to understand concepts of uncertainty nor probability. Risk models that show spatial uncertainty may be too complex for interpretation by untrained individuals and may be ignored or misinterpreted (Zerger et al., 2002). Certainly it is a challenge to communicate probabilistic information so that it will be used appropriately. Important for the communication of uncertainties is the target audience (Patt & Dessai 2005). Effective communication should eliminate biases and allow the decision-makers themselves to arrive at wise judgments (Patt & Dessai 2005). Positive examples are probabilistic weather forecasts which are accepted nowadays.

CONCLUSIONS

In our opinion, flood risk analyses should be accompanied by an estimate of the uncertainty of the risk statement. We support this view by examining the value of uncertainty analysis for improving and validating risk estimates, and for decision-making. Uncertainty analysis improves flood risk analysis since it forces the risk analyst to scrutinize assumptions, models and data underlying the risk analysis. It helps to identify the weak points of a risk analysis, and maybe most importantly, it helps to prioritise further information in order to constrain the uncertainty. Further, flood risk analysis cannot be validated in the traditional way, since the necessary observations are lacking. We can only make judgements on the basis of evidence. In this situation uncertainty analysis is a means to support the plausibility of the risk estimate. If the decisive elements of the risk analysis are reliable, then the resulting risk estimate should be reliable as well. Otherwise, the result of the risk analysis should be used with caution. Finally, the value of uncertainty analysis for decision-making is discussed. There are many examples and theoretical considerations that uncertainty analysis may improve decision-making. People are used to take decisions under large uncertainty. Information about the uncertainty of the risk estimate may help to choose among the different flood mitigation options, for example, by allowing the decision-maker to consider his attitude concerning risk aversion. Last but not least, it is an ethical obligation to provide the decision-maker with an idea of the reliability of the risk analysis. In situations with large uncertainty, provisions can be made for the case that the risk is wrongly quantified.

REFERENCES

- Apel, H., Thielen, A., Merz, B., Blöschl, G. (2004), Flood risk assessment and associated uncertainty, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 295-308
- Apel, H., Thielen, A., Merz, B., Blöschl, G., 2006: A probabilistic modeling system for assessing flood risks. *Natural Hazards*, 38(1-2), 79-100
- Apel, H., Merz, B., Thielen, A.H. (2008), Quantification of uncertainties in flood risk assessments, *Journal of River Basin Management*, accepted for publication
- Blong, R. (2004), Residential building damage and natural perils: Australian examples and issues, *Building Research & Information*, 32, 379-390
- BMI (Bundesministerium des Innern) (2002), Bundesregierung zieht vorläufige Schadensbilanz der Hochwasserkatastrophe: bisher finanzielle Hilfe im Umfang von

- über 700 Millionen Euro geleistet (Federal government draws provisional damage balance of the flood disaster: hitherto financial assistance provided to the extent of over 700 million EUR), Press release (6 November 2002), www.bmi.bund.de/dokumente/Pressemitteilung/ix90912.htm
- Downton, M. W., Pielke Jr., R.A. (2005), How accurate are Disaster Loss Data? The Case of U.S. Flood Damage, *Natural Hazards*, 35, 211-228
- Downton, M.W., Morss, R.E., Wilhelmi, O.V., Grunfest, E., Higgings, M.L. (2005), Interactions between scientific uncertainty and flood management decisions: Two case studies in Colorado, *Environmental Hazards*, 6, 134-146
- Dutta D, Herath S, Musiak K. (2003), A mathematical model for flood loss estimation, *Journal of Hydrology*, 277(1-2), 24-49
- Faeh, A., Cavelti, B., Zarn, B., Müller-Lemans, H. (2002), The flood estimation puzzle. In: Intern. Commission for the Hydrology of the Rhine basin, Proc. Intern. Conf. on Flood Estimation, 6-8 March, 2002, Berne, CHR-Report II-17, 469-478
- Gutknecht, D. (2005), Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse, Invited lecture, Kick Off meeting RIMAX, GFZ Potsdam (www.rimax-hochwasser.de/459.html)
- Hall, J.W. (2003), Handling uncertainty in the hydroinformatic process, *Journal of Hydroinformatics*, 05.4, 215-232
- Hall, J., O'Connell, E., Ewen, J. (2006), On not undermining the science: coherence, validation and expertise. Discussion of Invited Commentary by Keith Beven, *Hydrological Processes*, 20, 3141-3146
- Handmer, J., Abrahams, J., Betts, R., Dawson, M. (2005), Towards a consistent approach to disaster loss assessment across Australia, *The Australian Journal of Emergency Management*, 20, 10-18
- Kron, W. (2004), Zunehmende Überschwemmungsschäden: Eine Gefahr für die Versicherungswirtschaft? (Increasing flood damage: a hazard for the insurance industry?), ATV-DVWK: Bundestagung 15-16 September 2004 in Würzburg, DCM, Meckenheim, 47-63
- Linneroth-Bayer, J., Quijano-Evans, S., Löfstedt, R., Elahi, S. (2001), The uninsured elements of natural catastrophic losses, Final report submitted in fulfillment of grant from Tsunami fund UK, IIASA, Laxenburg
- Mechler, R., Weichselgartner, J. (2003), Disaster Loss Financing in Germany – The Case of the Elbe River Floods 2002, Interim Report IR-03-021, IIASA, Laxenburg
- Merz, B., Thielen, A., Blöschl, G. (2002), Uncertainty analysis for flood risk estimation, Intern. Commission for the Hydrology of the Rhine basin, Proc. Intern. Conf. on Flood Estimation, 6-8 March 2002, Berne, CHR Report II-17, 577-585
- Merz, B., Kreibich, H., Thielen, A., Schmidtke, R. (2004), Estimation uncertainty of direct monetary flood damage to buildings, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 153-163
- Merz, B., Thielen, A. (2005), Separating natural and epistemic uncertainty in flood frequency analysis, *Journal of Hydrology*, 309(1-4), 114-132
- Morgan, M.G., Henrion, M. (1990), *Uncertainty: A guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 332 pp.
- Oreske, N., Shrader-Frechette, K., Belitz, K. (1994), Verification, validation and confirmation of numerical models in the earth sciences, *Science*, 263, 641-646
- Pappenberger, F., Beven, K. (2006), Ignorance is bliss. Or seven reasons not to use uncertainty analysis, *Water Resources Research*, 42, W05302, doi:10.1029/2005WR004820

- Pate-Cornell, E. (1996), Uncertainty in risk analysis: Six levels of treatment, *Reliability Engineering and System Safety*, 54, 95-111
- Shackley, S., Young, P., Parkinson, S., Wyne, B. (1998), Uncertainty, complexity and concepts of good science in climate change modelling: Are CGMs the best tools? *Climate Change*, 38, 159-205
- Thieken, A., Petrow, T., Kreibich, H., Merz, B. (2006), Insurability and mitigation of flood losses in private households in Germany, *Risk Analysis*, 26 (2), 383-395
- Zerger, A., Smith, D.I., Hunter, G.J., Jones, S.D. (2002), Riding the storm: A comparison of uncertainty modelling techniques for storm surge risk management, *Applied Geography*, 22, 307-330

WIEVIEL SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN KÖNNEN WIR VERSPRECHEN?

WHICH DEGREE OF PROTECTION AGAINST NATURAL HAZARDS ARE WE PROMISING?

Petrascheck Armin¹

ZUSAMMENFASSUNG

Von der Gefahrenabwehr zur Risikokultur: dieser Kernsatz der schweizerischen Strategie zum Schutz des Lebensraumes bedeutet eine Erweiterung der Zielsetzung. Nicht nur alle Möglichkeiten der Schadenbewältigung und Prävention sind in Betracht zu ziehen, sondern auch grössere Räume und alle betroffenen Wirtschaftszweige. Eine zentrale Grösse bei der Quantifizierung des Risikos war und ist die Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadenereignisses. Der Klimawandel vereinfacht diese Aufgabe nicht. Das steigende Schadenpotential und die beobachtete zunehmende Zahl von Katastrophen zwingen uns jedoch, Ereignisse in Schutzkonzepte aufzunehmen, deren Wahrscheinlichkeit wir letztlich nicht kennen.

Keywords: Risiko Management, Schutzziele, Hochwasserwahrscheinlichkeit

ABSTRACT

From flood defence to risk culture is the key element of the Swiss strategy to protect our living space against natural hazards. This implies an amplification of the objectives incorporating overall economic development in a space larger than the actual damage area and considering all possibilities to minimize damages. A key element in the quantification of the risk is the determination of the probability of a damage event. Climatic change makes this task even more difficult. The increasing damage potential and the recently observed increasing number of severe disasters require taking into account extreme events where we do not know the corresponding probability.

Keywords: Risk management, protection objectives, flood probability.

HINTERGRUND

Nicht nur das Klima ist im Wandel, sondern auch das Vorgehen beim Schutz vor Naturgefahren: Integrale Schutzkonzepte, risikobasiertes Vorgehen, nachhaltige Lösungen sind gesucht. Wir - und damit sind alle Fachleute gemeint - sind uns einig: ob LAWA Leitlinien (Deutschland) zum

¹ Wasserwirtschaftlicher Berater, Goldwandstrasse 6, CH-5408 Ennetbaden, Schweiz
(Tel.: +41-56-2222603; Fax: +41-56-2222670; e-mail: apetrascheck@bluewin.ch),

vorsorgenden Hochwasserschutz oder die Strategie der PLANAT (Schweiz): Risikokultur an Stelle von Gefahrenabwehr, oder die Grundsätze von „Flood Risk“ (Österreich) sind, wenn nicht gleich, so doch sehr ähnlich. Ist aber die Welt in Ordnung, wenn wir uns einig sind? Letztlich beanspruchen wir öffentliche Gelder um die Vorhaben zu verwirklichen und wenn die Öffentlichkeit Gelder freigibt, will sie wissen, was sie dafür erhält. In der Schweiz müssen verschiedene Schutzkonzepte von der Gemeindeversammlung bewilligt werden. Der Inhalt eines risikobasierten, integralen Schutzkonzepts wird aber nicht überall gleich verstanden oder interpretiert. Es geht viel mehr um Fragen wie: Was kostet das Vorhaben? Wie weit verändert es die vertraute Umgebung? Welchen Schutz bringt es und welchen nicht? Die Frage nach dem richtigen Schutzgrad, also dem Bemessungsereignis, ist auch heute nicht einfach zu beantworten.

DAS SCHUTZBEDÜRFNIS

Sicherheit ist ein soziales Grundbedürfnis des Menschen. Es steht neben „ökologisch“ und „ökonomisch“ ganz hoch in der Werteskala der Nachhaltigkeit. Die Forderung nach einem risikogerechten Schutz ist aber letztlich nur eine andere Formulierung für die Wirtschaftlichkeit: der Ertrag (vermiedenes Risiko) soll den Aufwand (Kosten) rechtfertigen. Das kann gedeutet werden, dass der Schutz wieder der Ökonomie untergeordnet wird. Dies ist jedoch nicht der Fall, aber ein Wandel hat sich vollzogen. Schutzziele waren als normative Grössen vorgegeben: „Jede Siedlung hat Anspruch auf den Schutz vor einem 100 jährlichen Hochwasser.“ Das machte die Sache für den Planer einfach und stützte das Gefühl sozialer Gerechtigkeit. Aber es ist nur ein scheinbarer Wandel, denn jeder, der je eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt hat, weiss, dass der Nachweis der Wirtschaftlichkeit für eine Siedlung meist einfach zu erbringen ist. Für einzelne Bauten galt der Grundsatz hingegen nie. Man sollte den Grundsatz der risikogerechten Planung immer als Ausbau der Sicherheit verstehen, also, dass dort, wo höhere Werte vorhanden sind, auch umfassender geschützt werden soll. Also sind auch Ereignisse jenseits des „100 jährlichen Ereignisses“ einzubeziehen. Der Wechsel von den normativen Vorgaben soll bewirken, dass wir uns vertieft mit den möglichen Ereignissen auseinandersetzen.

Für Sachwerte ist die Forderung nach der Verhältnismässigkeit, also dass Aufwand und Ertrag sich zumindest die Waage halten, leicht nachvollziehbar. Beim Schutz von Leib und Leben streben wir einen möglichst vollständigen Schutz an. Wissend, dass dieser nie ganz erreicht werden kann, setzen wir in den Risikoanalysen sehr hohe Zahlen für den Verlust von Menschenleben ein. Wir sind uns bewusst, dass dies ein Konstrukt ist – aber zumindest ist es eine Methode um die Grenzen der Verhältnismässigkeit aufzuzeigen. Implizit ist der höhere Schutz von Menschenleben auch in den normativen Vorgaben enthalten. Wildbäche gefährden Menschenleben eher als langsam steigende Flüsse. Darum ist es gerechtfertigt, bei Wildbächen einen höheren Schutzgrad zu verlangen als im Flussbau. Lawinen sind, wenn sie ein Gebäude erreichen, meist tödlich. Die holländischen Vorschriften, die Flüsse auf ein 1250 jährliches Hochwasser und die Seedeiche auf ein 10'000 jährliches Ereignis auszubauen, kommen aus der leidvollen Erfahrung der Sturmflut vom Februar 1953, die etwa 2000 Todesopfer forderte. Derart hohe Wiederkehrperioden sind daher ein Ausdruck des Wunsches: „Das soll nie wieder passieren.“

Da Sachwerte und Personengefährdung nicht immer klar zu trennen sind, sind wir in einem Dilemma zwischen dem angemessenen und dem möglichst hohen Schutzgrad. Die Akzeptanz von Sachschäden ist wahrscheinlich sehr viel höher, als wir oft glauben. So beklagen wir immer wieder fehlendes Hochwasserbewusstsein. Der deutsche Umweltminister Tritin konnte nach dem Hochwasser von 2002 medienwirksam sagen: „Das Hochwasserbewusstsein sinkt rascher als der

Wasserstand“: Rasch Vergessen und Verdrängen wir vor allem Unangenehmes aber nicht wirklich Schweres. Die häufigen Überschwemmungen der Innenstadt von Köln oder von Passau belegen auch, dass man mit Schäden leben kann. Köln ist ein gutes Beispiel für das Abwägen von Schaden und Nutzen. Der Kölner sagt: „Wir leben am Rhein und nicht an der Mauer.“ Der tägliche Blick auf den Fluss ist ihm also mehr wert als ein vermindertes Risiko. Anders in Wesenstein (Sachsen). Jene 5 Personen, die am 12. August 2002 die Nacht auf der einzigen stehen gebliebenen Mauer verbrachten, werden das sicher nie vergessen. Wie mir gesagt wurde, ist in den Kärntner Gemeinden, die 1965 vom Hochwasser betroffen wurden, die Erinnerung noch wach. Jenes katastrophale Ereignis führte ja zur Gründung von INTERPRAEVENT.

Damit will ich vor allem auf einen Punkt hinweisen: Wir haben ein sehr hohes Schutzbedürfnis für Leib und Leben und ein angemessenes für Sachwerte. Konflikte entstehen, wenn diese unterschiedlichen Ansprüche vermischt werden.

DIE SCHUTZMÖGLICHKEITEN

Bei den Massnahmen erleben wir den grössten Wandel. Die Formulierung: „Eine Siedlung hat Anspruch auf Schutz“ signalisiert eine Mentalität des Bedientwerdens. Wir verlangen heute Eigenvorsorge und angepasstes Bauen, also Leistungen, die der Nutzniesser der gefährdeten Flächen zu erbringen hat. Das ist kein Schutz, sondern eine Massnahme zur Schadenvermeidung beziehungsweise zur Ertragssteigerung. Man kann nicht am Ufer eines Gewässers wohnen und sich bei schlechtem Wetter auf die Massnahmen des Staates verlassen Diese Eigenverantwortung tut weh, sie schränkt die Nutzung ein und kostet. Selbstverständlich versuchen viele Grundeigentümer die Kosten der Eigenvorsorge auf die öffentliche Hand zu überwälzen.

Das Wort „integral“ bei Schutzkonzepten bedeutet für mich nicht, oder nicht nur, die Erfassung aller Naturgefahren. Es ist damit auch die Eingliederung in ein umfassenderes wirtschaftliches Konzept gemeint, welches sich nicht unbedingt auf den Schadenraum beschränkt. Deshalb verlangen wir Zusammenarbeit mit der Raumplanung und anderen Wirtschaftszweigen – insbesondere der Versicherungswirtschaft. Ziel muss die Förderung des Wohlstandes sein. Die wirkungsvollste Schadenminderung ist ein Nutzungsverbot – denn wo keine Nutzung, ist auch kein Schaden und wir können gleichzeitig die maximale ökologische Zielsetzung erreichen. Nur: wo keine Nutzung, ist auch kein menschliches Überleben. Wenn wir uns zu sehr in Richtung Verbote bewegen, so sehr diese in Einzelfällen auch berechtigt sein mögen, dann sind wir es, die eine „Bedienungsmentalität“ an den Tag legen. Andere – insbesondere die Raumplanung – sollen die Probleme lösen.

Das Wort „Rückbau“, wenn bestehende Schutzanlagen abgetragen werden, verursacht bei einem Bauingenieur nicht gerade Freudenausbrüche, ist aber als Korrektur von gemachten Fehlern manchmal notwendig. Als ich als junger Ingenieur die ersten Hochwasserschutzprojekte plante, waren die Minimierung des Landbedarfs und der Unterhaltskosten die wichtigsten Randbedingungen. Diese Bedingungen führten aber zu einer maximalen Beeinträchtigung der ökologischen Funktionen eines Gewässers. Was damit aufgezeigt werden soll: es sind einseitige Zielsetzungen, die zu Fehlentwicklungen führen. Daher ist das Wort „integral“ so wichtig und soll nicht nur auf die Massnahmen, sondern vor allem auf die Ziele angewendet werden. Massnahmen ergeben sich aus der Analyse der Prozesse und der Ziele. Sie sind an sich weder gut noch schlecht, sondern – in Bezug auf die vorgegebenen Ziele - entweder richtig oder falsch.

Es gibt auch ganz neue bauliche Massnahmen. Die Risikominimierung verlangt, dass, wenn Überschwemmungen unvermeidlich sind, die Flut von hoch empfindlichen auf wenig intensiv genutzten Flächen umgeleitet wird. „Notentlastungsflächen“ werden diese Räume genannt, die,

wenn die ankommenden Wassermassen nicht mehr von den bestehenden Anlagen beherrscht werden können, überschwemmt werden. Bei verschiedenen Projekten wurden deshalb die Dämme auf der Uferseite mit dem Siedlungskern höher geplant als am gegenüberliegenden Ufer mit einer geringeren Nutzungsintensität. Das wurde von den weniger geschützten Bewohnern als Verstoß gegen das Gleichheitsprinzip gesehen und damit sind wir bei widersprüchlichen Zielsetzungen. Das Ziel „Minimierung des gesamten Risikos“ bedingt solch ungleiche Massnahmen. Der Ausweg ist hier, den Bewohnern der Entlastungsflächen zu zeigen, dass auch sie einen angemessenen Schutzgrad (z.B. gegen die 100 jährlichen Hochwasser) erhalten, dass aber die andere Seite wegen des grösseren Schadenpotentials eines höheren Schutzes bedarf. Hier unterstützen normative Vorgaben der Schutzziele die Argumentation.

DIE QUANTIFIZIERUNG DES RISIKOS – ODER DIE WAHRSCHEINLICHKEIT DES BEMESSUNGSEREIGNISSES.

Im 19. Jahrhundert hiess die Bemessung: das grösste beobachtete Ereignis plus ein Meter. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden Bemessungsformeln entwickelt. Diese sind Umhüllende zahlreicher beobachteter Ereignisse. In der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde dann die Statistik ausgebaut. Viel Wert wurde und wird auf die verschiedenen Verteilungsfunktionen gelegt. Was in der Vermessung (einer im Vergleich zur Hydrologie exakten Wissenschaft) selbstverständlich war, nämlich das Berechnen der Fehlerellipse, wurde und wird leider auch noch heute oft vernachlässigt. Vertrauensintervalle werden nur selten angegeben. Der Grund: die Grenzen liegen so weit auseinander, dass sie schwer als Bemessungsgrundlage dienen können. Man kann ja nicht „von – bis“ bemessen, sondern muss sich für einen Wert entscheiden.

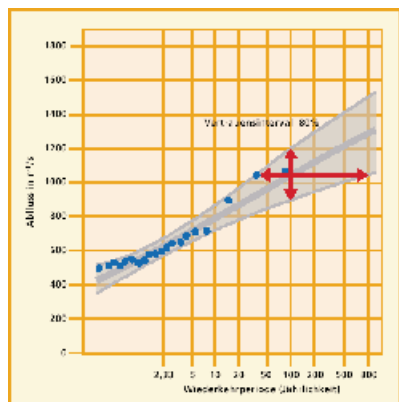


Abb1: Das Vertrauensintervall gibt einen grossen Spielraum zur Zuordnung der Wahrscheinlichkeit
Fig1: There is a wide range to asset probability within the confidence interval.

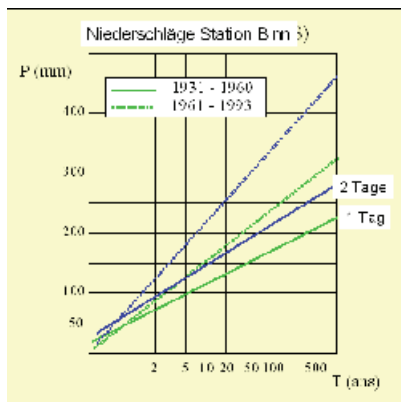


Abb2: Die vorhandenen Messperioden können sehr unterschiedlich sein.
Fig2: Observation periods can be quite different.

Die Aussage von Abbildung 1 ist, dass mit 80% Aussagesicherheit der Abfluss von 1000 m³/s eine Wiederkehrperiode zwischen 20 und 500 Jahren hat. Will man die Aussagesicherheit auf 90% erhöhen, wird die Spannweite noch grösser. Je mehr wir uns in die Statistik vertiefen, umso mehr müssen wir erkennen, dass die Ergebnisse nur Aussagen zur Wahrscheinlichkeit der Wahrscheinlichkeit eines Abflusses sein können. Wir machen uns das Leben zu einfach, wenn wir nur mit dem Mittelwert rechnen. Dabei wird nur allzu gern vergessen, dass dieser in der Hälfte aller Fälle zu tief ist.

Die Gründe für die grossen Unsicherheiten bei der Bestimmung der Wahrscheinlichkeiten sind vielfältig. Einer der Hauptgründe ist, dass die Messperioden keineswegs repräsentativ sein müssen (Abbildung 2). Nicht rückwärts in die Vergangenheit betrachtet und - angesichts des Klimawandels - schon gar nicht in die Zukunft.

Ein weiteres ganz grosses Problem sind die seltenen, wirklich grossen Hochwasser. Gerade bei diesen ist die Lebensgefahr am grössten und der Schutz am notwendigsten und gerade dann versagt die statistische Einordnung. Beispiele wie in Abbildung 3 gezeigt, gibt es immer wieder, so die Hochwasser vom August 2002 in Österreich und in Deutschland.

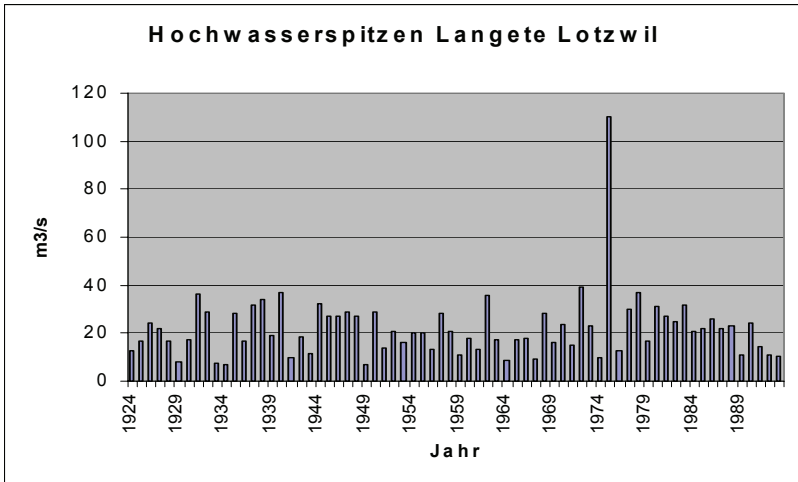


Abb3: Messreihe der Hochwasser der Langeten bei Lotzwil. Es besteht kein statistischer Zusammenhang zwischen den normalen jährlichen Hochwasserspitzen und dem Extremwert von 1975

Fig3: Serie of annual flood peaks of the Langeten at Lotzwil. There is no statistical link between the normal flood peaks and the extreme value of 1975.

Die Statistik ist also ungeeignet, die wirkliche Wahrscheinlichkeit zu bestimmen, aber trotzdem die einzige Methode, um die Unterschiede zwischen verschiedenen grossen Hochwassern zu quantifizieren. Sie ist notwendig, damit wir rechnen und vergleichen können. Aber sie ist nur ein Instrument für den Fachmann. Wir müssen bedenken, was wir gegenüber der Öffentlichkeit kommunizieren, wenn wir von Wiederkehrperioden sprechen. Der Bürger wird unter einem 30 jährlichen Hochwasser etwas verstehen, was er selten aber vielleicht doch erlebt. Ein 100 jährliches Ereignis ist etwas, was zwar möglich ist, aber eigentlich zu seinen Lebzeiten nicht eintreten sollte. Alles, was noch seltener ist, wird in den Bereich der übertriebenen Vorsorge verschoben. Er wird unter dem Schutz vor einem 100 jährlichen Hochwasser einen sehr guten – nahezu vollkommenen Schutz verstehen. Als 1987 die grossen Hochwasser das Urner-

land heimsuchten, wurde einstimmig die Forderung erhoben: „Das darf nie wieder passieren“. Den damals aufgetretenen Abflüssen hätte man vor dem Ereignis eine Wiederkehrperiode von 5000 Jahren zugeordnet. Die Akzeptanz für eine solche Bemessungswassermenge war vor dem Ereignis nicht gegeben, nach dem Ereignis war es die Mindestforderung. Damit sind wir auch bei einem anderen Element der Risikokultur. Diese verlangt die Akzeptanz eines Restrisikos. Es ist einfach ein Restrisiko zu akzeptieren, von dem man glaubt, es wird nie eintreten. Aber ein erlebtes Risiko zu akzeptieren ist viel schwerer und dies führt zurück zum Bemessungsansatz des 19. Jahrhunderts: „das größte beobachtete Hochwasser plus einem Zuschlag“.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Wahrscheinlichkeitsangaben sind sinnvoll für relativ häufige Ereignisse. Sie sind eine Basis für den Schutz von Sachwerten und Wirtschaftlichkeitsberechnungen. Es können aber sehr viel größere Ereignisse auftreten, deren Wahrscheinlichkeit wir nicht einordnen können. Bei diesen Ereignissen besteht jedoch eine wesentlich erhöhte Lebensgefahr mit sehr viel höheren Schutzansprüchen als bei reinen Sachschäden. Wir dürfen dieses Risiko nicht wegrechnen, sondern müssen es in der Notfallplanung berücksichtigen. Notfallplanung heißt Vorbereitung von Rettungsmaßnahmen, mobile Schutzelemente, Versicherungen, aber auch Entlastungen und Ableitung in weniger sensible Gebiete. So wie der beste Brandschutz nicht die Feuerwehr ersetzt, so ist die Notfallplanung unentbehrlich. Sie muss alle vorhandenen Möglichkeiten nutzen - ungeachtet der Wahrscheinlichkeiten.

**DER ALPENRHEIN –
VERSUCH EINER NACHHALTIGEN ENTWICKLUNG FÜR DEN GRÖSSTEN
ALPINEN WILDFLUSS
RIVER ALPINE RHINE
AN ATTEMPT FOR THE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE LARGEST
ALPINE MONTANE RIVER**

Wolfgang Stalzer¹

ZUSAMMENFASSUNG

Der Charakter des Alpenrheins mit seinem alpinen Einzugsgebiet, seinen Gefällsverhältnissen, seiner Wasserführung und der Schwankungsbreite der Abflüsse prägt diesen als größten alpinen Wildfluss. In den geologischen Zeiträumen hat der Gebirgsabtrag und die folgende Sedimentation zur Ausbildung eines breiten Talbodens zwischen Buchs und der Mündung in den Bodensee geführt. Die Regulierungsmaßnahmen wie zwei Durchstiche, eine Laufverkürzung und Eindämmungen haben eine sehr intensive Nutzung dieser Region ermöglicht. Die Forderung nach Anhebung des Schutzzieles von HQ100 auf HQ300 ist in Anbetracht des enormen Schadenspotentials verständlich, aber auch ein Abbau der mit der seinerzeitigen Regulierung und der Wasserkraftnutzung verbundenen Landschafts- und Ökologiedefizite ist ein Gebot unserer Zeit. Die höhenmäßige Sohlfixierung mit der Mündung in den Bodensee in Verbindung mit dem Geschiebeanfall von rd. 2,5 Mio. m³ pro Jahr erfordert zufolge der Verlandung eine Laufverlängerung in den See bzw. ein Geschiebemanagement mit entsprechenden Sedimentationsräumen. Während mit dem Entwicklungskonzept Alpenrhein ein integraler Planungsansatz für die Gestaltung bzw. Nutzung dieses Raumes und seiner Tallandschaft und damit aus heutiger Sicht nachhaltiger Lösungsansatz vorliegt, bedingt der Geschiebeeintrag langfristig massive Vorkehrungen in der Raumplanung sowie im Hochwasserschutz und damit einen ständigen Handlungsbedarf, um das Ungleichgewicht im Gewässersystem aus zu gleichen.

Keywords: Alpenrhein, nachhaltige Entwicklung des Flussraumes

ABSTRACT

Due to the alpine catchment, the range of discharges and the bed slope the river Alpine Rhine has a typical montane character. The river has a broad valley and after regulation measures an intensive settlement and land use was possible in that area. Due to a high risk of damage the call for expanded protection measures against extreme events came up.

Keywords: River Alpine Rhine, sustainable development of the river basin

¹ Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Stalzer, SC i. R., Wien

DER RAHMEN

Das Einzugsgebiet des Alpenrheins, der heute zwischen Hard und Fußach in den Bodensee mündet, wird hydrologisch in 4 Teilgebiete unterteilt:

- In ein südwestliches Gebiet von 1.514 km² mit dem Vorderrhein als Hauptgewässer
- In ein südöstliches Gebiet von 1.693 km² mit dem Hinterrhein als Hauptvorfluter
- In ein Zwischengebiet von Reichenau bis Bad Ragaz mit 1.248 km², welches von der Landquart der Plessur und der Tamina geprägt ist
- In ein nördliches Gebiet von 1.668 km² mit der Ill als bestimmendes Gewässer.

Die Quellregionen des Vorder- und Hinterrheins in Graubünden mit einem Ausläufer nach Italien bis zu deren Vereinigung zum Alpenrhein in Reichenau können als klassischer Wildbachbereich definiert werden. Bemerkenswert ist hier die hochalpine, teilweise vergletscherte Region mit einer bedeutenden Wasserkraftnutzung, primär über Speicherkraftwerke. Ab dem Zusammenfluss von Vorder- und Hinterrhein und den damit folgenden Alpenrhein bei km 0 folgt bis zum Bodensee eine Fließstrecke von 90 km, die mit ihrem vorherrschenden Gefällsverhältnissen zwischen 2,4 ‰ und 1,0 ‰ und Fließgeschwindigkeiten im Hochwasserfalle von bis zu 5 m/s durch einen Wildflusscharakter geprägt ist. Charakteristisch sind auch die hydrologischen Kennwerte mit dem alpinen Gebietsniederschlag von 1.484 mm/a und Abflusshöhen von 11.029 mm bzw. 76 %. Gemäß Hydrografischem Jahrbuch für Österreich, 2004, ergaben sich für die Reihe 1971 bis 2004 folgende Jahresabflusswerte:

- NQT 41 m³/s
- MQ 232 m³/s
- HHQ 2.800 m³/s

Gefälle, Abflusscharakteristik und Geologie bedingen gleichzeitig massive Erosionsvorgänge, die heute an der Mündung mit einer Jahresfracht von rd. 2,5 bis 3,0 Mio. m³ Schwebstoffen und etwa 40.000 m³ Geschiebe zu Buche schlagen. Die Wechselbeziehung von Erosion und Sedimentation war entscheidend für die Ausbildung des Alpenrheintales. Das Sedimentationsverhalten ab dem Bereich von Diepoldsau bedingte eine Sohlhebung mit periodischen Flussverwerfungen, Verfrachtungen in das Umland sowie einen entsprechenden Mündungsvorschub in den Bodensee. Die in geologischen Zeitspannen so gebildeten Talniederungen bildeten gleichzeitig die Grundlage für die Besiedelung und deren wirtschaftlicher Nutzung. Allerdings war insbesondere die Region unterhalb der Illmündung stets durch Hochwässer mit einem weitflächigen Abfluss über die Talebene geprägt. Diese Hochwässer selbst, Flussverwerfungen und die verbleibenden Schlamm- und Kiesablagerungen haben die Bevölkerung Jahrhunderte lang schwerstens bedroht und immer wieder



Abb1: Besiedlung des Alpenrheintales
Fig1: Settlement in the Alpine Rhine Valley

zu katastrophalen Folgen geführt. War die Nutzung dieser Talböden zunächst primär einer intensiveren Landwirtschaft vorbehalten, so folgte mit dem Übergang in das Industriezeitalter ein Wechsel in höherwertige Nutzungen mit einer entsprechenden Wirtschaftsgrundlage über Gewerbe, Industrie, Tourismus, Freizeit und so fort. Dementsprechend leben heute im Einzugsgebiet des Alpenrheins über 500.000 Menschen, einer Region, die einen blühenden Wirtschaftsstandort darstellt und ein hohes Potenzial für attraktive Freizeit und Naherholung sowie artenreiche Lebensräume bietet (Abb. 1). Der prosperierende Lebens- und Wirtschaftsraum vor allem im unteren Rheintal birgt andererseits aber auch ein hohes Schadenspotenzial in sich, das im Falle von Katastrophenergebnissen bzw. einem Überschreiten des Bemessungshochwassers ($3.100 \text{ m}^3/\text{s}$ entsprechend einem HQ100) je nach Flutungsszenario bis zu 3 Mrd. € beträgt.

DAS „GLEICHGEWICHT“

Im flussbaulichen Sinne wird für unsere Gewässer in der gegebenen Kulturlandschaft eine stabile Sohlenlage angestrebt. Mit dem damit verbundenen konstanten Geschiebehaushalt spricht man von einem „dynamischen“ Gleichgewichtszustand des Gewässers. Der Alpenrhein mit dem eingangs beschriebenen Erosions- bzw. Sedimentationsverhalten zeigte keinesfalls den zitierten Zustand und erforderte massive anthropogene Eingriffe (Regulierungen), um die Sohlhebungen sowie die



Abb2: Vorstreckung der Mündung (Bodensee)
Fig2: Mouth of river Rhine (Bodensee)

hochwasserbedingten Verwerfungen und die damit verbundenen Verheerungen hintan zu halten. In einem bilateralen Staatsvertrag wurde daher vor mehr als 110 Jahren eine Regulierung des Rheins zwischen der Illmündung und dem Bodensee auf der so genannten internationalen Strecke beschlossen. Primäres Ziel der gemeinsam getragenen Maßnahmen bildete der Hochwasserschutz bis zu einem definierten Abfluss von $3.100 \text{ m}^3/\text{s}$. Mittels der Durchstiche bei Diepoldsau und Fußach wurde der Lauf der hier vertraglich geregelten Strecke um 10 km verkürzt und eine Gefällserhöhung auf 1 ‰ sichergestellt. Zu Vermeidung weiterer Geschiebeablagerungen wurde der Transportkapazität des neuen Rheinprofils durch die Ausbildung eines Doppelprofils mit so genannten „Mittelgerinneuhren“ Rechnung getragen. Häufige Hochwässer mit entsprechendem Geschiebetrieb sollten innerhalb des Mittelgerinnes abgeführt und damit eine übermäßige Verlandung der Vorländer verhindert werden. Bereits bei der laufenden Umsetzung dieses 1. Staatsvertrages aus dem Jahre 1892, der nicht nur die zitierten Durchstiche sondern auch entsprechende Maßnahmen zur Binnengewässerausleitung und zum Geschieberückhalt im Einzugsgebiet regelte, wurde die Notwendigkeit einer Vertragsergänzung deutlich. Aufgrund der zunehmenden Verlandung der Fussacher-, Harder- und Bregenzerbucht wurde 1924 ein weiterer Staatsvertrag abgeschlossen, der neben der Fortführung der Regulierungsarbeiten auch die Vorstreckung der Regulierungsbauwerke auf dem Schuttkegel (Halde) im Bodensee vorsah. Mit letzterer Maßnahme sollte die Geschiebe- und Feststofffracht in die tieferen Seebereiche eingeleitet werden. In weiterer Folge ließen zudem die Geschiebeablagerungen im Mittelgerinne erkennen, dass die Breite mit ursprünglich 110 m zu groß gewählt worden war. Auf Basis entsprechender Untersuchungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glas-

ziologie (VAW) der eidgenössischen technischen Hochschule (ETH) Zürich wurden entsprechende Lösungsvorschläge zur Gerinnegestaltung erarbeitet, die Anlass für einen dritten und bisher letzten Staatsvertrag im Jahre 1954 waren. Festgelegt wurden damit

- eine Erhöhung der Mittelgerinnewuhre von der Illmündung bis zum Bodensee bei gleichzeitiger Einengung des Mittelgerinnes selbst;
- eine Verstärkung und Zurücksetzung der Hochwasserdämme für eine Hochwasserabflussmenge von 3.100 m³/s und
- die Weiterführung der Vorstreckung des Rheines in den Bodensee (Abb. 2).

Mit heutigem Stand ist die Umsetzung der Ziele der Staatsverträge weit fortgeschritten. Die vertraglich festgelegte Hochwassersicherheit für ein Bemessungshochwasser von 3.100 m³/s ist bei Einhaltung eines Sicherheitsfreibordes von 1 m gewährleistet. Nicht zur Gänze eingehalten werden kann dieser Sicherheitsfreibord jedoch bei zwei nicht in der Zuständigkeit der Internationalen Rheinregulierung (IRR) liegenden Brücken. Dagegen kann die Dammsicherheit zwischenzeitlich für nahezu die gesamte Strecke nachgewiesen werden und die Vorstreckung in den Bodensee befindet sich im projektierten Endstadium.

Der über die Regulierungsmaßnahmen erzielte Hochwasserschutz bildete gleichzeitig auch die Grundlage für eine außerordentlich dynamische wirtschaftliche Entwicklung dieser Region und das Rückgrat für die zwischenzeitlich stattgefundene Vervierfachung der Bevölkerungszahl seit Umsetzung der Regulierungsmaßnahmen. Die im Staatsvertrag festgelegte statische Zielvorgabe des Hochwasserschutzes mit folgender Übergabe der fertig gestellten Schutzmaßnahmen an die Vertragsstaaten ist heute allerdings nicht realisierbar. In den laufenden Sohlauflnahmen werden je nach örtlichen Randbedingungen Eintiefungen bzw. Auflandungen dokumentiert, die neuerlich „Regulierungseingriffe“ erfordern (Abb. 3). Diese Eingriffe sind unter der Maßgabe der Sohlentwicklung und damit des Geschiebehaushaltes auch auf die geänderten gesellschaftspolitischen Vorgaben auszurichten. Vordergründig sind dies das Streben nach einem höheren Hochwasserschutzgrad aber auch Aufgaben zur Verbesserung bzw. Wiederherstellung des Gewässerlebensraumes (ökologischer Zustand) sowie die Anliegen der Raumordnung, des Landschaftsschutzes und des Naturschutzes.

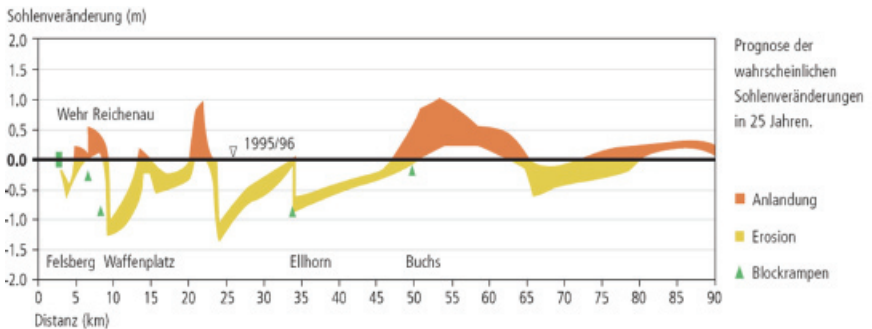


Abb3: Prognose möglicher Sohlveränderungen
Fig3: Prognosis of possible bed degradation and aggradation

DIE NACHHALTIGKEIT

Ausgehend von den drei Grundsäulen der Nachhaltigkeit ergeben sich für den Alpenrhein und sein Einzugsgebiet folgende Handlungsschwerpunkte:

- Sozialer - gesellschaftspolitischer Bereich
 - Absicherung der Lebens- und Wirtschaftsgrundlagen und notwendigen Entwicklungsmöglichkeiten
 - Verfügbarkeit über die Ressourcen (Trinkwasser, Brauchwasser, Rohstoffe etc.)
 - Schutz des Menschen und seines Lebensraumes, Erholungs- und Freizeitraumes, Tourismus
- Ökonomischer Bereich
 - Schutz und Entwicklung des Wirtschaftsraumes
 - Absicherung der Entwicklung von Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie sowie Dienstleistung
 - Sicherstellung der Infrastruktur
 - Entwicklung regionaler Wirtschaftsschwerpunkte wie Wasserkraft etc.
- Ökologiebereich
 - Lebensraum für den aquatischen und den terrestrischen Bereich
 - Gewässerschutz
 - Grundwasser
 - Raum- und Flächenverlust etc.

Die besondere Herausforderung liegt nunmehr in der Erstellung eines abgestimmten integralen Gesamtkonzeptes für die Region Alpenrhein. Eine Aufgabe, die von der gemeinsam Rheinkommission der IRR sowie von der internationalen Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) gemeinsam bearbeitet wurde und deren Ergebnisse im Entwicklungskonzept Alpenrhein 2005 der Öffentlichkeit vorgestellt wurden. Neben einer generellen Entwicklungsstrategie wurde ein konkretes Maßnahmenkonzept erarbeitet, das eine vernetzte Abdeckung der drei Handlungsfelder Hochwasserschutz, Grundwasser und Gewässerökologie ermöglichen soll.

Als Maßnahmenpakete wurden folgende Lösungsansätze zusammengefasst:

- Aufweitungen und Geschiebemanagement mit Hilfe von Querschnittserweiterungen und damit Erhöhung der Abflusskapazität im Bereich der internationalen Strecke sowie einer Bettstabilisierung in Eintiefungszonen (Abb. 4);
- Vernetzung der Gewässersysteme (Anschluss der Nebengewässer) und Längsdurchgängigkeit als entsprechende Priorität im Ökologiebereich;
- Lösung der Schwallproblematik über Ausgleichsspeicher bzw. angepasste Betriebsweisen zur Wiederherstellung flusstypspezifischer Lebensräume;
- Entwicklung der Wasserkraft unter Beachtung der ökologischen Rahmenbedingungen;
- Sicherung der rheinnahen Gebiete für eine Gewässerentwicklung und einen künftigen Handlungsspielraum für Schutzmaßnahmen sowie eine mögliche Ressourcennutzung und für die Naherholung;
- Berücksichtigung eines Überlastfalles und Notentlastung in nutzungsintensivere Bereiche.

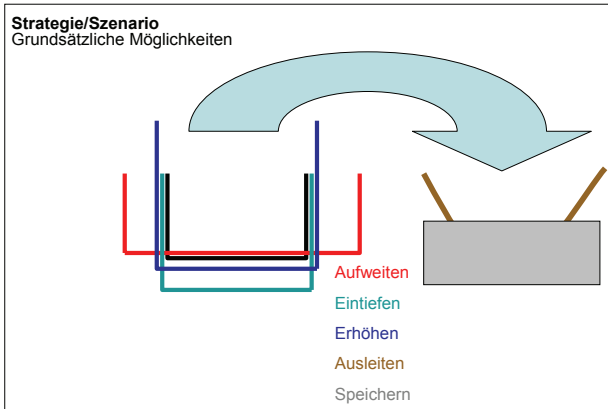


Abb4: Strategien und Szenarien

Fig4: Strategies and scenarios

REALITÄT UND VISION

Die Umsetzung des Entwicklungskonzeptes Alpenrhein wird zumindest mehrere Jahrzehnte in Anspruch nehmen und einer dynamischen Anpassung bedürfen. Alleine eine Erhöhung des Schutzzieles von derzeit $3.100 \text{ m}^3/\text{s}$ auf ein HQ300 mit einem Bemessungsabfluss $4.300 \text{ m}^3/\text{s}$ erfordert nicht nur entsprechende Planungs-, Versuchs- und Umsetzungszeiträume sondern vor allem neben der Akzeptanz seitens der Betroffenen auch die Bereitstellung der notwendigen finanziellen Mittel in Höhe von zumindest 300 bis 500 Mio. €. Verfolgt man hiezu vergleichsweise die Gewässerentwicklung der vergangenen 100 Jahre so stellt sich automatisch die Frage „Quo vadis Alpenrhein in den nächsten 100 Jahren?“. Als Kardinalpunkte derartiger Visionen sind neben den sozioökonomischen Aspekten wie der Bevölkerungsentwicklung mit einem Zuwachs um 50 % innerhalb der letzten 30 Jahre, einer Verdoppelung des Flächenbedarfs für Bauland sowie Infrastruktur und einer Verdreifachung des Energiebedarfes vor allem die naturräumlichen Vorgaben, die da lauten Geschiebe- und Schwebstoffhaushalt sowie Klimawandel, anzusehen.

Die damit heute erkennbaren Szenarien wurden anlässlich eines Workshops „Alpenrhein 2100“ im Jahre 2006 umrissen und berücksichtigten vor allem das gesellschaftlich artikulierte Schutzbedürfnis für den Lebens- und Wirtschaftsraum in Verbindung mit dem naturbedingten bzw. anthropogen beeinflussten Langzeitaspekt.

Die Querbeziehung und damit Vernetzung der hier maßgebenden Parameter kann nur beispielhaft aufgezeigt werden:

- Hochwasserschutz – Niederschlags–Abflussverhalten
 - Gefährdungspotenzial
 - Flächennutzung und -verfügbarkeit
- Hydrologie und Geschiebehaushalt – Klima
 - Erosions- und Sedimentationsverhalten
 - Flächenverfügbarkeit
 - Transportmechanismen

- Wirtschaftsraum – Infrastruktur
 - Flächenverfügbarkeit
 - Ressourcenverfügbarkeit
 - Schutz vor Naturgefahren
- Erholung und Tourismus – Wertewandel im Bedarf
 - Flächenverfügbarkeit
 - Erlebnis und Naturraum
- Landschafts- und Naturschutz – naturnahes Raumpotenzial
 - Habitatansprüche
 - aquatischer und terrestrischer Lebensraum
- Ansprüche der Gesellschaft – Sicherheit, Lebensgrundlagen
 - wirtschaftliche Entwicklung
 - Erholung – Freizeit – Gesundheit
 - Entscheidungsfreiheit – BürgerInnenbeteiligung

Mit dieser Aufzählung kann nur ein sehr beschränkter Themenkatalog gestreift werden, klar kristallisieren sich jedoch zwei Hauptmomente heraus, und zwar:

- der vorbeugende Hochwasserschutz und
- eine entsprechende Flächenverfügbarkeit bzw. Umsetzung in der Raumplanung

Der Expertenkreis des Workshops 2100 hat daher nach einer visionären Bearbeitung Lösungsansätze und zugehörige Prioritäten artikuliert. Eine Aufarbeitung der Thematik des vorbeugenden Hochwasserschutzes erfordert neben der heute aktualisierten Frage des Schutz- bzw. Ausbaugrades mit der angesprochenen Steigerung auf 4.300 m³/s kurzfristig die Ausarbeitung eines Notfallkonzeptes für den Überlastfall mit den schon diskutierten Entlastungsflächen bzw. -korridoren. Parallel dazu sind die Möglichkeiten einer Erhöhung der Abflusskapazität mit den Kernvarianten einer Betaufweitung innerhalb der Hochwasserdämme bzw. von Dammerhöhungen sowie gegebenenfalls auch Kombinationen beider hinsichtlich deren Machbarkeit und Langzeitverhalten zu untersuchen. In Zusammenhang mit dem angesprochenen Betrachtungszeitraum ist der Querbezug Geschiebehauhalt, Geschiebetransportverhalten und Sohlgefälle aufzuarbeiten. Die heute gehandhabte Verlagerung von rd. 2,5 bis 3 Mio. m³ Feststoffen in die Tiefzonen des Bodensees erfordert eine Lenkung dieses „Feststoffstromes“ auf der Halde, die so genannte Vorstreckung. Bei dem gegebenen „Höhenfixpunkt“ des Bodensee-Wasserspiegels bedingt derzeit jeder Kilometer Vorstreckung bei dem erforderlichen Gefälle eine Aufhöhung um 0,25 m. Würde die aufgelandete Halde sich so in den See weiter vorschieben wie in den vergangenen 100 Jahren, so wäre eine weitere Verlängerung um 5 Kilometer mit einer Sohlhebung bei km 90, dem Beginn der Vorstreckung, um 1,25 m erforderlich. Die so zu erwartende rückschreitende Sohlhebung bedingt gleichzeitig eine Abflussprofilverkleinerung und damit eine Kapa-

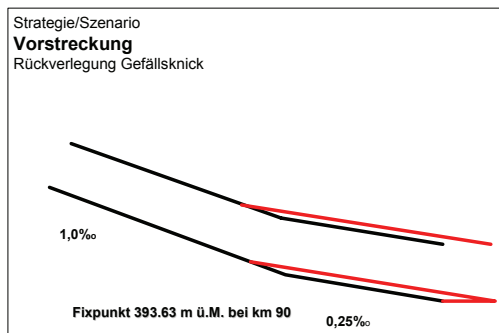


Abb5: Szenario: Rückverlegung des Gefällsknicks
Fig5: Szenario: relocation of vertical bend

zitätsminderung. Mit einer Rückverschiebung des heute bei km 90 gegebenen Gefällsknickes von 1 % auf 0,25 % um 1,50 km und gleichzeitiger Erhöhung der Vorstreckungsdämme um 1,25 m wäre hier der notwendige Ausgleich sichergestellt (Abb.: 5). Auch eine derartige Maßnahme bedeutet somit keine dauerhafte Lösung der Auflandungs- bzw. Sedimentationsproblematik. Darüber hinaus bleibt die Aufgabe einer gezielten Kiesentnahme wie sie derzeit mit rd. 40 000 m³/Jahr in der Vorstreckung erfolgt. Eine Maßnahme, die auch künftig bei diversen Profilaufweitungen mit entsprechendem Einfluss auf die Schleppkraft erforderlich sein wird. Die Dauerbelastung aus dem Gebirgsabtrag mit 2,5 bis 3 Mio. m³ jährlicher Feststofffracht stellt somit die naturräumliche Grundproblematik dar. Auf 100 Jahre bezogen entspricht dies einem Raumbedarf von 250 Mio. m³ bzw. einer Fläche von 50 km² mit einer Aufhöhung um 5 m. Dieser „Landgewinnung“ muss zwangsläufig mehrdimensional (horizontal aber auch vertikal) sowie auch aufgefächert Rechnung getragen werden. Angeboten wurde u.a. eine Auflandung bestimmter Talniederungsbereiche in Verbindung mit einer Verbreiterung des Mündungsdeltas aber auch eine Sedimentationslenkung im Sinne von Inselbildungen im Bodensee selbst. Zwangsläufig verbunden mit dieser Kernthematik sind die Frage der Flächenverfügbarkeit und der Nutzungsveränderungen sowie die Auseinandersetzungen bezüglich der gegensätzlichen Ansprüche von Siedlungsraum, Gewässer und Naturschutz. Ein Beharren auf dem IST-Zustand bedeutet in diesem Falle Rückschritt bei gleichzeitiger Gefährdungszunahme.

AUSBLICK

Im Resumé ist daher festzuhalten, dass sich für die Sohle des Alpenrheins zufolge der naturräumlichen Vorgaben kein dynamisches Gleichgewicht einstellen kann. Eine Kombination von Hochwassermanagement, Geschiebemanagement und Flächenmanagement (Raumplanung) wird stets anthropogene Eingriffe erfordern. Eine Nachhaltigkeit für den Alpenrhein im Sinne des Ausgleiches der ökonomischen, ökologischen und sozialen Komponenten in Abhängigkeit der jeweiligen gesellschaftspolitischen Ansprüche ist daher jedenfalls anzustreben und erfordert sich stets anpassende anthropogene Reaktionen.

Eine Nachhaltigkeit im Sinne einer unveränderten Ressourcenverfügbarkeit für künftige Generationen ist nicht gegeben. In diesem Sinne sind hier die Kernaussagen der Experten des Workshops Alpenrhein 2100 zu wiederholen:

- Einen absoluten Schutz vor Naturgefahren gibt es nicht
- Nicht Landschaft konservieren, sondern sich für Nutzungs- und Geländeänderungen in den nächsten 100 Jahren öffnen.

LITERATUR

- (1992) Der Alpenrhein und seine Regulierung, Internationale Rheinregulierung, 1892 – 1992; Rorschach; Buchdruck und Verlag
- (2005) Entwicklungskonzept Alpenrhein, Kurzbericht; Internationale Regierungskommission Alpenrhein und Internationale Rheinregulierung.
- Stalzer W. (2007) Alpenrhein 2100, vom Gestern zum Morgen im Alpenrheintal; Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 7-8, 59.Jg., Springerverlag Wien New York

Flussgebietsmanagement
River Basin Management
Gestion des bassins hydrauliques
Gestione bacini idraulici

**3RD RIVER RHONE TRAINING PROJECT
OBJECTIVES, SOLUTIONS AND SPATIAL DEVELOPMENT**

**3^E CORRECTION DU RHÔNE
OBJECTIFS, SOLUTIONS ET DÉVELOPPEMENT TERRITORIAL**

**3. RHONEKORREKTION
ZIELE, LÖSUNGEN UND RAUMENTWICKLUNG**

Tony Arborino¹

ABSTRACT

The aim of the training of the River Rhone is to assure long-term flood protection for the river valley. Presently in the canton of the Valais, a flood plain of 11'000 ha is at risk of flooding, in addition to another 3'000 ha in the canton of Vaud. The potential damage occurring mainly in the settlement and industrial areas within the Canton Valais has been estimated in the region of 6.5 billion Euros. The investment required to implement the 3rd River Rhone Training Project is approximately 800 million Euros and the project is expected to take 30 years to complete. To draw up alternative solutions for long-term flood protection, alongside the purely technical and hydraulic components also environmental and socio-economic aspects have to be taken into account.

The chosen approach includes strong stakeholder participation already at the design level and close collaboration with spatial development. The implementation of the River Rhone Projects follows the up-to-date concepts of integrated flood control and river training. This means that priority must be given to applying appropriate spatial planning measures. Secondly, and only if necessary, technical and hydraulic engineering can be applied, however, only in combination with the improvement of the ecological quality of the riverbed and the river system as a whole.

As far as the 3rd River Rhone Project is concerned, three specific tools are applied to ensure the coordination between the project and the local authorities: the River Rhone Sectoral Plan (SP-R3), Regional Development Concepts (RDC), and Integrated Land Consolidation projects (ILC).

Keywords: 3rd River Rhone Training, spatial integration, regional development concepts, integrated land consolidation, flood control measures.

¹ Project Manager, Department of Transport, Infrastructure and Environment, Roads and Rivers Division, Rhone Project, Avenue de France, CH-1951 Sion / Sitten, Switzerland (Tel. +4127 606 35 20, Fax +4127 606 35 04, email: tony.arborino@admin.vs.ch, www.vs.ch/rhone.vs)

RÉSUMÉ

La 3ème correction du Rhône a pour but de sécuriser la plaine de manière durable contre les crues du fleuve. 11'000 hectares de plaine sont aujourd'hui menacés par le Rhône sur le territoire valaisan. A cela se rajoutent 3'000 ha sur le territoire vaudois. Les dégâts potentiels représentent 6.5 milliards d'Euro pour la partie valaisanne, dans la situation actuelle du bâti. Le montant d'investissement nécessaire à la réalisation de la 3ème correction est de l'ordre de 800 millions d'Euro et sa réalisation devrait se dérouler sur 30 ans. Une sécurisation durable implique la prise en compte des aspects environnementaux et socio-économiques en plus des aspects sécuritaires dans l'établissement des variantes.

La démarche choisie se base sur une démarche participative dès l'établissement des variantes et une coordination efficace avec le développement territorial. L'implémentation de la correction du Rhône suit les concepts de protection contre les crues et les principes d'aménagement des cours d'eau actuels. Cela signifie qu'en priorité des mesures d'aménagement du territoire doivent être prises. Dans un second temps et dans la mesure où cela est encore nécessaire, on a recours à des mesures techniques et hydrauliques constructives incluant une amélioration de la qualité écologique du lit et du système fleuve.

Dans le cadre du projet Rhône, trois outils spécifiques sont mis en place pour assurer les liens entre le projet et le territoire en mouvement : le Plan Sectoriel Rhône (PS-R3), les Concepts de Développement de la Plaine (CDP) et les Améliorations Foncières Intégrales (AFI).

Mots clés: 3^e correction du Rhône, intégration spatiale, concepts régionaux de développement, aménagement du territoire intégral, mesures de protection contre les crues.

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Rhonekorrektur ist der langfristige Hochwasserschutz für die Talebene. Heute ist eine Fläche von 11'000 ha im Kanton Wallis stark Hochwasser gefährdet; dazu kommen weitere 3'000 ha im angrenzenden Kanton Waadt. Das Schadenpotential, welches im Wesentlichen die Siedlungs- und Industriegebiete betrifft, wird auf rund 6.5 Milliarden Euro geschätzt. Für die Umsetzung der 3. Rhonekorrektur braucht es Investitionen in der Grössenordnung von 800 Millionen Euro. Für die Realisierung der Arbeiten wird mit einem Zeitrahmen von 30 Jahren gerechnet. Die entworfenen Lösungen für einen nachhaltigen Hochwasserschutz berücksichtigen nebst den rein technischen und hydraulischen Aspekten auch die Umweltrelevanten und sozioökonomischen Aspekte.

Das gewählte Vorgehen basiert auf einer starken Einbeziehung der Hauptakteure und dies bereits in der Konzeptphase und in enger Zusammenarbeit mit der Raumentwicklung. Die Umsetzung des Rhoneprojekts berücksichtigt die aktuellsten Konzepte für integralen Hochwasserschutz und Wasserbau. Dies heisst, dass in erster Linie geeignete raumplanerische Massnahmen zur Anwendung kommen. Dort wo nötig kommen in einem zweiten Schritt technische und hydraulische Massnahmen zur Anwendung, welche jeweils eine Verbesserung der ökologischen Qualität des Gerinnes und des gesamten Flusssystems beinhalten.

Im Rahmen des Rhoneprojekts kommen drei spezifische Hilfsmittel zur Anwendung, damit die Koordination zwischen dem Projekt und der betroffenen Bevölkerung sichergestellt werden kann: der Sachplan Rhone (SP-R3), regionale Entwicklungskonzepte (REK) und Integrierte Massnahmen (IM).

Schlüsselwörter: 3. Rhonekorrektur, räumliche Integration, regionale Entwicklungskonzepte, integrales Landmanagement, Hochwasserschutzmassnahmen.

1. TERRITORIAL MANAGEMENT TOOLS

The usual tools for the spatial development are zoning plans for which the local authorities are responsible; they follow the general development framework of the cantonal master-plan (CMP). As far as the 3rd River Rhone Project is concerned, three other specific tools are applied to ensure the coordination between the project and the local authorities: the River Rhone Sectoral Plan (SP-R3), Regional Development Concepts (RDC), and Integrated Land Consolidation projects (ILC).

1.1 The Sectoral Plan for the 3rd River Rhone Training (SP-R3): This is a territorial management tool and a base line element of the cantonal master plan. On a scale of 1:25'000 it includes the potential flood risk areas (hazard index map), the so-called "River Rhone Zone" adjacent to the main riverbed, and all relevant relations and conflicts with the associated territories.

The hazards index map indicates the extent of a potential 100-year flood (affecting the entire 11'000 hectares) with two degrees of intensity (high or medium to low). The precision level of the digital terrain model (DTM) and current hydraulic calculations do not allow for a more detailed differentiation. In fact the actual hazard index map is based on the DTM 25 of Swisstopo with one point every 25 to 25 m and a vertical precision of about ± 1 m in the valley. A hazard map (with 3 degrees of intensity) will be elaborated based on the new Laser DTM (grid 2×2 m, $\sigma_z \approx 0.2$ m).

The definition of the intensities is based on the Directives of the Swiss Federal Office for the Environment FOEN [3]

The extent of the River Rhone Zone has been identified in accordance with art. 21 of the Federal Ordinance on the Development of

1. LES OUTILS DE GESTION TERRITORIALE

Les outils habituels de l'aménagement du territoire sont les Plans d'affectation des zones (PAZ), sous responsabilité des communes, ainsi que le Plan Directeur cantonal (PDC). Dans le cadre du projet Rhône, trois autres outils spécifiques sont mis en place pour assurer les liens entre le projet et le territoire en mouvement : le Plan Sectoriel Rhône (PS-R3), les Concepts de Développement de la Plaine (CDP) et les Améliorations Foncières Intégrales (AFI).

1.1 Le Plan Sectoriel Rhône (PS-R3):

Il s'agit d'un outil de l'aménagement du territoire qui fait partie des études de base du Plan Directeur cantonal. Il définit au 1:25'000 le périmètre de danger (carte indicative des dangers), l'espace Rhône le long du cours d'eau et les règles territoriales associées.

La carte indicative de danger présente l'enveloppe d'inondation pour une crue centennale (touchant l'ensemble des 11'000 hectares) avec deux degrés d'intensité (fort ou moyen-faible), la précision du modèle numérique de terrain (MNT) et des calculs actuels ne nous permettant pas une discrétisation plus détaillée. En fait la carte indicative de danger actuelle se base sur le MNT 25 de Swisstopo avec un point tous les 25×25 m et une précision altimétrique d'environ ± 1 m en plaine. Il est prévu d'établir la carte de danger (avec 3 degrés d'intensité) sur la base du MNT Laser disponible depuis peu de temps (grille 2×2 m, $\sigma_z \approx 0.2$ m).

La définition des intensités se base sur les directives de l'Office fédéral de l'environnement OFEV [3].

L'espace Rhône a été établi sur la base de l'art. 21 de l'Ordonnance fédérale sur

Water Courses [1]. The spatial definition strongly refers to the three main objectives of the project: Guarantee of flood security, improvement of the river's environmental quality, and consideration of the socio-economic aspects. It further considers current land-occupation and follows the principle of appropriate and rational land-use. Finally, an area twice as wide as the current riverbed has been assigned along both riverbanks where no major obstacles or spatial limitations, such as residential and industrial zones or other infrastructure facilities, already exist. Along the entire 160 km river section in the Canton of Valais only the River Rhone Zone will extend over 1'100 ha in addition to the current already existing river zone of 1'300 ha. Within this zone no buildings are allowed.

l'aménagement des cours d'eau [1]. La définition des besoins en terrain pour la 3ème correction du Rhône tient compte du triple objectif du projet: sécurité durable contre les crues, augmentation de la qualité environnementale et prise en comptes des aspects socio-économiques. Il tient également compte de l'occupation actuelle du sol et du principe d'une utilisation mesurée et rationnelle du sol. Finalement, un espace de deux fois la largeur actuelle a été retenu et est défini en rive droite et gauche s'il n'y a pas de contraintes fortes comme des zones bâties ou des infrastructures.

Cet espace Rhône supplémentaire représente 1'100 hectares (Rhône actuel : 1'300 ha) pour la partie valaisanne, sur 160 km de cours d'eau de sa source au Léman. Il est interdit d'y construire.



Fig. 1: Sectoral Plan Rhone River showing on the left the hazard index map (dark grey = high hazard intensity, grey = middle to low hazard intensity) and on the right the River Rhone Zone

- Extrait du plan sectoriel Rhône montrant à gauche la carte indicative de danger (gris foncé = intensité de danger élevé, gris clair = danger moyen à faible) et à droite l'espace Rhône

The SP-R3 was presented for assessment to the local authorities and those parties directly involved between June and October 2005 and more than 30 informational sessions and discussions were held in parallel. The responses were addressed and the SP-R3 was modified and approved by the cantonal government in June 2006. Its implementation will further allow the handling of

Le PS-R3 a été mis en consultation auprès des communes et partenaires de juin à octobre 2005 et plus de 30 séances d'information et discussion ont été organisées. Les remarques ont été traitées et le PS-R3 mis à jour a été adopté par le Conseil d'Etat en juin 2006.

Sa mise en application permettra une gestion transparente et uniforme des autorisations de

applications for planning and construction permission in a more transparent and uniform way as well as the maintenance of the remaining open space along the river. The approved SP-R3 is obligatory for all authorities namely the cantonal services and the communities which deliver the authorization for constructions in construction zones.

1.2 Regional Development Concepts

(RDC): Realizing a project of this size and duration requires its integration into the present and future land-use patterns of the entire territory of the river plain. The project therefore involves establishing a long-term vision of the general development frame throughout the river plain, spatially subdivided into six regions, corresponding in general to the socio-economic regions of the canton. For each region the villages and towns in collaboration with their partners and other stakeholders have jointly developed a Regional Development Concept. The summary and synthesis of these concepts form the cantonal basis that will be used to implement the River Rhone Project.

Each RDC includes different aspects of the mainly rural territory, such as the development of agricultural zones (see also below); the establishment of ecological networks (based on the existing and endorsed cantonal ecological network); planning and optimization of industrial or residential zones; and drawing up infrastructure projects for tourism and recreation.

construire dans les zones de danger ainsi que le maintien de surfaces non bâties le long du cours d'eau en vue de permettre sa sécurisation ultérieure.

Le PS-R3 adopté est liant pour les autorités, notamment le canton et les communes qui délivrent les permis de construction en zone à bâtir.

1.2 Les Concepts de Développements de la

Plaine (CDP): La volonté d'élaborer un projet durable demande l'adéquation entre le projet et le territoire d'aujourd'hui et de demain. C'est pourquoi la 3ème correction est accompagnée de l'établissement, dans toute la plaine, d'une vision à long terme du développement territorial. Cette vision est élaborée par secteurs - souvent identiques aux régions socio-économiques - où les communes se regroupent avec leurs partenaires pour définir un concept de développement de la plaine régional.

La synthèse de ces concepts fournira une base cantonale utile à l'établissement du projet Rhône.

Ces CDP intègrent les différents aspects du territoire, comme le développement des zones agricoles (AFI, voir plus loin), la constitution de réseaux écologiques (sur la base du réseau écologique cantonal établi par ailleurs), la planification des zones industrielles ou d'habitation, l'établissement de projets d'équipements pour la détente et les loisirs.

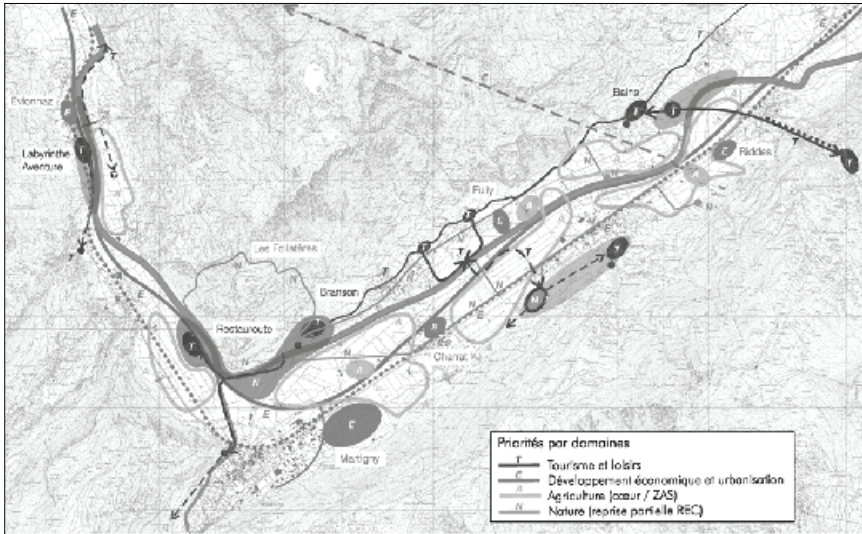


Fig. 2: Regional Development Concepts
 - Concept régional de développement

1.3 Integral Land Consolidation (ILC):

Formerly applied mainly to improving the agricultural infrastructure, this tool has now been extended to an integrated and participatory approach, including, in equal shares, agricultural, ecological, and public-private objectives. Being the only legal procedure able to adapt and change land property in the rural territory, the ILC has become a powerful instrument in implementing the above-mentioned Regional Development Concepts.

It allows the further allocation of necessary surfaces for the riverbed enlargements and compensation for the losses of this agricultural land by improving the agricultural infrastructure and production conditions. This improvement includes better drainage, irrigation and rural road networks, consolidated and optimized parcel structures (land consolidation), improved land-use coordination between farming surfaces and ecological networks, appropriate

1.3 Améliorations Foncières Intégrales (AFI):

Cet outil, initialement développé pour l'amélioration des structures agricoles (AF) puis étendu aux autres intérêts (agriculture, nature, infrastructures) dans un processus participatif par les AFI est un moyen puissant de réaliser dans le territoire rural la vision définie par les concepts de développement de la plaine. L'AFI permet d'attribuer au projet Rhône les surfaces nécessaires aux élargissements.

L'AFI permet notamment d'améliorer l'infrastructure agricole en fonction des besoins définis par les agriculteurs locaux et donc compenser par une amélioration de la productivité la perte de surface exploitable due à la réalisation de la 3ème correction. Elle intègre notamment les aspects liés à l'amélioration du drainage, à l'irrigation, aux réseaux de desserte, au remaniement parcellaire, aux réseaux écologiques, à la nappe phréatique et à l'appui d'une

groundwater management, and support for production et stratégie de vente adaptée au demand oriented production and marketing marché.

strategies.

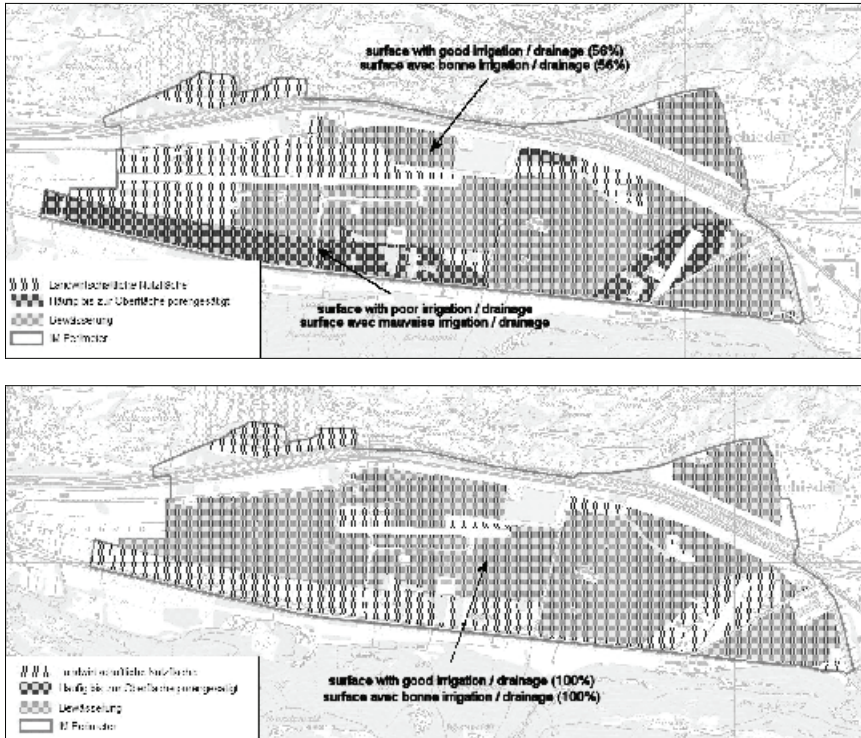


Fig. 3: Illustration of the improvement of the irrigation and drainage thanks to the Integral Land Consolidation (top: without ILC, bottom: with ILC)
 - Illustration de l'amélioration de l'irrigation et du drainage grâce à l'amélioration foncière intégrale (haut: sans AFI, bas: avec AFI)

2. COMBINING TERRITORIAL MANAGEMENT AND FLOOD CONTROL

These tools are applied according to the requirements of the River Rhone Project. They are all based on the same collective definition of objectives. The permanent stakeholder involvement further guarantees a consistent planning and implementation procedure with the necessary flow of

2. COORDINATION DES OUTILS DE GESTION TERRITORIALE EN LIEN AVEC LA 3ÈME CORRECTION

Ces différents outils sont définis et mis en œuvre dans le temps pour répondre aux besoins de la 3ème correction. Ils se basent tous sur la même démarche participative de définition des objectifs. Les groupes de partenaires sont les mêmes ou sont des déclinaisons des groupes principaux,

information.

Different technical solutions are possible to achieve the required level of flood protection. In respect to the various objectives, the most favorable solution is to enlarge the river by a factor of 1.5 to 2.0 in relation to its present extent, in combination with lowering the river bed particularly along sections within towns as well as building-up additional rearward flood dikes in order to manage residual risks within temporary flooding zones. These combined solutions create sustainable flood control and safety management. Various studies are still about to be carried out along the entire river section, and technical and hydraulic solutions are still being prepared.

In the beginning of the participatory approach the stakeholders are rather reticent. Working together and integrating their concerns in the project increases the acceptance of the project.

These studies involve a scientific collaboration with various institutes and hydraulic laboratories across Switzerland as well as a large expert group.

ce qui garantit une bonne cohésion et information.

Différentes solutions techniques sont envisageables pour atteindre de degré de protection requis. La plus favorable pour atteindre simultanément les différents objectifs du projet est l'élargissement du fleuve, entre 1,5 et 2 fois la largeur actuelle.

Ce type de solutions, combinée avec des abaissements à travers les villes et des arrière-digues pour la gestion du risque résiduel permet une gestion durable de la sécurité. Les études sont en cours sur l'ensemble du fleuve et les solutions encore en cours d'élaboration.

Au début du processus participatif, les acteurs sont plutôt réticents. En travaillant ensemble et en intégrant leurs préoccupations dans la planification le soutien du projet s'en trouve facilité.

Ces études sont accompagnées scientifiquement par différents instituts et laboratoires hydrauliques ainsi que d'un large groupe d'experts.

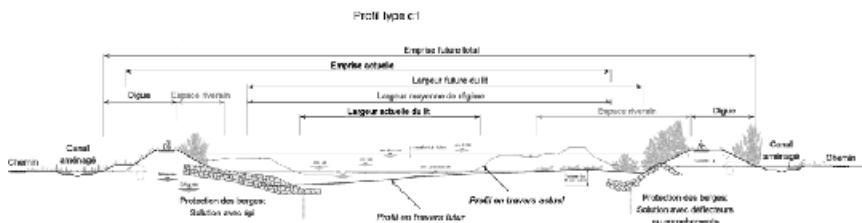


Fig. 4: A widened cross section of River Rhone as expected for the 3rd River Rhone Training Project

Exemple d'un profil en travers élargi comme envisagé dans le cadre de la 3^e correction du Rhône

3. FLOOD PROTECTION MEASURES

However, particularly high-risk sections have already been selected for immediate implementation of priority measures (Visp, Chippis, Fully and Sion). These priority cases illustrate the philosophy behind the chosen approach and the types of interventions planned for the entire river training.

As an example, the priority measure of Visp is described in the extended abstract « 3rd River Rhone Training – Priority measures – Example of Visp » by Daniel Hersberger.

All along the elaboration of the project a follow-up group with 30 people accompanied all major project steps. The group integrated the main partners like the five concerned municipalities, the main land owners, an agricultural organization, the mainly concerned industries, three ecologist organizations and a fishermen-association. During the project elaboration, seven plenary meetings were held with this group.

The large population was informed by the newspapers, a specific bi-annual newsletter of the Rhone Project, specific information meetings and the possibility to visit a 50 m long physical scale model (1:50), especially built for this project in Visp.

3. MESURES DE PROTECTION CONTRE LES CRUES

Différents tronçons ont cependant déjà été traités de manière prioritaire (Viège, Chippis, Fully et Sion) et illustrent bien la philosophie et les travaux prévus par cette 3ème correction.

A titre d'exemple, la mesure prioritaire de Viège est décrite dans le résumé « 3rd River Rhone Training – Priority measures – Example of Visp » de Daniel Hersberger.

Tout au long de l'élaboration du projet un groupe de suivi de 30 personnes a accompagné toutes les étapes principales du projet. Le groupe de suivi comprenait tous les partenaires principaux comme les cinq communes concernées, les plus grands propriétaires terriens, une organisation d'agriculture, les industries principalement concernées, trois organisations de protection de la nature et une association de pêcheurs. Durant l'élaboration du projet, sept rencontres plénières ont eu lieu avec ce groupe. La population a été informée par les journaux, un journal d'information bi-annuel du projet Rhône, des séances d'information spécifiques, une journée portes ouvertes sur un modèle physique de Viège (1 :50) d'une longueur de 50 m, construit pour ce projet.



Fig. 5: Information meeting (left) and scale model test of Visp (right)
Séance d'information (gauche) et modèle physique de Viège (droite)

For further information and reference documents (especially [4] and [5]) you may consult the web site www.vs.ch/rhone.

Pour plus d'informations, vous trouverez différents documents de référence (notamment [4] et [5]) sur le site web www.vs.ch/rhone.

LITERATUR / LITTÉRATURE

- [1] Administration fédérale (1994): „Ordonnance du 2 novembre 1994 sur l'aménagement des cours d'eau (OACE)“ / „Verordnung vom 2. November 1994 über den Wasserbau (Wasserbauverordnung, WBV)“
- [2] BUWAL, BWG (2003): „Idee directrice: Cours d'eau suisses – Pour une politique de gestion durable de nos eaux“ / „Leitbild Fließgewässer Schweiz – Für eine nachhaltige Gewässerpolitik“ Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG) unter Mitarbeit des Bundesamtes für Landwirtschaft (BLW) und des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE)
- [3] BWW (1997): Recommandations 1997 - Prise en compte des dangers dus aux crues dans le cadre des activités de l'aménagement du territoire“ / „Empfehlungen 1997 – Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten“, Bundesamt für Wasserwirtschaft (BWW), Bundesamt für Raumplanung (BRP), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL)
- [4] Projet Rhône, Etat du Valais (2000): „Rapport de synthèse“ / „Synthesebericht“, Juin 2000
- [5] Projet Rhône, Etat du Valais (2006): „Plan sectoriel 3^e correction du Rhône“ / „Sachplan 3. Rhonekorrektur“, Juin 2006

OPERATIONELLE HOCHWASSERVORHERSAGEN FÜR DAS EINZUGSGEBIET DES RHEINS IN DER SCHWEIZ

OPERATIONAL FLOOD FORECASTING FOR THE SWISS RIVER RHINE BASIN

Therese Bürgi¹

ZUSAMMENFASSUNG

Seit Mitte der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts erstellt die Abteilung Hydrologie des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) Wasserstands- und Abflussvorhersagen für den Rhein bis Rheinfelden. Das BAFU arbeitet heute mit der dritten Generation von Vorhersagesystemen, nämlich mit dem Flood Early Warning System – FEWS, welches das gesamte Einzugsgebiet des Rheins bis Basel abdeckt. Die täglich gerechneten und veröffentlichten Vorhersagen erstrecken sich in stündlicher Auflösung über die nächsten 72 Stunden. Während Hochwassersituationen sind Abflussvorhersagen und Warnungen ein wichtiges Instrument für die lokalen Behörden, um rechtzeitig Vorsorgemassnahmen zu planen. An Hand von Fallbeispielen werden die Möglichkeiten und Grenzen der Abflussvorhersagen in einem komplexen hydrologischen Gebiet aufgezeigt, deren Verlässlichkeit diskutiert, sowie die Anforderungen an einen operationellen Dienst erläutert. Im Rahmen des Forschungsprojektes MAP D-Phase testet das BAFU zwischen Juni 2007 und November 2007 die neuesten numerischen Wettermodelle. Besondere Bedeutung kommt dabei dem probabilistischen Wettermodell COSMO-LEPS zu. Erste Erfahrungen mit hydrologischen Ensemble und Wahrscheinlichkeitsvorhersagen werden an Hand jüngster Ereignisse diskutiert.

Keywords: Hochwasservorhersage, Warnungen, Hydrologische Modelle

ABSTRACT

The Swiss Hydrological Survey of the Federal Office for the Environment (FOEN) has been drawing up operational water level and runoff forecasts for the River Rhine at Rheinfelden since the 1980s. FOEN is today working with the third generation of forecasting systems, with the Flood Early Warning System – FEWS. The forecasts cover the following 72-hour period and provide information for each hour. During flood situations these forecasts are of fundamental importance for local authorities in the planning of flood protection and emergency measures. With the illustration of recent events the challenges within a complex hydrological system will be shown, possibilities and limits of hydrological forecasts as well as their quality and requirements for an operational service with respect to warnings and alerts will be discussed. From June 2007 to November 2007 FOEN participates in the MAP D-Phase project within which the newest meteorological numerical forecasts, especially the probabilistic forecasts are tested. First experiences will be illustrated with some recent events.

Keywords: flood forecast, warning, hydrological model

¹ Bundesamt für Umwelt, Abtl. Hydrologie, CH-3003 Bern (phone: +41 31 324 76 73; fax: +41 31 324 76 81; e-mail: therese.buergi@bafu.admin.ch)

DAS VORHERSAGESYSTEM FEWS

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) erstellt Wasserstands- und Abflussvorhersagen seit Mitte der 80er Jahre des letzten Jahrhunderts. Seit Juni 2007 steht beim BAFU die dritte Generation von Vorhersagesystemen im operationellen Einsatz, nämlich das Vorhersagesystem **Flood Early Warning System - FEWS** (Bürgi, 2002). Im Gegensatz zu den früheren Systemen deckt FEWS das gesamte Einzugsgebiet des Rheins bis Basel ab (Abb. 1). Es schliesst darin auch die Zuflüsse der Nachbarstaaten Österreich und Deutschland ein. Das gesamte Einzugsgebiet von rund 36'000 km² ist in 62 Teileinzugsgebiete unterteilt. Diese Unterteilung berücksichtigt die Komplexität des alpinen hydrologischen Raumes wie auch die Verfügbarkeit von Online-Daten. An jedem Gebietsausfluss steht eine automatische Messstation. Die Teilgebietsgrössen variieren zwischen etwa 100 km² und 3'300 km², wobei das grösste Einzugsgebiet den Bodensee mit seinen rechts- und linksufrigen Zuflüssen einschliesst. Die mittlere Einzugsgebietsgrösse liegt bei ca. 550 km². Bei vielen Einzugsgebieten ist das natürliche Abflussregime beeinträchtigt, sei es durch den Einfluss der Stromproduktion mit Speicherseen und Kraftwerksbetrieben oder durch die Steuerung der Ausflüsse der grossen Alpenrandseen. Die Beeinflussung durch Kraftwerke ist im Modell eher rudimentär abgebildet. Dagegen sind die Schemata zur Regulierung der Ausflüsse aus den Alpenrandseen in detaillierter Form im System eingebaut. Eine weitere Herausforderung an ein Vorhersagesystem im Alpenraum ist die geringe Dichte des meteorologischen Messnetzes.

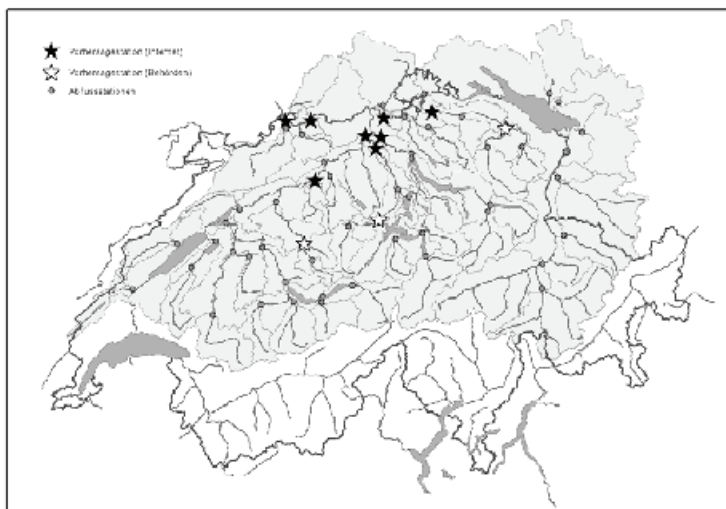


Abb. 1 Das Einzugsgebiet Rhein bis Basel ist in 62 Teileinzugsgebiete unterteilt. Für 8 Stationen werden die Abflussvorhersagen im Internet publiziert. Diese, plus zurzeit drei weitere Stationen stehen den Behörden für die Massnahmenplanung vor und während eines Hochwassers zur Verfügung.

Fig. 1 The river basin Rhine up to Basel, divided into about 60 sub-basins. For 8 stations runoff forecasts are published on internet. These and the forecast of three more stations are delivered to local authorities as instrument for the planning of flood protection measures.

In FEWS ist das hydrologische Modell HBV-96 (Lindström et al., 1997) eingebaut. Zu dessen Nachführung bis zum Vorhersagezeitpunkt fliessen stündliche Abflussmesswerte des

hydrologischen Messnetzes der Schweiz und einiger Stationen der Nachbarstaaten Österreich und Deutschland sowie stündliche Daten des automatischen, meteorologischen Messnetzes von MeteoSchweiz ein. Für die Berechnung der Abflussvorhersage wird der direkte Modell-output des deterministischen Wettermodells COSMO7 von MeteoSchweiz eingesetzt. COSMO7 steht zweimal täglich um ca. 5 Uhr bzw. 17 Uhr MEWZ mit Startzeit um 1 Uhr bzw. 13 Uhr MEWZ zur Verfügung. Damit stehen im System FEWS für alle Stationen der 62 Teileinzugsgebiete Vorhersagen für die nächsten drei Tage zur Verfügung. Von 8 Stationen der Mittellandflüsse werden die Resultate als Vorhersagebulletins ins Internet gestellt. Bei niedrigen bis mittleren Abflussverhältnissen stehen diese von Montag bis Freitag gegen 9 Uhr zur Verfügung. Vor und während Hochwassersituationen werden die Vorhersagen mehrmals täglich, sowie auch an Wochenenden und Feiertagen neu berechnet.

Zur Massnahmenplanung vor und während Hochwasserereignissen besteht für Einsatzbehörden das Angebot eines Hochwasser-Vorhersage-Abonnements. Dieses umfasst die rechtzeitige Warnung vor einer Überschreitung eines gemeinsam definierten Abflusswertes an den gewünschten Stationen, die Belieferung mit allen Vorhersagen während eines Hochwassers, telefonische Beratung sowie die Entwarnung. Zusätzlich zum Vorhersagebulletin, welches den reinen Modell-Output wiedergibt, erhalten die Kunden eine Einschätzung der Niederschlagsvorhersage des COSMO7 und eine Interpretation der Abflussvorhersage. Die Einschätzung von COSMO7 beruht dabei auf einer Diskussion mit den Prognostikern von MeteoSchweiz. Die Zustellung der Vorhersagen erfolgt per Fax oder E-mail. Kombiniert mit diesen wird ebenfalls ein Vorhersage-SMS angeboten, das mit einem kurzen Text auf die aktualisierte Vorhersage im Internet verweist.

Die Vorhersagegüte der 62 Stationen ist unterschiedlich. In mittleren und kleineren Einzugsgebieten beeinträchtigen Gebietseigenschaften wie anthropogen beeinflusste Abflussregimes, Karst oder ein hoher Vergletscherungsgrad die Güte der Vorhersagen. Zudem nimmt die Vorhersagbarkeit des Niederschlags ab, je kleiner die Gebietsgrösse ist. Um einen gewinnbringenden Einsatz und Nutzen von Abflussvorhersagen zu erzielen, diskutiert das Vorhersageteam gemeinsam mit den Kunden vor Abschluss eines Hochwasser-Vorhersage-Abonnements die Bedürfnisse wie auch die Möglichkeiten und Grenzen der Vorhersagen für die gewünschten Stationen. Die Vorhersagen der mittleren und kleineren Gebiete stehen wegen der grossen Unsicherheiten zurzeit nicht dem breiten Publikum zur Verfügung. Sie werden jedoch den kantonalen Fachstellen für Naturgefahren und Wasser angeboten. Ihre Kenntnisse zu den lokalen Verhältnissen, eine Schulung zu den Vorhersagen sowie der enge Kontakt mit dem Vorhersageteam verbessern die Interpretation und ermöglichen einen nutzbringenden Einsatz der Vorhersage und darauf aufbauend eine situationsgerechte Massnahmenplanung. Heute werden Hochwasservorhersagen an die Fachstellen von 8 Kantonen, die Nationale Alarmzentrale, die Rheinschifffahrtsdirektion sowie diverse Kraftwerksbetriebe und private Unternehmungen geschickt.

Vorhersagen im Rahmen von MAP D-Phase

Während der Monate Juni 2007 bis November 2007 arbeitet die Abteilung Hydrologie mit im internationalen Projekt MAP D-Phase; D-Phase steht für **Demonstration of Probabilistic Hydrological and Atmospheric Simulation of flood Events in the Alpine region**. MAP D-Phase hat zum Ziel die Fortschritte der Forschung in der Meteorologie seit dem Projekt MAP im Jahre 1999 aufzuzeigen; insbesondere jene bezüglich der Vorhersage von Starkniederschlägen und der resultierenden Hochwasserereignissen in alpinen Gebieten. Erstmals testen Wetterdienste, Hydrologische Dienste und End-User gemeinsam die neuen Wetter- und die damit gekoppelten hydrologischen Modelle. Nebst dem COSMO7, welches beim BAFU die operationelle Abflussvorhersage antreibt, fliessen während MAP D-Phase verschiedene

weitere deterministische und probabilistische Wettermodelle (Tab. 1) in ein parallel laufendes Vorhersagesystem ein.

Tab. 1: Während MAP D-Phase beim BAFU im Test stehende Wettermodelle

Tab. 1: During MAP D-Phase FOEN tests following weather models

Modell	Modelltyp	Auflösung	Höchste Gipfel	Vorhersagezeitraum	Läufe/Tag	Eintreffen bei BAFU
COSMO7	Lokalmodell	7 km	> 3000 m	72 h	2 x	4 h später
COSMO2	Lokalmodell	2.2 km	> 4000 m	bis 30 h	8 x	6 h später
EZMWF	Globalmodell	25x40 km	~ 2500 m	240 h	2 x	11 h später
COSMO-LEPS	Ensemble Modell 16 Member	10 km	~ 3000 m	132 h	1 x	11 h später
SRNWP-PEPS	Ensemble Modell Bis 21 Member	7 km		30 – 72 h	4 x	

Das während MAP D-Phase produzierte BAFU-Bulletin enthält drei Grafiken unterschiedlicher Darstellungsarten. 1) Ein Vergleich der Abflussvorhersagen angetrieben mit den drei deterministischen Wettermodellen COSMO7, COSMO2 und EZMWF. 2) Ein Vergleich zwischen der operationellen Abflussvorhersagen angetrieben mit dem COSMO7 gegenüber den einzelnen Läufen des SRNWP-PEPS. 3) Eine Gegenüberstellung des operationellen Laufes mit den Vorhersagen angetrieben mit dem Ensemble Modell COSMO-LEPS, dargestellt als Perzentile. Das BAFU publiziert, wie alle andern Mitwirkenden, die Resultate auf der MAP D-Phase Visualisierungsplattform und informiert seine Kunden via E-Mail über allfällige Überschreitungen von Schwellenwerten.

Die umfangreiche Visualisierungsplattform, auf welcher die Resultate einer Vielzahl von meteorologischen und hydrologischen Modellen publiziert sind, kann jederzeit eingesehen werden. Die Vorhersagedienste wie auch die Empfänger der Vorhersagen werden mit einer Fülle von neue Produkte und neuen Herausforderungen konfrontiert. Aufbauend auf den Feedbacks von den Kunden, den gewonnen Erfahrungen während abgelaufener Ereignisse und den Auswertungen der im Rahmen von MAP D-Phase erstellten Vorhersagen, werden die Vorhersageprodukte weiterentwickelt.

WARNTÄTIGKEIT DES BAFU IN DEN MONATEN JUNI 2007 BIS AUGUST 2007

Der Sommer 2007 ist laut MeteoSchweiz (MeteoSchweiz, 2007) von einer intensiven Niederschlagsstätigkeit geprägt. Im Juni 2007 bringt eine ungewöhnlich lang anhaltende Gewitterlage mit mehreren Unwettern in verschiedenen Regionen verheerende Hochwasser. Auf einen regenreichen Juli folgen anfangs und Ende August massive Unwetter mit enormen Regenmengen, die zu Rekordabflüssen an verschiedenen BAFU-Messstationen führen. Wie können solche Ereignisse vom Vorhersagesystem FEWS erfasst bzw. vorhergesagt werden? Wo liegen die Grenzen und wie präsentiert sich die Warntätigkeit des BAFU für seine Kunden?

Das BAFU hat für 11 Stationen des Vorhersagesystem FEWS mit den Fachstellen von 8 Kantonen Vereinbarungen für Hochwasserwarnungen abgeschlossen. Für jede dieser Stationen erfolgt ein Weckruf, d.h. eine Hochwasservorhersage, an die betreffenden Kantone sobald in der Vorhersageperiode der vereinbarte Schwellenwert überschritten wird. Während der drei Monate Juni 2007 bis August 2007 verschickt das BAFU insgesamt 30 Warnungen, davon sind 11 als Fehlalarme zu verzeichnen. Für 16 gemessene Überschreitungen der ver-

einbarten Schwellenwerte wird die rechtzeitige Warnung verpasst. Die Tabelle 2 zeigt, dass 8 dieser verpassten Warnungen den mittelgrossen Einzugsgebieten Emme-Emmenmatt (443 km²) und Kleine Emme-Littau (447 km²) zuzuordnen sind. Bei diesen Ereignissen handelt es sich um lokale Gewitter grösserer Intensität, für welche die zeitliche und örtliche Wettervorhersage in einem alpinen Raum sehr schwierig ist und höchstens mit Kurzfrist-Vorhersagen erfasst werden könnte. Bei vier von diesen acht verpassten Ereignissen steigt in der Folge des intensiven Niederschlags der Abfluss des Gewässers derart an, dass es auch bei den unterliegenden Stationen Aare-Murgenthal und Reuss-Mellingen zu Überschreitungen der Schwellenwerte kommt.

Tab. 2: Zusammenstellung der Ereignisse von Juni 2007 bis August 2007: Q-Warn entspricht den vereinbarten Schwellenwerten für die Warnung. Korrekte Warnungen (ohne Schattierung), Fehlalarme (dunkelgrau schattiert) und verpasste Ereignisse (hellgrau schattiert).

Tab. 2: Event List from June 2007 to August 2007: Q-Warn indicates the agreed threshold for warnings. Correct warnings (without shade), false alarms (dark grey shaded) and missed events (light grey shaded).

Datum Q-Warn		Emme 100	Murgenthal 600	Brugg 945	Kl.Emme 300	Mellingen 400	Halden 300	Andelf. 300	Rheinf. 1725
1/2.6.07	Gem.	108	644	----	----	300	81	97	1753
V:1.06.07/09	Vorh.	107	606	----	----	538	300	321	2360
9.6.07	Gem.	103	----	----	----	----	----	----	----
	Vorh.	keine							
12.6.07 / 01	Gem.	137	----	----	----	----	----	----	----
V:11.6.07/09	Vorh.	58							
12.6.07 / 22	Gem.	143	----	----	----	----	----	----	----
V:12.6.07/09	Vorh.	51							
15.6.07	Gem.	103	----	----	----	----	----	----	----
V:15.6.07/09	Vorh.	54							
21.6.07	Gem.	22	717	830	25	282	25	61	1944
V:19.6.07/09	Vorh.	---	900	1389	---	455	---	---	2592
V:20.6.07/09	Vorh.	146	817	881	447	682	---	452	2647
V:20.6.07/19	Vorh.	22	565	612	55	285	716	743	2228
4.7.07	Gem.	217	708	----	----	445	----	----	2190
V:3.7.07/09	Vorh.	81	517			243			1647
9.7.07	Gem.	123	740	----	----	----	----	----	2161
V:9.7.07 / 09	Vorh.	66	684						1800
21/22.7.07	Gem.	293	752	----	324	485	---	65	2009
V:20.7.07/09	Vorh.	51	467		61	221		350	1845
24.7.07	Gem.	140	742	----	----	----	----	----	2067
V:23.7.07/09	Vorh.	50	600						1563
8/9.8.07	Gem.	481	1254	1386	548	766	812	787	4095
	Vorh.								
29./30.8.07	Gem.	----	784	961	----	----	----	230	2311
	Vorh.		770	908				340	2438

Ebenso stehen die Fehlalarme, welche grösstenteils in denselben Gebieten verzeichnet werden, im Zusammenhang mit der sommerlichen konvektiven Wetterlage. In diesen Fällen werden jeweils grössere Niederschlagsmengen für die entsprechenden Gebiete vorausgesagt. Die eigentliche Entladung findet schliesslich nicht in diesen Gebieten statt. Der Fehlalarm vom 21. Juni 2007 und das Grossereignis vom 8./9. August 2007, vor welchem rechtzeitig gewarnt wird, werden beispielhaft in den nächsten Abschnitten näher erläutert.

FEHLALARM FÜR DEN 21. JUNI 2007

Die Schweiz liegt zwischen einem kräftigen atlantischen Tief mit Kern bei Irland und einem flachen Hoch mit Kern über dem Baltikum. Eine mässige Strömung aus Südwest führt sehr warme und feuchte Gewitterluft heran. Am Abend des 20. Juni 2007 und in der ersten Nachthälfte bilden sich heftige Gewitter; zuerst in den westlichen Voralpen, dann im Berner Mittelland und schliesslich in den Schwyzer und Glarner Voralpen. Die zweite Nachthälfte verläuft ruhig, allerdings bleibt die Luft schwülwarm. Am frühen Morgen bildet sich über der Genferseeregion eine markante Gewitterfront, welche in weniger als vier Stunden über das Mittelland bis zum Bodensee zieht (MeteoSchweiz, 2007).

Im Vorfeld dieser Gewitternacht warnt MeteoSchweiz am Vormittag und Nachmittag des 20. Juni 2007 vor heftigen Gewittern. Die Schwerpunkte werden für den Jura, die Nordalpen und die Nordostschweiz angekündigt. Zu beiden Zeitpunkten der Meteo-Warnung ist eine präzisere Lokalisierung der später erfolgenden Gewitter nicht möglich. Die Meteorologen verweisen deshalb für die genaueren Angaben auf die kurzfristig ausgegebenen Gewitterwarnungen, die so genannten „Flash Orage“.

Der 00-UTC-Lauf des COSMO7 vom 20. Juni 2007 prognostiziert grössere Niederschlagsmengen im Raum Emme / Kleine Emme / Napf für den späteren Nachmittag, sowie für das Gebiet der Thur in der Nacht auf den 21. Juni 2007. Die Berechnung der Abflussvorhersage mit FEWS löst, im Gegensatz zur meteorologisch grossräumig gehaltenen Aussage, einzugsgebiets-scharf Warnungen für das Gebiet der Emme bis Emmenmatt, der Kleinen Emme bis Littau und für die Thur bis Andelfingen aus. Entsprechend werden die lokalen Fachstellen informiert. Zusätzlich zum Bulletin mit dem reinen Modell-Output erhalten diese die Information darüber, dass die prognostizierten Niederschläge des COSMO7 als zu hoch angenommen werden können, dass allerdings mit lokalen Gewittern gerechnet werden muss. Ebenfalls wird auf die Vorhersagen aus COSMO-LEPS hingewiesen, welche deutlich tiefere Abflüsse aufweisen.

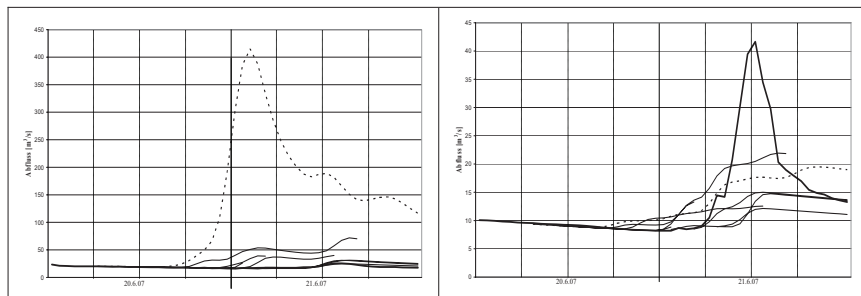


Abb. 2: Gemessene Abflüsse (fett), COSMO7-Vorhersagen (gestrichelt) und COSMO2-Vorhersage (dünn) für die Kleine Emme-Littau (links) und die benachbarte Wigger-Zofingen (rechts) vom 20.6.07. In der kleinen Emme ist der prognostizierte Abfluss überschätzt in der Wigger unterschätzt.

Fig. 2: Measured runoffs (bold), COSMO7-forecasts (dotted) combined with COSMO2-forecasts (fine) for Kleine Emme-Littau (left) and the neighbour sub-basin Wigger-Zofingen (right) on 20.6.07. For the sub-basin of Kleine Emme the forecast driven by COSMO7 overestimates whereas it is underestimated for the Wigger.

Abbildung 2 zeigt die sehr hohen prognostizierten Abflüsse für die Stationen Kleine Emme-Littau und Wigger-Zofingen, zwei benachbarte Gebiete. Dargestellt sind die Abflussvorhersagen, welche am 20. Juni 2007 vormittags mit COSMO7 berechnet werden. Sowie zusätzlich alle für denselben Tag vorhandenen COSMO2-Vorhersagen. Deutlich kommt die grosse Überschätzung bei Littau und im Gegensatz dazu die Unterschätzung bei Zofingen zum

Ausdruck. Die kurzfristigeren, räumlich besser aufgelösten und häufiger aktualisierten COSMO2-Vorhersagen zeigen bei Littau schon früh, dass kaum mit einem ansteigenden Abfluss gerechnet werden muss. Den steilen und schnell ansteigenden Abfluss in der Wigger wird jedoch auch mit den COSMO2-Vorhersagen unterschätzt. Wird die Wahrscheinlichkeitsvorhersage von COSMO-LEPS (Abb. 3) betrachtet, so überschätzen auch diese grösstenteils den Abfluss für die Kleine Emme. Dieser pendelt um die untere umhüllende Kurve des Ensembles. Dagegen ist der Abfluss der Wigger deutlich innerhalb des Ensemble-Spreads von COSMO-LEPS, wenn auch nur mit einer kleinen Wahrscheinlichkeit eine so hohe Abflussspitze erwartet werden kann. Die räumliche Gitterauflösung des COSMO7 wie auch von COSMO-LEPS ist für Wetterphänomene wie Gewitter zu grob. Die feine Auflösung von COSMO2 und die hohe Verfügbarkeit von neuen Vorhersageläufen ermöglichen ein häufigeres aufdatieren der hydrologischen Vorhersage und damit ein Anpassen der Abflussvorhersagen an das ablaufende Ereignis. Welche Wettermodelle sich jedoch für die Vorhersage bestimmter Ereignisse und damit für die Abflussvorhersage am besten eignen, ist Gegenstand weiterer Untersuchungen.

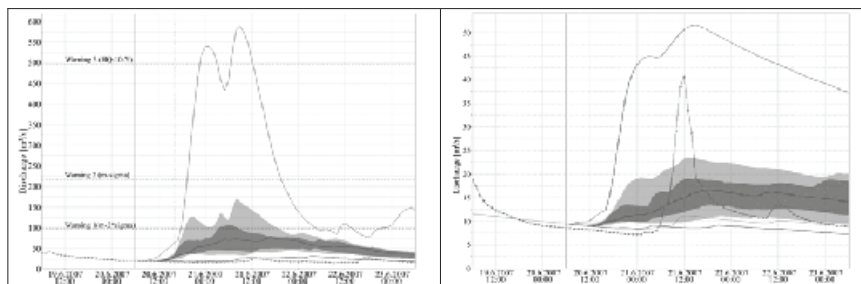


Abb. 3: COSMO-LEPS-Vorhersagen vom 20.6.07 05 UTC für die Kleine Emme-Littau (links) und Wigger-Zofingen (rechts).

Fig. 3: COSMO-LEPS-forecasts of 20.6.07 05 UTC for Kleine Emme-Littau (left) and Wigger-Zofingen (right).

DAS EREIGNIS VOM 8./9. AUGUST 2007

Ein abgeschlossenes Höhentief über dem westlichen Alpenraum führt in der Höhe sehr feuchte Luftmassen aus südlicher, später südöstlicher Richtung zur Schweiz. Diese Luft wird im Zusammenhang mit einer Tiefdruckbildung über Norditalien angehoben und gleitet zudem auf kühlere Luft auf, die mit nordwestlichen Winden in Bodennähe auf der Alpennordseite einfließt. Dies führt zu mehrstündigen, teils sehr intensiven Niederschlägen. Grosse Niederschlagsmengen fallen im Jura, im Mittelland und im Raum Zürich. Die Messstationen verzeichnen Regenmengen wie sie alle 30 bis 50 Jahre vorkommen (MeteoSchweiz, 2007).

Die Meteorologen warnen wegen des markanten Luftmassenwechsels schon ab dem 6. August 2007 in regelmässigen Abständen vor Starkniederschlägen. Die Gefahrenstufe wechselt in der Folge von gelb am Morgen des 8. Augusts 2007 über orange am Mittag bis zur Gefahrenstufe rot am Abend. Die Warnungen werden für das westliche Mittelland und den zentralen Alpennordhang ausgegeben.

Die anhaltenden Niederschläge führen in vielen Kantonen zu kritischen Abflusssituationen und zu Hochwasserschäden. Das Messnetz des BAFU registriert an 15 Messstationen neue Rekordwerte. Am deutlichsten übertroffen wird der bisherige Höchstwert an der Aare in Murgenthal. Weitere Rekordabflüsse verzeichnen die Emme, die Aare unterhalb der Emme-

mündung bis zum Rhein, die Birs und die Ergolz. Der Wasserstand des Bielersees erreicht seit der zweiten Juragewässerkorrektur einen neuen Höchststand.

Die Abflussvorhersagen vom 8. August 2007 Vormittag zeigen hohe bis extreme Abflüsse für die Emme, die Aare, die Kleine Emme und die Reuss sowie in Folge des Routings für den Rhein bei Rheinfelden. Die Warnschwellen werden an den jeweiligen Stationen teils deutlich überschritten. Der Vorhersagedienst informiert die entsprechenden Naturgefahrenfachstellen des Mittellandes. Er vermerkt auf dem erläuternden Beilageblatt, dass die Vorhersagen für die Aare auf einem konstant bei $500\text{m}^3/\text{s}$ angenommenen Ausfluss aus dem Bielersee basieren, und dass aufgrund der prognostizierten Niederschläge des COSMO7 im Gebiet unterhalb des Bielersee grosse Abflüsse generiert werden. Wegen der vorhergesagten hohen Abflüsse und des einsetzenden Regens werden mit dem 00-Uhr-UTC-Lauf des COSMO7 weitere Vorhersagen gegen 11 Uhr und 15 Uhr sowie um 19 Uhr mit dem neusten COSMO7-Lauf von 12 Uhr UTC gerechnet. Mit der Abendvorhersage erfolgt zusätzlich die Warnung für das Thurgebiet.

Die im Mittelland anhaltend intensiven Niederschläge lassen die Flüsse rascher ansteigen als in den Vorhersagen gerechnet. Der Vorhersagedienst verfolgt daher die Situation erstmals auch während der ganzen Nacht. Er erteilt an verschiedene Fachstellen und Einsatzkräfte Auskünfte zur aktuellen Lage und erläutert an Hand der neusten Berechnungen die Weiterentwicklung. Am 9. August 2007 wird im 2-Stunden-Intervall gerechnet.

Situation in der Aare

Während des Grossereignisses im August 2007 werden unter anderem auch in der Emme und der Aare Rekordabflüsse registriert. Die Abflüsse für die Aare bei Murgenthal (Abb. 4) bilden sich unter Berücksichtigung der entsprechenden Fließzeiten aus dem Ausfluss aus dem Bielersee, dem Zufluss der Emme und dem im Zwischeneinzugsgebiet generierten Zufluss. Bei der Station Murgenthal liegt die kritische Abflusshöhe bei $850\text{m}^3/\text{s}$. Wird diese überschritten, so muss in unterliegenden Siedlungsgebieten mit Überschwemmungen gerechnet werden. Der Ausfluss aus dem Bielersee wird gesteuert. Ein Regulierreglement legt fest, wie das Wehr zu bedienen ist. Es ist das Ergebnis vieler Kompromisse zwischen den Interessen der Gewässernutzung (Schifffahrt, Wasserkraft, Fischerei und Freizeit) und jenen des Bevölkerungs- bzw. Umweltschutzes. Ziel ist es, die Seestände innerhalb den in den Reglementen definierten Wasserständen zu halten. Zwischen den betroffenen Kantonen ist vereinbart, den Ausfluss des Bielersees während Hochwassersituation so zu steuern, dass die $850\text{m}^3/\text{s}$ bei Murgenthal nach Möglichkeit nicht überschritten werden. Die aktuelle Steuerung des Bielersee-Ausflusses während Hochwasser basiert auf dem Regulierreglement, den aktuellen hydrologischen Beobachtungen, insbesondere wegen der schnellen Fließzeiten auf jenen der Emme bei Emmenmatt, sowie auf den Wettervorhersagen.



Abb. 4: Situationsplan für das Einzugsgebiet der Emme und den Zusammenfluss mit der Aare. Die Regenmesser sind als Punkte, die Abflussmessstationen als Dreiecke dargestellt.

Fig. 4: Position plan of Emme and the confluence with the river Aare. The signatures for rain gauges are circles that ones for runoff gauges are triangles.

Bei der Analyse der Vorhersagen und der gemessenen Abflüsse für die Emme und die Aare wird deutlich, wie präzise die einzelnen Glieder der ganzen Vorhersagekette mit einander verknüpft sein müssen, um eine rechtzeitige Massnahmenplanung zu ermöglichen.

Analyse des Gebietsniederschlages für das Teileinzugsgebiet Emme

Der interpolierte gemessene Gebietsniederschlag für das Einzugsgebiet der Emme-Emmenmatt basiert auf den Messungen von Regenmessern (Abb. 4) teils weit ausserhalb des Einzugsgebietes. Die Summe der in FEWS interpolierten Gebietsniederschläge während der intensivsten Regenzeit von 14:00 Uhr bis 20:00 Uhr beträgt etwa 45 mm. Demgegenüber steht die aufsummierte prognostizierte Niederschlagsmenge von ca. 70 mm, wobei die intensivsten Niederschläge für die Stunden zwischen 17:00 Uhr und Mitternacht vorhergesagt sind. Die Abbildung 5 zeigt, dass der gemessene Abfluss deutlich höher und steiler ist als der prognostizierte, obwohl die vorhergesagten Niederschlagsintensitäten wie auch die Gesamtniederschlagssumme höher sind als die gemessenen. Der steile und hohe Anstieg des Emmeabflusses lässt vermuten, dass wesentlich grössere Niederschlagsmengen gefallen sind, als mit den in FEWS zur Verfügung stehenden online-Stationen berechnet werden kann. Der Gebietsniederschlag ist eine wichtige Grösse für die Modelleichung wie für die Berechnung der aktuellen Speicherzustände im operationellen Vorhersagesystem. Das Beispiel zeigt, dass mit dem aktuellen Messnetz lokale, intensive Niederschläge zuwenig genau erfasst werden können.

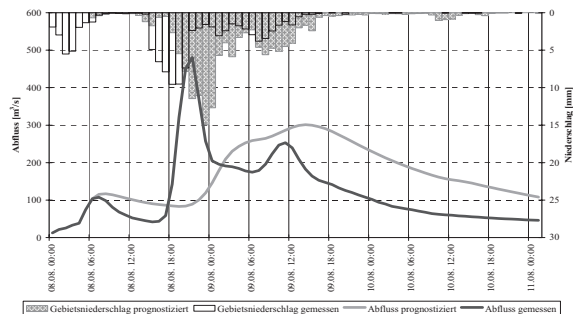


Abb. 5: Einzugsgebiet Emme-Emmenmatt. Vergleich zwischen gemessenem und mit COSMO7 vorhergesagtem Niederschlag sowie gemessenem und vorhergesagtem Abfluss.

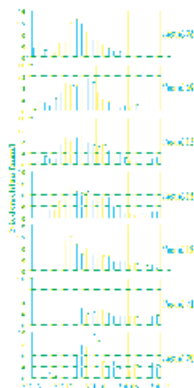
Fig. 5: Sub-basin Emme-Emmenmatt. Comparison of measured and in COSMO7 forecasted precipitation as well as measured and forecasted runoff.

Der Vergleich des gemessenen und in COSMO7 vorhergesagten Niederschlagsverlaufes hat gezeigt, dass die Phase des intensivsten Niederschlages vier bis fünf Stunden später stattfindet als im Wettermodell vorhergesagt wird. Die Spitze des vorhergesagten Abflusses ist wegen der Unterschätzung des Niederschlags und seiner Intensität bedeutend tiefer und infolge des zeitlich später angekündigten Niederschlags um fast 12 Stunden verzögert.

Ein Vergleich (Abb. 6) mit den verschiedenen Läufen des COSMO2 zeigt, dass nur der Lauf von 06 Uhr UTC ähnliche Niederschlagshöhen wie COSMO7 für den Hauptniederschlag vorhersagt. Im Lauf von 06 Uhr UTC stimmt zudem die zeitliche Verteilung der grossen Intensitäten besser mit derjenigen der gemessenen Werte überein. Demzufolge hätte mit den später verfügbaren Läufen des COSMO2 die eingetretene Abflussspitze ebenfalls nicht mit genügender Genauigkeit vorhergesagt werden können, was insbesondere die Abflusshöhe und das zeitliche Eintreffen der Spitze betrifft.

Abb. 6: Vergleich der Niederschlagsvorhersagen im Gebiet der Emme bei Emmenmatt für die verschiedenen COSMO2-Läufe mit dem 00-UTC-Lauf des COSMO7 für den 8.8.07 12h bis 9.8.07 12h.

Fig. 6: Comparison of precipitation forecasts for the sub-basin Emme at Emmenmatt of the different runs of COSMO2 with the 00-UTC-run of COSMO7 for the 8.8.07 12h until 9.8.07 12h.



Seeregulierung Bielersee

Extreme Abflüsse werden auch für die Station bei Murgenthal vorhergesagt und registriert. Diese überschreiten die kritische Marke von $850 \text{ m}^3/\text{s}$ deutlich. Die Abbildung 7 zeigt die Abflusskurven für den Ausfluss aus dem Bielersee bei Brügg, den Zufluss der Emme bei Emmenmatt sowie den Rekordabfluss der Aare bei Murgenthal. Die Drosselung des Abflusses bei Brügg ist eindrücklich sichtbar.

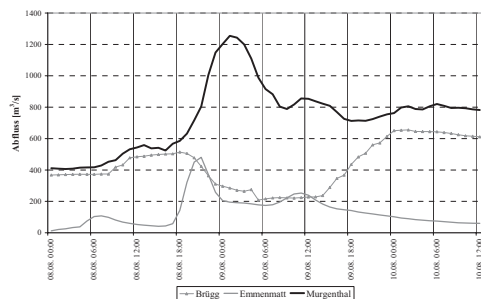


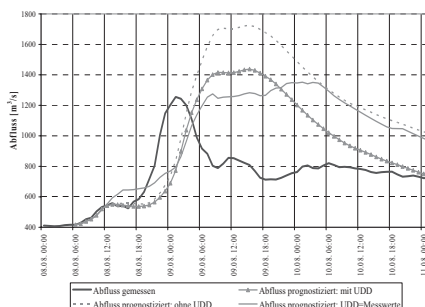
Abb. 7: Während Hochwasser wird der Ausfluss des Bielersees bei Brügg kurzfristig entsprechend dem Zufluss der Emme bei Emmenmatt gedrosselt.

Fig. 7: During flood situations the outflow of the Bielersee at Brügg is reduced at short-term according to the confluence of Emme at Emmenmatt.

Solche anthropogenen Beeinflussungen des Abflusses können die Qualität der Vorhersagen von unterhalb der Regulierung liegenden Stationen stark beeinflussen. Demzufolge sind gut eingespielte Kommunikationsabläufe zwischen den regulierenden Behörden und dem Vorhersagedienst in Hochwasserfällen entscheidend. Daneben sollte das Vorhersagesystem für die verschiedenen Steuerungsoptionen gerüstet sein. Im Vorhersagesystem FEWS sind deshalb die Regulierschemata der Seen eingebaut. Die Option „User Defined Discharge“ kurz „UDD“ ermöglicht zusätzlich die manuelle Eingabe, der von den Behörden geplanten ausserordentlichen Seeausflüsse. Während Hochwassersituationen sind möglichst genaue Steuerangaben insbesondere dann wichtig, wenn kurzfristig von den vereinbarten Schemata abgewichen wird. Die Auswirkungen der unterschiedlichen Reguliermassnahmen auf die Vorhersagen bei Murgenthal zeigt die Abbildung 8 an Hand der Vormittagsvorhersage vom 8. August 2007 für Murgenthal.

Abb. 8: Vorhersage Aare-Murgenthal vom 8.8.7 09: Vergleich zwischen der offiziellen Abflussvorhersage mit konstant gehaltenem Ausfluss Bielersee bei 500 m³/s (mit UDD), der Simulation unter Verwendung des eingebauten Regulierschemas (ohne UDD) sowie einer Simulation basierend auf gemessenen Ausflüssen aus dem Bielersee (UDD=Messwerte).

Fig. 8: Forecast for Aare-Murgenthal from 8.8.07 09: Comparison between the official forecast under the assumption of a constant outflow of Bielersee at 500 m³/s (mit UDD), the simulation calculated with the implemented regulation schema at Bielersee (ohne UDD) and simulation calculated with the measured outflow at Bielersee (UDD=Messwerte).



Die Simulation basierend auf dem Regulierschema weist deutlich höhere Abflüsse aus als jene mit den gemessenen Bielerseeausflüssen. Diese wiederum entspricht in der Höhe recht genau der effektiv bei Murgenthal gemessenen Abflussmenge, allerdings ist in der Simulation die Spitze einige Stunden später angekündigt als sie tatsächlich eingetreten ist. Was sich mit der oben in Abbildung 5 erwähnten Tatsache erklären lässt, dass der Hauptniederschlag früher fällt als im Wettermodell des 00-UTC-Laufes von COSMO7 angekündigt ist. Dass der Abfluss, simuliert mit den gemessenen Bielerseeausflüssen, im Modell so lange so hoch bleibt, kann nebst den Unsicherheiten der Wettervorhersage auch noch auf jene des hydrologischen Modells hinweisen.

Für die Steuerung des Bielerseeausflusses, während solch extremen Situationen, sind für die Einsatzbehörden, wegen der schnellen Reaktions- und Fließzeiten, zeitlich und in der Abflusshöhe exakte Vorhersagen für den Zufluss der Emme und den Abfluss der Aare entscheidend. Auf der anderen Seite sind für verlässliche Vorhersagen bei einer Station wie Murgenthal einerseits zeitlich und räumlich hoch aufgelöste Niederschlagsmessungen und Niederschlagsvorhersagen wichtig, andererseits sind für den Vorhersagedienst die Angaben zu den geplanten Ausflüssen aus dem Bielersee notwendig. Ein häufiges Aufdatieren der Vorhersagen an die neusten Steuermassnahmen und an das aktuelle Niederschlags- und Abflussgeschehen verbessern die Vorhersage.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Vorhersagesystem FEWS läuft erst seit einigen Monaten im operationellen Betrieb. Ein erster Testfall bestand das System schon während des Hochwassers im August 2005 – damals im Parallelbetrieb. Mit dem Augustereignis 2007 ist für das System, wie auch für den Vorhersagedienst eine weitere Bewährungsprobe bestanden. Die Abdeckung des gesamten Rheineinzugsgebietes, die Integration der Alpenrandseen sowie die umfassenden Möglichkeiten zur Datensichtung unterstützen die Prognostiker bei der Interpretation des ablaufenden Ereignisses und sind wichtige Hilfsmittel in den Diskussionen mit den Kunden.

Während des Sommers 2007 entladen sich verschiedentlich grosse Gewitter im Einzugsgebiet des Rheins und damit im Berechnungsgebiet von FEWS. Einige führen zu immensen Sachschäden. Die Ausdehnung dieser Ereignisse ist allerdings meistens kleiner, als die Gebietsunterteilung von FEWS und können damit weder erfasst noch vorhergesagt werden. Konvektive Niederschläge werden im COSMO7-Modell zwar angedeutet. Doch ist die Auflösung dieses Modells für die exaktere Lokalisierung von Gewittern, die Bestimmung deren Niederschlagsintensitäten und des zeitlichen Verlaufes nicht genügend. Daher ist mit

der aktuellen Konfiguration von FEWS das Risiko für Fehlalarme bzw. verpasste Ereignisse bei Gewitterlagen gross.

Dagegen hat sich FEWS für grossräumige Ereignisse bewährt. Die Kunden des BAFU werden für alle Stationen rechtzeitig gewarnt. Die Höhe bzw. das zeitliche Eintreffen der Spitze kann jedoch nicht überall zufrieden stellend genau vorhergesagt werden. Ebenso sind Schwachstellen bezüglich der Geschwindigkeit und Dynamik aufgedeckt. Das hydrologische Vorhersagesystem stösst insbesondere in kleinen und mittleren Einzugsgebieten mit der heutigen Konfiguration an die Grenzen der für die Fachstellen und Einsatzkräften benötigten Genauigkeit zur Einsatzplanung.

Die ersten Erfahrungen, die während MAP D-Phase mit den neusten meteorologischen Vorhersagemodellen gesammelt werden, stimmen positiv. Insbesondere eine Kopplung des hydrologischen Systems mit dem Ensemble-Vorhersagemodell COSMO-LEPS ist viel versprechend und wird von den Kunden positiv aufgenommen. Ermöglicht werden damit nicht nur mittelfristige Vorhersage über 3-5 Tage, sondern sie bilden vor allem ein wertvolles Hilfsmittel zur besseren Einordnung der deterministischen Vorhersagen. Die Vorteile des häufig aufdatierten Modells COSMO2 können noch nicht vollständig beurteilt werden. Weitere Untersuchungen und Analysen gemeinsam mit den Kunden sind dazu noch nötig.

Die Erkenntnisse aus den Ereignissen des Sommers 2007, die Erfahrungen mit den neuen Produkten der Wetterdienste und Kontakte mit den Kunden zeigen, dass die Anforderungen an den hydrologischen Vorhersagedienst weiter zunehmen werden. Vermehrte Anstrengungen sind notwendig, um für kleinere Einzugsgebiete zuverlässige Vorhersagen zu erstellen. Aus organisatorischer Sicht ist es wichtig, während Hochwasserereignissen den Vorhersagedienst rund um die Uhr in Betrieb zu halten. Dies alles verlangt jedoch entsprechende personelle Ressourcen. Das Ereignis vom 8. August 2007 illustriert einmal mehr wie wichtig institutionalisierte und eingespielte Kommunikationswege zwischen den involvierten Fachstellen und Einsatzorganen sind. Regelmässige Kontakte unter den Behörden und eine kontinuierliche Schulungen aller Beteiligten verbessern die Interpretation der Vorhersagen und ermöglichen eine situationsgerechte Massnahmenplanung.

LITERATUR

- Bürgi, Th. 2002: Operational flood forecasting in mountainous areas (Ed. Spreafico M., Weingartner R.) International Conference on Flood Estimation. March 6-8, 2002, Bern, Switzerland. Proceedings. Report no II-17 of the International Commission for the Hydrology of the Rhine basin: 397-406.
- Lindström, G. et al. (1997): Development and test of the distributed HBV-96 hydrological Model. In: Journal of Hydrology 201, p 272-288, Elsevier.
- MeteoSchweiz 2007: Witterungsberichte Juni 2007, Juli 2007, August 2007

TYPHOONS' EFFECTS ON LONG-TERM WATERSHED SEDIMENT MANAGEMENT IN SHIHMEN RESERVOIR IN TAIWAN

Su-Chin Chen¹, Yi-Cheng Lai², Chin-Lun Wang³

ABSTRACT

Serious siltation in reservoirs generally results from natural collapse and anthropogenic activities. Taiwan has been experiencing severe sediment problems with the intense transient flows result from the steep terrain and torrential rains. Facing the growing difficulty of finding new water resources, and the potential consequence of severe water shortages, Taiwan definitely has to prolong the utility of existing reservoirs, and to keep the stable quality of water supply. Although reservoirs may be dredged to prolong their life spans and treated to improve their quality, it is far better to achieve these ends through effective watershed sediment management. In order to assess the effectiveness of reservoir management plans and conservation works, this study adopts the concept of completeness ratio to represent the sedimentation reduction and increases in lifespan of reservoir. Besides, we analyze the typhoons' effects on long-term watershed sediment management.

Keywords: Sediment management, Sedimentation reduction, Reservoir Watershed, Typhoon, Completeness Ratio.

METHODOLOGY

Both the sedimentation records and watershed conservation works to the Shihmen reservoir from 1964 to 2006 are collected for further analysis. It induces severe sediment problems in the Shihmen reservoir that torrential rains accompanying the typhoons. After long-term watershed sediment management, the annual sediment yield in the Shihmen reservoir is reduced from $4.0 \times 10^6 \text{m}^3$ to $1.4 \times 10^6 \text{m}^3$, but approximately $20 \times 10^6 \text{m}^3$ after Typhoon Aere (08/23/2004 ~ 08/26/2004). This study defines the completeness ratio as the management effectiveness index, representing the interaction between calculated sediment yields and actual amount, and the effects due to typhoons are discussed. Diagrams are also used to explain both the tendency of completeness ratio over the years and the relationship between completeness ratio and management funds.

COMPLETENESS RATIO

This study has based on completeness ratio (*CR*) as its evaluation indicator, which is mainly to render the evaluation work of completeness ratio can be extended from one single works to

1 Professor, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

2 Doctoral graduate student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C. (Tel.: +886-4-2285-2411; Fax: +886-4-2285-3967; email: kunkun@mail.nchu.edu.tw)

3 Division chief, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 540, Taiwan, R.O.C.

the entire project of the watershed so as to effectively expand the aspect of effectiveness evaluation of sediment control (Chen and Lai, 2004). The estimation equation of completeness ratio as follows:

$$CR = \frac{Q_{so} - Q_s}{Q_{so} - Q_{sp}} \times 100\% \quad (1)$$

In the Eq. (1), Q_{so} is sediment yield before erosion control; Q_{sp} is reasonable sediment yield; and Q_s is sediment yield after erosion control.

As learned from equation (1), numerator, sediment control effectiveness, is of the difference of values of sediment yield before and after the management, and what it stands is of the sediment-prevention with erosion control measures. And the denominator in equation (1), sediment goal, is of the difference of value of sediment yield before management and reasonable sediment yield, and it stands for the amount of sediment to be administered. In a word, completeness ratio is of the comparison value of sediment control effectiveness against sediment control goal, and it is of the efficiency that can help prevent sediment loss as evaluated after erosion control works.

The completeness ratio equation (1) as defined in this study can also explain its connection with sediment management by means of the indicating chart (figure 1). The equation considers not only the sedimentation reduction because of the sediment control works or management, but also reasonable sediment discharge that various planning objectives permit. Accordingly, all projects can set up different management goals and reasonable sediment discharge, such as making sediment yield get back to the situations that never undergo sediment disaster or artificial development.

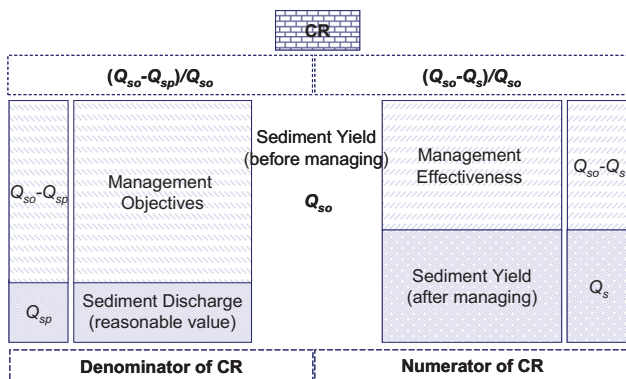


Fig.1 Schematic diagram of the completeness ratio

EVALUATION FOR SEDIMENT IN SHIHMEN RESERVOIR

Shihmen Reservoir is the first multiple function reservoir in Taiwan as it can irrigate, generate power, provide water to the public, flood prevention, and sightseeing, and it has operated for 40 years since its completeness in May 1963. Shihmen Reservoir has, based on the “20-years plan of watershed governance for Shihmen Reservoir,” stipulated five-phase

(each phase lasts for 4 years) of governance plan. After governance for a long period of time, the amount of sedimentation has gradually lowered. Based on the sedimentation data of the reservoir, the sediment deposition averages at 4.02 million m³ from 1963 to 1972 every year, while has come down yearly since 1972. Until 2003, the annual amount of sedimentation stays at 1.40 million m³ every year. However, since typhoons and disasters have frequented Shihmen Reservoir more than often, typhoon Aere and Masha especially, the problem of reservoir sedimentation is so serious that the accumulated yearly amount of sedimentation for these years has increased from 1.4 million m³ to 2 million m³. As a whole, the total amount of sedimentation from 1963 to 2005 amounts to 86.36 million m³, while a few of the major typhoons brought out about as much as 72.31 million m³, showing how great the amount of sedimentation typhoons can bring about to Shihmen Reservoir.

The accumulated sediment control effectiveness of Shihmen Reservoir for a long period is mainly that each phase of the sediment management project can be facilitated and soil and water conservation work realized. Furthermore, the construction of check dams in the watershed can also prevent debris flow and stabilize hillslope or river-bed effectively. For years, many check dams in the tributaries have been constructed, aside from several large-scale check dams as Yising dam, Jung-Hua dam and Baling dam are built in the upstream. Presently, there are as many as hundred of check dams within the watershed, and the amount of sediment prevented is mostly from large-scale check dam (height of above 10 meter), which amounts of 24 and the total sediment prevented amounts to approximately 36 million m³.

SEDIMENTATION REDUCTION AND MANAGEMENT EFFECTIVENESS

Sedimentation of reservoir is one of important benchmarks indicting the sediment control effectiveness in watershed. With the long-term sediment management and treatment of watershed, current sedimentation of the reservoir can be regarded as the sedimentation after management. Such actual amount of accumulated sedimentation will be reckoned as the “actual sediment yield”, and the curve of “actual sediment yield” will also be regarded as the curve after management. Relative to the “actual sediment yield”, the curve without management can be reckoned as the “calculated sediment yield”. The calculated sedimentation of the reservoir can be regarded as the sedimentation without management and such calculated amount of accumulated sedimentation will be reckoned as the “calculated sediment yield”. The difference of accumulated sedimentation between the two scenarios (management and without management) can represent the effectiveness of sediment management in the watershed over a long period of time.

To investigate the substantial effectiveness of long-term management in the watershed, this study makes use of the difference of accumulated sediment under the scenarios of management and without management for years to indicate the long-term sediment control effectiveness. As of such, the information on the actual sediment concentration in Hsiayun hydrological station is compiled from 1963 to 1971, and used to find out its average in order to avoid over-estimation of sediment concentration without management. Thus, the sediment concentration of runoff is 1615 ppm, and this value multiplied by the runoff amount of past years is the “calculated sediment yield”.

TYPHOONS' EFFECTS ON LONG-TERM SEDIMENT MANAGEMENT

In order to effectively extend the estimation of sediment control effectiveness as well as to investigate the sediment effectiveness brought along with major typhoons, this study regards the historical average value of “calculated sediment yield” as representative within the next few years. As for the amount of “actual sediment yield”, the average value of annual sedimentation of reservoir at 2 million m³ is adopted and the sediment control effectiveness in Shihmen Reservoir can be calculated (figure 2). The decreasing effectiveness of reduced sedimentation explains that the excellent result of long-term management is greatly affected by typhoons. Heavy rainfall and typhoons bring about the sediment disaster and prominently reduce the management effectiveness. Furthermore, the effectiveness of management, difference in accumulated sedimentation between “calculated sediment yield” and “actual sediment yield”, reaches 80 million m³ before typhoon Aere. The effectiveness of 80 million m³ lengthen the life-span of reservoir by 60 years, meanwhile, the deposition of all check dams in Shihmen Reservoir reaches 40 million m³, amounting to 50% of the effectiveness, not to mention the marginal effectiveness. The sedimentation of reservoir has gradually slowed down with construction of large-scale check dams and held until the check dams are fully filled (figure 3). So the construction of these large-scale check dams is the groundwork for the management effectiveness of Shihmen Reservoir. However the effectiveness of check dams become insignificant after being filled up so that the management effectiveness do not show prominent effect, in the wake of the increasing sedimentation of Shihmen Reservoir by heavy rainfall and typhoons after 2005.

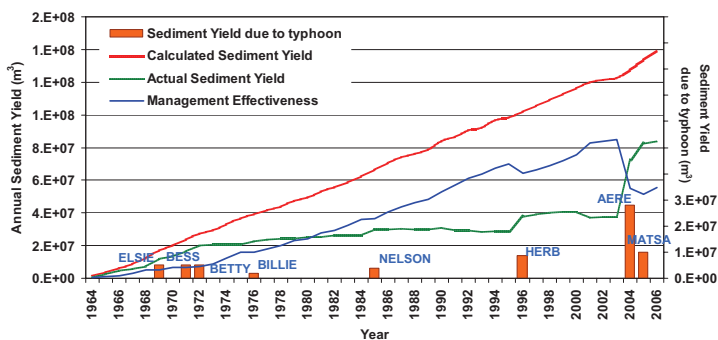


Fig.2 The relation between typhoons and effectiveness of the long-term management

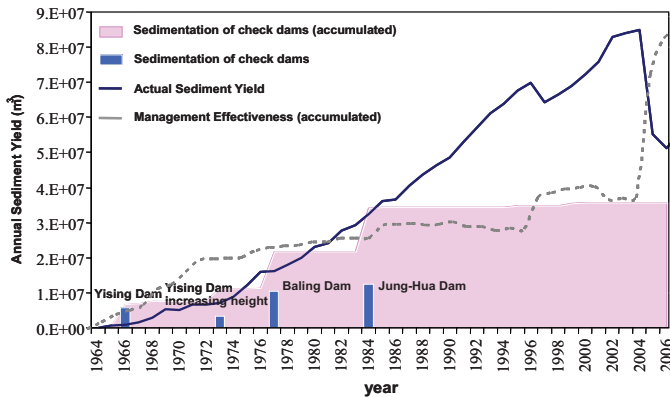


Fig.3 The relation between check dams and effectiveness of the long-term management

RELATIONSHIP BETWEEN MANAGEMENT EFFECTIVENESS AND FUNDS

This study, based on long-term management effectiveness and the projects of the Soil and Water Conservation Bureau in Shihmen Reservoir, considers the estimated sediment-reduction amount and management expense for the coming two-phase management plan in subsequent 6 years. Then, the change status of historical completeness ratio of Shihmen Reservoir can be estimated, and so as the evolutionary trend of future completeness ratio after the implementation of projects in the future. The connection between management expense and completeness ratio can also be investigated, while the reasonable sediment yield is $400,000\text{m}^3/\text{yr}$ (50% of the anticipative sediment yield before the reservoir built). And the sediment yield after management is assumed to recover to 1.4 million m^3 before typhoon Aere so as to explain the long-term management effectiveness and the implementation effects of subsequent plans.

As indicated with the calculation results found in figure 4, the average value of yearly completeness ratio reaches 60% as shown from the statistics of management effectiveness every year before 2006. And such value is considered as the judgment criteria as how good the management work in Shihmen Reservoir watershed is conducted, while the completeness ratio that reaches 60% is reckoned to have achieved favorable management effectiveness (Chen *et al.*, 2007). If not, special expense and manpower have to be invested to continuously implement conservation project. Besides, figure 4 has also elaborated the accumulation of prominent management effectiveness in the past with each of the conservation projects and realization of management measure so that the completeness ratio does not only exceeds 60%, sometimes even reaches 80%. Nonetheless, the completeness ratio has dropped with increased amount of sedimentation because of several serious typhoons, especially the critical sediment disaster created by typhoon Aere. It has thus ended up serious sediment loss in the watershed that existing management scale simply can't cope with it effectively. As a result, the completeness ratio drops to about 40%. If such ratio is based on with "Special Act Governing the Management of Shihmen Reservoir and Its Catchment Area" (Soil and Water Conservation Bureau, 2006) included for consideration, the completeness ration can be enhanced to 54% during the first phase (year 2006- year 2008) as evaluated by this study, and

enhanced to 62% during the second phase (year 2008 – year 2011) so that the sediment control in watershed can be gradually restored to previously favorable condition.

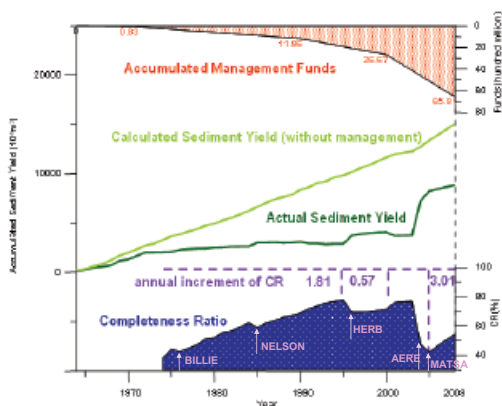


Fig.4 The relation between management effectiveness and management funds

For the time being, the sediment control amount in the first-phase management works is estimated at 10.5 million cubic meters as planned, and the expense of management amounts NT\$3.914 billion. Besides, the annual increase value of completeness ratio between year 2005 to year 2008 is of the highest (3.01), seconded by year 1974 to year 1995 (1.81), and tailed by the year 1996 to year 2000 as of the smallest (0.57). As can be seen, though the completeness ratio during the period remains low as of the effects from typhoon Aere during the project implementation of conservation management in the watershed in the first-phase, its amount of annual increase is of the highest among others. Also, the annual increase of management expense between year 2005 to year 2008 is found to be most prominent (NT\$1.305 billion), and if it is exchanged to the effectiveness of completeness ratio as can be enhanced by the expense between year 2005 to year 2008 remains the lowest (value of comparison being 0.23). However, it is close to that of the result between year 1996 to year 2000 (value of comparison being 0.31). As can be learned, whenever there is extremely sediment-related disaster it would take greater amount of management expense and time than previous year before watershed can be restored to its previous completeness status.

RESULTS AND CONCLUSIONS

This study has analyzed the sedimentation records to explain the increase in lifespan of reservoir and adopted the completeness ratio to represent the sedimentation reduction and management effectiveness. Results show that the increase of the Shihmen reservoir’s lifespan is about 60 years for the reason of the effectiveness of both the long-term reservoir management plans and watershed conservation works. Total quantity of sedimentation reduction is about $80 \times 10^6 \text{ m}^3$ before 2003; meanwhile, the deposition of check dams is around $40 \times 10^6 \text{ m}^3$. The check dams in watershed, those large-scale check dams especially, are the groundwork for the management effectiveness of Shihmen Reservoir. This study is also trying

to find more efficient ways of utilizing available data to explain typhoons' effects on long-term watershed sediment management, and the completeness ratio is an answer and important benchmarks. The completeness ratio can explain both the tendency of sedimentation reduction over the years and the relationship between management effect and management funds. Additionally, the completeness ratio of Shihmen reservoir is not only soaring as time goes on but also descending during typhoon events. According to the variations based on the sediment yield and typhoon events, the results also interpret the rising on the completeness ratio with the increasing investment on the management.

LITERATUR

- Chen, Su-Chin and Lai, Yi-Cheng (2004): "Evaluation Model for Reservoir Watershed Sediment and Completeness Ratio," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, Vol. 35(1): 53 - 67. (in Chinese)
- Chen, Su-Chin, Lai, Yi-Cheng and Wang, Chin-Lun (2007): "Evaluation of Sediment Management in Shihmen Reservoir Watershed," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*, Vol. 38(2):173-184. (in Chinese)
- Soil and Water Conservation Bureau (2006): *Special Act Governing the Management of Shihmen Reservoir and Its Catchment Area*. (in Chinese)

INTEGRATION OF FLOOD RISK INFORMATION INTO LAND USE PLANNING IN NORWAY

Tharan Fergus¹ & Hallvard Berg²

SUMMARY

A major flood affecting large parts of the south of Norway in 1995 represented a watershed in Norwegian flood risk management. Previous to 1995 flood risk and hazard management consisted basically of planning and building physical flood protection works. After 1995 emphasis was placed on a more integrated approach to reducing damage by floods, including flood hazard mapping and spatial planning. A guideline for land use planning in areas at risk from a hazard related to rivers were issued in 1999 and revised in 2007. A flood hazard mapping programme was initiated in 1998 and is finalised in 2007. After more than 10 years using this approach we have experience that flood hazard mapping paired with good spatial planning procedures has significant impact on reducing new development in areas with a risk of flooding. This paper describes the guideline and flood hazard mapping programme and gives some examples of how they have been used in practice.

Keywords: flood management, land use planning, flood hazard mapping

INTRODUCTION

Norway has a long tradition in managing floods due to its wet climate, many rivers and mountainous terrain. The hydrological regime in Norway is influenced by the northern position of the country with long winters having low runoff and snowfall accumulation and high spring flows due to snowmelt. High autumn and winter flows are also experienced in the milder coastal climate in the west of the country. Runoff times are generally short due to small catchments and shallow soils. Many rivers in Norway have steep and short courses and the topography is in many parts, similar to that of the Alpine region in Central Europe. Problems associated with erosion, sediment transport and deposition are therefore also of major concern in damage mitigation along rivers. There is also risk of severe accidents caused by quick clay slides in Norway. The country is sparsely populated, in average 14 people per km². The population in the inland is usually concentrated along the valley floors. Good farmland was found on the flood plains and formed the basis for early settlement. Further development and infrastructure such as roads and railways consequently follow the valley floor, and are subject to flooding. Until 1995 flood risk management was very much dominated by traditional physical flood protection works such as flood levees and erosion protection consisting of stone rip rap. In fact much of the know-how on construction and engineering in Norway was actually obtained from the river engineering communities in Austria and Southern Germany. The major actor at the national level dealing with flood risk management, The Norwegian Water Resources and Energy Directorate (NVE), dates back to 1804.

Norwegian Water Resources and Energy Directorate, P.O. Box 5091, Majorstua, 0301 – Oslo, Norway, (Tel.: + 47 22 95 95 95; email: ¹ tfe@nve.no & ² hbe@nve.no)

Norway experienced a major flood in the south-eastern part of the country in 1995. The total economic damage caused by the flood was approx. 230 mill Euros and 7000 people were evacuated. A Commission on Flood Protection Measures was established by Royal Decree after the flood. The Commission produced an Official Norwegian Report (NOU 1996:16) and the report was followed up by a government White Paper (nr 42 1996-1997 – Measures against floods). The White Paper is regarded as a national action plan for Norway on measures against floods.

A central message in the Commissions work was that an integrated approach is necessary in planning and carrying out flood protection measures and that the *'most important measure to reduce flood damage in the future is to improve land use planning in flood prone areas'*. The report and White Paper led to several improvements in flood risk management. The flood forecasting system was continued and strengthened and extra funding for physical protection works was provided. Most importantly however was that a flood hazard mapping programme was initiated and a guideline for land use planning in flood risk areas was issued. Six new positions as land use planners were provided to strengthen NVEs role as the national authority responsible for ensuring acceptable land use in areas with a risk of flood damage.

NVE also runs a national flood warning service, is responsible for the licensing of watercourse regulation schemes and is the national authority for dam safety.

GUIDELINE FOR LAND USE PLANNING IN HAZARD AREAS RELATED TO RIVERS

According to the national Planning and Building Act (PBA) the local municipalities are responsible for taking natural hazards into account in land use planning, and could be liable if damage occurs. NVE is a directorate under the Ministry of Petroleum and Energy with responsibility for the management of the nation's water and energy resources, and play many roles in relation to flood risk management. NVE provides advice to the municipalities, but according to the Planning and Building Act, NVE may also object to land use plans if national interests or regulations are not followed. The Ministry of Environment has the final say if agreement is not reached between the municipality and NVE.

The Planning and Building Act states that development is not allowed, unless safety is at an **"acceptable level"**. NVE has developed a national guideline defining acceptable safety levels with respect to floods and other hazards related to rivers. The safety levels are differentiated related to hazard type and type of asset.

The first guideline for land use planning in flood hazard areas was issued in 1999. It was revised in 2006/2007. The main philosophy behind the first guideline was to quantify and define acceptable hazard levels for different types of assets. This was generally well received and did clarify to local authorities what were acceptable levels of risk for different assets. The guideline focused however rather unilaterally on building types. It did not capture planning objectives according to the Planning and Building Act and there was a need for more clarification as to how the guideline could be implemented in land use planning processes. A further reason for revising the guideline was to include the risk of quick clay slides and include advice as how to proceed in areas with a potential risk, i.e. were hazard information is not readily available. Quick clay slides are closely associated with river erosion and areas at risk of such landslides have been mapped since 2000. More information on the programme is available in Endre et al. (2004).

A main aim has been to develop a stepwise procedure for identifying potentially hazardous areas so as to prevent planning development in hazard areas at an early stage in the planning process. This reduces the need for protection that is often costly and will require maintenance. Furthermore protected hazard areas will always have a residual risk despite protection. If development can be avoided in areas with a potential for flooding, this is always a preferred option to physical protection. Besides cost and residual risk a further reason for this is the environmental aspect. Good hazard management in areas close to rivers coincides closely with good environmental management of such areas. Revision of the guideline was part of the Interreg project FLOWS (www.flows.nu) and a description of these in English is given in Berg et al. (2006).

The revised guideline defines safety levels in areas at risk of different hazards connected to rivers such as flooding, ice flows, debris flows and quick clay slides. These are, similar, to the first guideline, differentiated according to the function of the building. Table 1 and table 2 show the safety classes related to floods and debris flows respectively.

Tab. 1: Acceptable safety levels related to floods.

Safety class	Type of asset	Return period
		<i>Flooding, erosion, ice flow</i>
F 1	Small garages, boathouses, sheds	1/20
F 2	Houses, cabins, industry, offices, important infrastructure	1/200
F 3	Hospital, emergency institutions, critical infrastructure	< 1/1000

Tab. 2: Acceptable safety levels related to debris flows and land slides

Safety class	Type of asset	Return period
		Debris flow/ land slides
S 1	Garages, boathouses	1/100
S 2	Small domestic buildings, cabins,	1/1000
S 3	Other buildings	< 1/1000

NVE expects the municipalities to assess the flood risk as part of the land use planning process. Based on a Provision from 2006 on Environment Impact Assessment (EIA), the revised NVE guideline of 2007 aims at clarifying what this includes related to the different planning levels.

The planning process in a municipality is typically split into three levels:

1. Municipal plan - giving principal strategies for land use within the municipality,
2. Zoning plans - where specific areas are zoned for different land use with detailed regulations
3. Building case - where the processing of building application is done.

A stepwise procedure for assessing the hazards has been designed to fit with these levels. The following procedure is now recommended:

- Municipal plan: potential hazard should be identified
- Zoning plan: the actual hazard should be described and risk quantified
- Building case: a satisfactory level of safety must be documented

This procedure ensures that areas with a potential hazard are identified at an early stage. This will give municipalities more reliable and predictable land use plans. Previous experience has been that the flood hazard has been identified at a very late stage in the planning process, when other principal strategies for structural development have been decided upon. The only practical way of tackling the hazard is then often to go ahead with development and include structural protection of some sort.

The revised guideline also offers detailed technical instructions for assessing the risk of flooding and the same for assessing the risk of quick clay landslides.

Tab. 3: Implications for development under design flood level, as function of flow velocity and flood depth

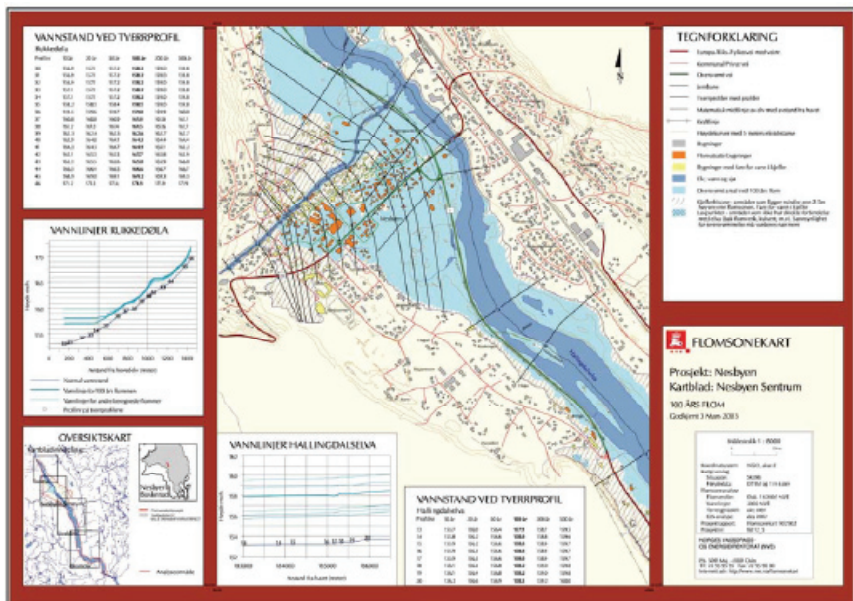
Hazard categories	Implications for development
High hazard: Depth > 1.5m or velocity * depth >1.5 (m ³ /s)	No development accepted
Low hazard: Depth < 1.5m or velocity * depth <1.5 (m ³ /s)	Development could be accepted provided protection measures will prevent damage to property and people. Damage to small garages etc., can be accepted provided the annual probability of damage is less than < 1/20

If development is allowed below the design flood level, protective measures must be put in place. This could be levees or special design of the building to prevent damage. A new feature in the revised guideline is a proposal on limiting the possibility of development below design flood level, based on the hazards connected to flow velocity and flood depth. This is inspired by similar restrictions from other countries, and still undergoing evaluation. Similar restrictions would apply behind levees. Table 3 shows the proposal as of February 2007.

FLOOD HAZARD MAPPING

As part of the effort to improve land use planning and as an aid to local authorities a flood hazard mapping programme was started in 1998.

A total of 134 areas covering approximately 1100 km of river length will be mapped by the end of the programme in 2007. The maps are provided digitally to enable users to make their own presentations in combination with other land use and hazard information. The method includes flood frequency analysis, hydraulic simulation based on surveyed cross sections of the river bed, GIS analysis identifying inundated areas based on a digital elevation model with high resolution (5x5m) and vertical accuracy (+/- 30 cm). The maps are presented in a standard format (fig 1) and the modelling is performed for six different flood levels, the 10-, 20-, 50-, 100, 200- and 500- year floods.



The main target groups are municipalities and county officials, who are responsible for land use planning and emergency planning at local and county levels respectively. All maps are presented in meetings with the local authorities and often at meetings with the general public present as well. The press are usually present at such meetings and they are important in increasing the awareness of flood risk among the public. The maps are presented by a representative of the group that has produced the map and a land use planner from NVE. This is to ensure that the maps are to be understood and used as tools in land use planning.

The maps are a useful tool in contingency planning and are used actively in flood situations. During a major flood situation (50 year flood) in 2007 the maps were actively used to manage the situation and give advice to affected municipalities.

The flood hazard mapping programme is to be finalised by the end of 2007. Further reaches with a high flood risk have been identified and the mapping continues as part of a general effort mapping different hazards related to rivers. Included in this is mapping of potential hazard related to floods and debris flows.

EXPERIENCES

There are a number of municipalities that take into account the danger of flooding or other hazards connected to rivers using local knowledge of the situation. We also know that a number of land use plans that take into account results of flood hazard mapping or other hazard mapping produced by government agencies without contacting NVE beforehand. Obviously some of the information from NVE in the form of flood hazard maps has been unwelcome to municipalities and developers with economic interests in areas at danger of flooding. Not least when the maps are accompanied by the information that development within the area covered by a flood with a 200 year return period will not be allowed. In a number of cases NVE has had to use its right to contest land use plans that conflict with safety levels.

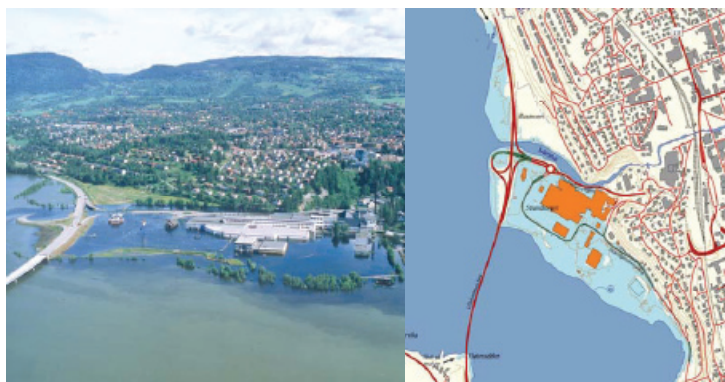


Fig. 2: The photo to the left shows the flooded area in Lillehammer in 1995 and the flood hazard map for the same area for a flood with a 100 year return period.

Contesting a plan however provides the legal basis for NVE to mediate with the municipality and try to find constructive solutions to development in affected areas. Our experience in contesting plans is that this gives us the opportunity to enter a good dialogue with the municipalities. We experience that this can lead to a shift in the attitude in the municipality dealing with the risks.

A good example of this is the municipality of Lillehammer lying at the outlet of the Laagen into Norway's largest lake, the Mjøsa in South East Norway. A small area of this municipality has a risk of flood damage. Despite a large amount of flood damage during the 1995 flood (figure 3) the municipality still wanted to push through development in the hazard area. Only after the plans for development were contested by NVE was the municipality willing to revise the plans. We now have a good cooperation with this municipality on land use issues in the flood hazard area.

Other municipalities are fully aware of, and willing to deal with flood problems in their areas. The municipality of Åsnes also situated in South East Norway has a long history of flooding. The municipality has, in collaboration with NVE and other authorities, carried out a comprehensive project to show how the guidelines and flood hazard maps can be used in practical land use planning. They have carried out a comprehensive range of registrations for the planning process such as a depth map and registration of buildings of historical interest and potential pollutants in the flood hazard areas. They have pointed out the need to identify and put restrictions on land use in areas protected by flood levees in case of overtopping. There was previously not much awareness on the residual risk in areas that are protected by levees. The municipality has contributed to raising awareness on this issue. The planning project was part of the Interreg project FLOWS (Udnæseth et. al, 2006).

CONCLUSIONS

The response of local authorities has been positive to the guidelines and hazard maps although it is difficult to exactly measure the effect of measures on land use planning. In many cases these have prevented new development in flood hazard areas and led to restrictions on land use. In other cases it has led to flood protection of existing development where this has not been sufficiently safe.

There is a relatively strong focus on development on hazards in land use planning in today Norway. There has been a high concentration of hazardous events with a large amount of damage and in two cases loss of life over the past 3-4 years. Local municipalities became especially aware of their responsibilities as a planning authority after two landslides in the city of Bergen that both had a tragic outcome. In addition the media focus on climate change and effects of these have made the public more aware of natural hazards.

It is our impression that local authorities are becoming more aware and willing to take natural hazards into account both due to societal pressure and more information on such hazards. The revised guideline clarifies how to take natural hazards such as flooding and quick clay landslides into account in the planning process and several municipalities have already implemented these in their planning process. The stepwise approach will hopefully make it easier for local authorities to take this into account at an early stage.

We do however see a large challenge in dealing with further development in already built up

and protected hazard areas. Increasing the amount of vulnerable infrastructure increases the risk of damage and there is always a residual risk in hazard areas that have been protected physically. It is not always feasible to hinder further development in already developed. Rethinking traditional protection policies and finding alternatives to raising levees will be necessary in the future.

REFERENCES

Berg, H., Simenstad, K. A. P., Danielsen, E., Endre, E., Horn, C., Gregersen, O., Sæther, H. D. (2006). Improved decision support on planning and development in hazard areas on rivers, proposal for revised guidelines. FLOWS rep. no WP3Bv. Oslo

Endre, E., Fergus, T., Moholt, R., Classification of quick clay zones to pinpoint areas of high risk – results and experiences. Pp 127- 136, Interpraevent Symposium 2004. Riva del Garda/Trient.

Undnæseth, G., Berg, H., Lansjøvold, S., Dybendal, O. J., Nustad, P. Neby, J., Briskerud, A. K., Municipal plan for flood prone areas on the river Glomma in Åsnes Municipality. FLOWS Report WP3 Ciii-2. Oslo.

RIVER BRENTA DEFENCE BY CONTROLLED FLOODING

Michelle Ferri¹ & Fabio Giuriato¹

ABSTRACT

The way to tackle the even more frequent and harmful floodevents, is to adopt efficient forecasting and risk prevention methods. This can be obtained only through a deep understanding of causes and dynamics involved in such events.

The local Water Authority of North Eastern Italy, which is in charge of the planning and coordination of flood defence, water use and protection of water resources, has developed an accurate and robust of the hydrologic response model. The model, of the geomorphologic - MonteCarlo type, reproduces stochastic and real hydrographs and thereby the return period of peak flows and of any other feature of engineering interest, including shapes and volumes.

The salient geomorphic features of the basin is recovered by digital elevation model while the land cover analysis is based on data from remote sensing. The model captures the essential physics of the relevant processes, rather than merely reproducing a correspondence between inputs and outputs within a finite set of observations. So predictive capabilities and robustness of the model are showed.

The main forecasting measures adopted in the regarding Plan for Brenta river hydraulic defence are presented: identification of the maximally effective gate operations for flood mitigation using the storage capacity Corlo reservoir, development of the hydro-meteorological networks, real time interconnection of the hydro-meteorological control system and definition of the alerting procedures based not only on the notification of adverse weather conditions, but also on the knowledge of the land vulnerability according to established rainfall scenarios.

The operation rules of the Corlo reservoir were optimized to meet the different requirements of use. From the operative point of view, a meaningful improvement in flood defence has been observed when a new gate geometry in association with a suitable meteorological prediction is introduced: if the bottom outflow capacity is increased from 150 to 550 m³/s, all dam gates can be closed after inflow discharge is more than such value; as a consequence the Cismon peak's time is anticipated regarding that one of the Brenta river and the new different phase of the tributaries flood peak reduces to 1350 m³/s the maximum discharge expected at the following draft.

The new gates configuration and a robust meteorological forecast allows a not imposed low constant water level (240 m.s.l.m) in the period 1 september -30 november; contrarily the dam manager could operate a fast drawdown level in the case of predicted critical rainfall.

Keywords: flood defence, hydrologic response model, water reservoir, forecasting measures

¹ Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico, Dorsoduro 3593, 30123 Venezia, Italy, phone: +39 041 714444; fax: +39 041 714313; e-mail: ferri@idra.unipd.it

INTRODUCTION

Progresses and improvements in the field of hydrological research led to significant achievements and developments for what concerns flood management system. The possibility of creating a mathematical model based on the deep knowledge of physical phenomena, is of utmost importance in river engineering.

The Alto Adriatico River Basin Authority in charge of planning and coordinating flood defence, water use and protection of water resources developed with the International Centre of Hydrology in Padova, an accurate and robust mathematical model of the hydrologic response for the river Brenta closed at Bassano del Grappa (Northern Italy).

The model gives the opportunity to evaluate planning decision in order to reach flood defence. Moreover it permits the identification of the effects produced by reservoirs using its storage capacity for flood mitigation.

The aim was to integrate the flood risk management including the reservoir operation strategies into the river catchments management. In fact in the case of a multipurpose reservoirs, as in Brenta river, there are competing purposes: flood protection needs an initially large empty flood control storage resulting in a low water level. Contrarily recreation, water power and water supply needs a high water level because of required supply safety and the need of water extraction in different water levels to guarantee the water quality.

THE CATCHMENT BASIN OF THE BRENTA RIVER

The Brenta river originates from the Caldonazzo lake initially flowing eastward past Levico and beginning south downstream of its confluence with Grigno torrent. Further south, the river is joined by Cismon torrent and at Valstagna bends south-east down to Bassano del Grappa. From Bassano to Carmignano, the Brenta sweeps in a westward arc over a broad gravel bed before meandering toward the outskirts of Padua. Past Padua, the Brenta flows toward Chioggia and into the Adriatic, diverted from its original course into the Venetian Lagoon in order to control siltation and swamping effects.

The Brenta runs 174 km in length, the first 70 km from the source to Bassano flowing through mountainous terrain rich of historical takeovers, the remainder, from Bassano to the sea, across flatlands full of industrial areas.

The flood generating area of the watershed of the Brenta river, with an extension of 1570 square kilometres, terminates at Bassano (Figure 1); thereafter the river progresses across an alluvial plain. The Cismon is the most important tributary due to its large catchment area, matching that of the main course of the Brenta, privileged with a high level of rainfall and abundant runoff from snowpack on the mountains in the Northern part of the basin. The ability of the Cismon to supply copious water, a fact well known to local residents, gave rise long ago to the saying: “El Brenta no saria Brenta se el Cismon no ghe dasse una spenta...” – The Brenta would not be the river it is, without a “shove” from the Cismon.

The area contains a large number of dams for hydropower production (Figure 1). The most important of these, for storage capacity, is the Corlo reservoir. This is a multipurpose reservoir for irrigation water supply, recreation and downstream low water regulation during dry seasons.

The system behaviour knowledge needs a wide range of input and control data as rainfall observations, water level and discharge measurements of the extreme flood events which were made available from ARPAV (Regional Environmental Protection Agency).



Fig.1: The catchment basin of the Brenta river with dams for hydropower production.

THE MATHEMATICAL MODEL

The hydrological model is aimed at incorporating state of the art information, from remote sensing and ground measurements, to address, in the framework of the formulation of transport by travel time distribution and of real and Montecarlo rainfall patterns in space and time, runoff production.

The geomorphologic theory of the hydrologic response is based on the definition of the probability density function associated to travel time in different states, hillslopes and channels, assuming that different states are statistically independent (*Rodriguez-Iturbe & Valdes, 1979; Gupta & Waymire, 1983; Mesa & Mifflin, 1988; Rosso, 1984; Troutman & Karlinger, 1985; Karlinger & Troutman, 1985; Rinaldo et al., 1991; Rinaldo & Rodriguez-Iturbe, 1996*). Travel time distribution in the channels is derived from a parabolic model of flood wave propagation that includes both cinematic than storage effects (*Rinaldo et al., 1991*). Complete use is made of the geomorphologic structure of the basin relevant to the above processes: the detailed geomorphologic features of the basin are recovered through manipulation of a digital elevation model with a clearance of 20x20 m (Figure 2 shows Brenta DEM which has been superimposed to Landsat image).

Different criteria of network extraction have been applied (*Tarboton et al., 1991; Dietrich et al., 1993; Cabral & Burges, 1994; Rodriguez-Iturbe & Rinaldo, 1997*) but we show that the travel time distribution is quite independent from the extraction methodology (*Ferri et al, 2004*).

Path probabilities (*Gupta & Waymire, 1983*) are deducted directly from the synthetic or sperimental distributions of the precipitations. The evolution in space and time of meteorological events is described through a geostatistical interpolation of recorded data (*Bellin & Rubin, 1996*)

The resulting model is lumped in the parameters but distributed in the description of the geometry.

The land cover analysis and runoff production schemes are based on data from remote

sensing. In particular the recognition of some sample areas in the catchment allowed the use of a supervised classification procedure, based on the spectral angle mapper algorithm (*Kruse et al., 1993*). The knowledge of the spatial distribution of soil cover is fundamental to determinate parameters which control run off production: soil permeability and evapotraspiration spatial distribution. To determine effective rainfall, the Soil Conservation Service method (SCS) has been used.

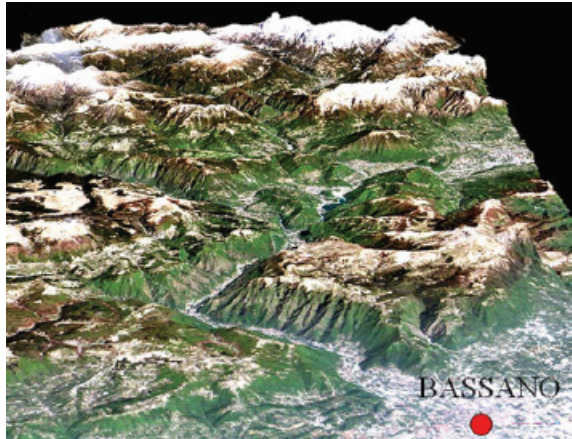


Fig.2: DEM for Brenta catchment basin.

Much information on dam characteristics and hydrological and hydraulic parameters have been collected to account for the effect of water reservoir presence. In particular, to solve the continuity equation for each dam, the geometry of each gate and the correct relationship between discharge, water level and gate operations were determined. Finally, flood hydrographs discharge during important flood events have been recovered.

Previous important flood events among them the 2002 event have been used to calibrate the model. In fact an obvious requirement prescribes that the model be capable of reproducing, with specified accuracy, the observed system behaviour. Figure 3 shows the comparison in two different sections (Corlo and Bassano) between observed and simulated flood for different events in shape and volumes (*Rinaldo et al., 2002*).

The model captures the essential physics of the relevant processes, rather than merely reproducing a correspondence between inputs and outputs within a finite set of observations. So predictive capabilities and robustness of the model are evident.

The hydrological model has been coupled to a Montecarlo model (*Rinaldo et al., 2002*) which allows to generate an unlimited sequence of events of different duration. This is allows the relaxation of unphysical or unrealistic assumptions, like, typically, statistical stationarity of the response of a drainage basin, for example subject to continuous changes in soil use.

To connect the damages due to the inundation with the precipitation-runoff-model a one-dimensional hydrodynamic model has been introduced into the calculation. It solves the one-dimensional shallow water equation and can be used for both steady state and dynamic water level calculation. The profiles of river cross section were determined by terrestrial surveying; additionally laser scan data were used for the whole watershed and the flood plains. Backwater effects of bridges and weirs as well as more complex cross sections have been considered. Another calibration was necessary for the hydrodynamic model: it can be stressed that, after such calibration, the mean difference between observed and calculated maximum

water levels at the hydrometric stations of Brenta was about $\pm 5\text{cm}$.

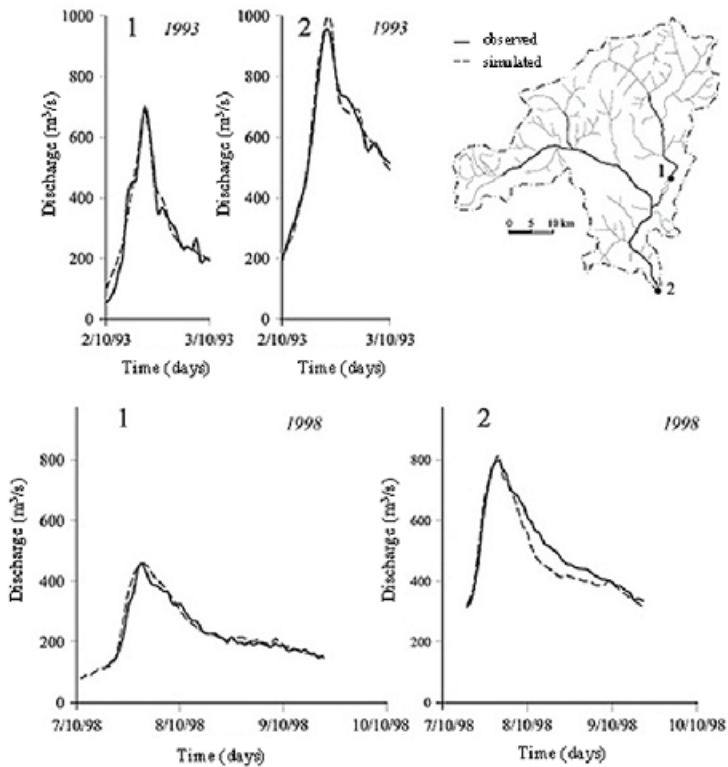


Fig.3: Predicted and measured flow for different flood event at Corlo and Bassano (*Rinaldo et al., 2002*).

RESULTS

The geomorphologic-Montecarlo model allowed the production of stochastic hydrographs and thereby the reconstruction of the return period of peak flows and of any other feature of engineering interest, including shapes and volumes for the natural Brenta system that is river network without dams or any other structure capable to modify flood generation and propagation. Other important information for Brenta behaviour knowledge can be obtained by the reconstruction of the most recent flood disaster in November 1966, when a peak value of $2700 \text{ m}^3/\text{s}$ was esteemed (Figure 4).

The comparison of said waves with Brenta cross sections shows a flow capacity of about $1500 \text{ m}^3/\text{s}$ for Canal del Brenta. Of particular relief it is instead the present hydraulic suffering in correspondence of the lived one of Valstagna where a flow capacity of $950 \text{ m}^3/\text{s}$ was valued (Figure 5).

After these results, a new set of different cross sections that considers a wider channel form as well as deeper bed form in Valstagna, were performed. The increase of conveyance that can

result from these new sceneries was estimated 400 m³/s more (Gamba et al., 2004). These solutions can be added to other set of projects in the upper part of the basin for planning a partial or complete reduction of the risk. Amongst the proposabile actions for flood defence foreseen, structural interventions, that is, real civil engineering works and non-structural interventions, namely those which include behavioural rules useful in mitigating dangerous conditions can be considered.

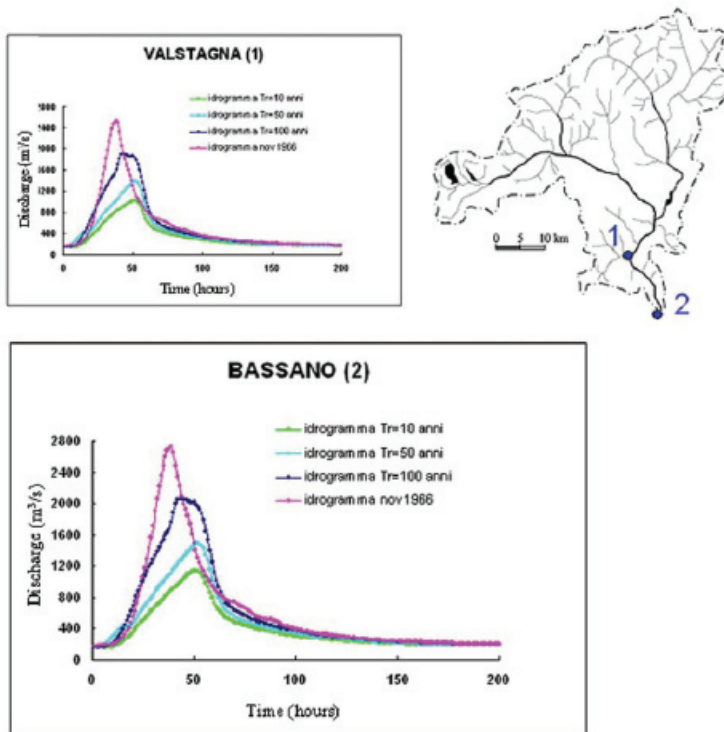


Fig.4: Flood event in Corlo (1) and Bassano (2) generated with different return period.

An example of non structural intervention is the temporary use of hydro-electric reservoirs existing in the mountain basin: on the river Cison which governs Brenta floods, as already explained in the previous sections, Corlo reservoir can be used to test the reduction of the peak discharge in autumn season. In order to evaluate the effects produced using its all storage capacity without any other structural measure, geomorphologic-montecarlo model was successfully used: simulations were performed with artificial flood events characterized by a recurrence period of about 5 to 100 years and beyond and the series of historical flood events.

Referring to the results shown in Figure 6, the availability of additional volumes in the reservoir, obtained by lowering the level in the lake before the flood event allows the safe containment of the 70yrs flood event.

Another important application, the identification of the maximally effective gate operations for flood mitigation in association with a real time interconnection of the hydro-meteorological control system was also addresses. If the dam Corlo gates are opened in perfect matter just before the discharge in Cismon reaches its maximum the peak reduction is less than 50 m³/s for the 100 years return period event. Due to inexact forecast and an early opening on the inlets the retention effect could be completely lost.

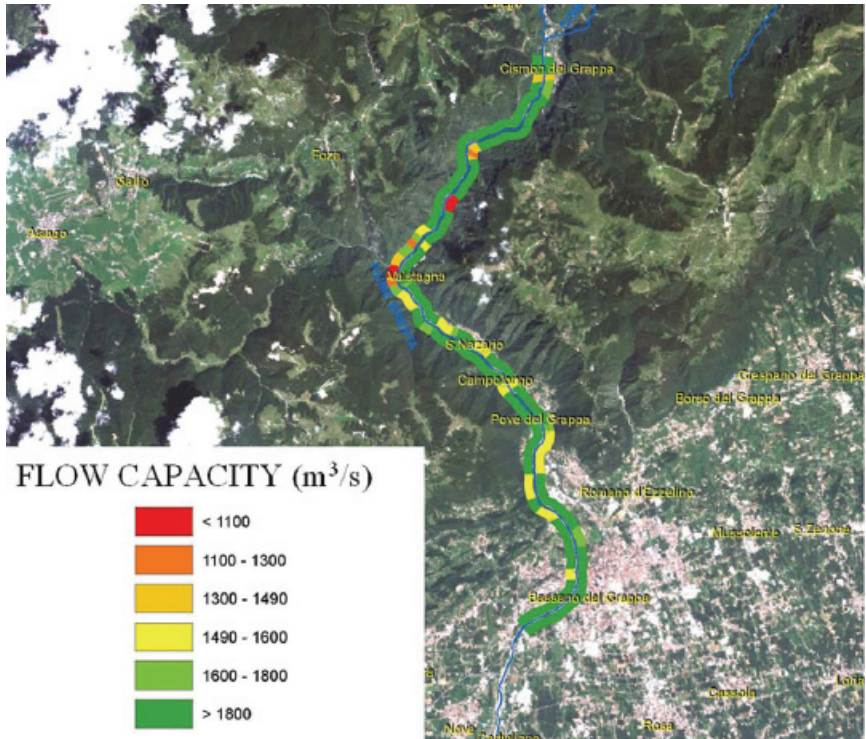


Fig.5: Flow capacity of Brenta river.

This result can be interpreted as a low dependence of minimal outflow discharge from inflow hydrograph and operation rules: for what concerns the actual gates configuration, the peak discharge reduction ability of Corlo is not particular sensitive on opening time of the outflow organs. However it's possible to reduce in meaningful way hydraulic risk with relative low problem in both time and money necessary to realise the work foreseen.

Finally the optimized final river engineering plan was implemented by defining as an optimization objective for instance the minimization of hydraulic risk.

The operation rules of the Corlo reservoir were optimized to meet the different requirements of use. From the operative point of view, a meaningful improvement in flood defence has been observed when a new gate geometry in association with a suitable meteorological prediction is introduced: if the bottom outflow capacity is increased from 150 to 550 m³/s, all dam gates can be closed after inflow discharge is more than such value; as a consequence the Cismon peak's time is anticipated regarding that one of the Brenta river and the new different

phase of the tributaries flood peak reduces to 1350 m³/s the maximum discharge expected at Valstagna.

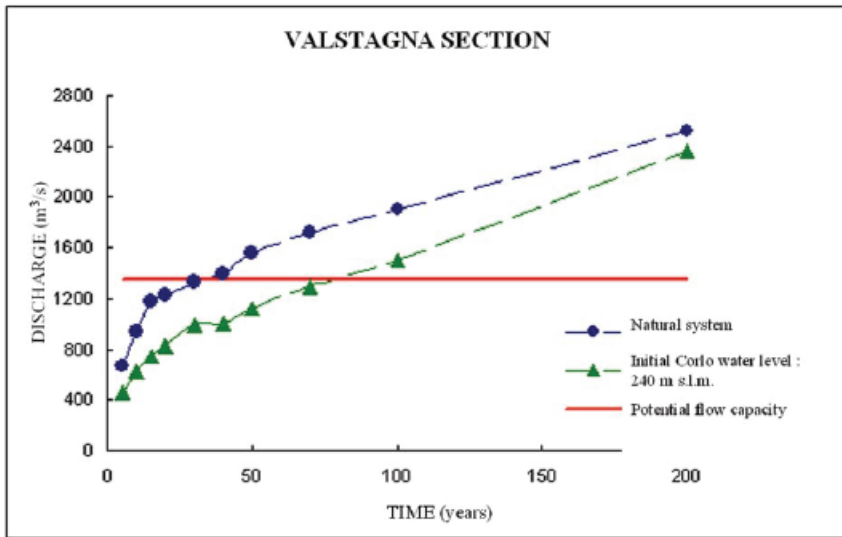


Fig.6: Discharge in Valstagna for different return period in natural condition and with Corlo at 240 m s.l.m. as initial water level.

The new gates configuration and a robust meteorological forecast allows a not imposed low constant water level (240 m.s.l.m) in the period 1 september -30 november; contrarily the dam manager could operate a fast drawdown level in the case of predicted critical rainfall. The feasibility of such actions requires the development of studies about shore stability.

CONCLUSION

River Basin Plan is a container where all the interventions concerning the protection of water resources and defence from flood are planned and co-ordinated. The technical solutions which are chosen with the corresponding rules and the relative priorities of intervention gives us the project plan.

During the functional phase of the preliminary planning process, the Alto Adriatico River Basin Authority has developed an accurate and robust mathematical model of the hydrologic response for the river Brenta closed at Bassano which can be used as a powerful flexible instruments to study new solutions for planning a defence by controlled flooding.

Simulations shows that the temporary use of hydro-electric Corlo reservoir existing in the mountain basin can successfully help to resolve the hydraulic safety problem of the river Brenta.

Here therefore confirmed that among all the possible solutions, a non structural intervention with a low costs of realisation, a fast time for implementation, very places itself in the interventions of short period of a plan of hydraulic emergency in the wait to realize in the mean and long period the eventual definitive structural ones.

A practical solution to reach a complete reduction of the hydraulic risk considering inundation damages as well as other social and ecological impacts has been proposed.

ACKNOWLEDGMENTS

Grateful thanks are due to Ing. Francesco Baruffi and Ing. Alfredo Caielli for their encouragement and support. The Authors wish to acknowledge the International Centre of Hydrology in Padua for supporting the research within this project.

REFERENCES

- Bellin A., & Y. Rubin, Hydro_Gen: A spatially distributed random field generator for correlated properties, *Stochastic Hydrol. Hydraul.*, 10, 253-278, 1996.
- Cabral, M. & S.J. Burges, Digital elevation model networks (DEMON): a model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas, *Water Resour. Res.*, 30(6), 1681-1692, 1994
- Dietrich, W.E., C.J. Wilson, D.R. Montgomery & J. McKean, Analysis of erosion thresholds, channel networks and landscape morphology using a digital terrain model, *J. Geology*, 3, 161-180, 1993.
- Ferri, M., M. Marani, G. Botter, T. Settin, A. Uccelli, & A. Rinaldo, Il modello idrologico del Piave chiuso a Nervesa, *Rischio Idraulico e Morfodinamica Fluviale*, pp.81-125, 2005
- Gamba, M. & M. Del Longo, The hydraulic hazard of Valstagna site, *Master Thesis* University of Padua, 2004
- Gupta, V.K. & E. Waymire, On the formulation of an analytical approach to understand hydrological response and similarity at the basin scale, *J. Hydrol.*, 65, 95-129, 1983.
- Karlinger, M.R. & B.M. Troutman, Assessment of the instantaneous unit hydrograph derived from the theory of topologically random networks, *Water Resour. Res.*, 21, 1693-1702, 1985.
- Kruse, F.A., Lefkoff, A.B., Boardman, J.W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A.T., Barloon, P.J., Goetz, A.F.H., The Spectral Image Processing System (SIPS) - Interactive Visualization and Analysis of Imaging Data, *Remote sensing of Environment*, 44, pp. 145-163, 1993.
- Mesa, O.J., & E.R. Mifflin, On the relative role of hillslope and network geometry in hydrologic response. In: *Scale Problems in Hydrology* (Eds. V.K. Gupta, I. Rodriguez-Iturbe and E.F. Wood), Dordrecht, Holland, 1988
- Rinaldo, A., R. Rigon & A. Marani, Geomorphological dispersion, *Water Resour. Res.*, 27(4), 513-525, 1991.
- Rinaldo, A., M. Marani, A. Fornasiero, G. Botter, S. Silvestri, A. Bellin & R. Rigon, Studio idrologico generale del Fiume Brenta chiuso a Bassano del Grappa, Relazione Finale per l'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico, Dipartimento *IMAGE*, Università di Padova, in stampa, 2002
- Rodriguez-Iturbe, I. & J.B. Valdes, The geomorphologic structure of hydrologic response, *Water Resour. Res.*, 15(6), 1409-1420, 1979.
- Rodriguez-Iturbe, I. & A. Rinaldo, *Fractal River Basins: Chance and Self-Organization*, Cambridge Univ. Press, New York, 1997
- Rosso, R., Nash model relation to Horton order ratios, *Water Resour. Res.*, 20(7), 914-920, 1984.
- Tarboton, D.G., R.L. Bras & I. Rodriguez-Iturbe, On the extraction of channel networks from digital elevation data, *Hydrol. Processes*, 5, 81-100, 1991.
- Troutman, B.M. & M.R. Karlinger, Unit hydrograph approximations assuming linear flow through topologically random channel networks, *Water Resour. Res.*, 21(5), 743-754, 1985.

AMENAGEMENTS HYDROELECTRIQUES FLUVIAUX A BUTS MULTIPLES

APPROCHE SYSTEMIQUE ET INTEGRATION DU MARNAGE, DE L'ÉCOLOGIE, DE L'ÉNERGIE ET DES ASPECTS SOCIAUX

MULTIPURPOSE RUN-OF-RIVER HYDROELECTRIC POWER PLANTS

SYSTEM THINKING APPROACH AND INTEGRATION OF HYDROPEAKING MITIGATION, ECOLOGY, ENERGY AND SOCIAL ASPECTS

Philippe Heller¹ et Anton Schleiss²

RESUME

La gestion des crues et la renaturation des cours d'eau alpins génèrent d'importants travaux sur ces derniers. La renaturation nécessite cependant un régime hydrologique aussi naturel que possible. En conséquence, le marnage artificiel généré par les aménagements à accumulation pour la production de l'énergie de pointe doit être supprimé. Un bassin rétention sur le cours d'eau aval permet de répondre à cette problématique. Conçu comme un aménagement à buts multiples, ce réservoir permet en outre une production locale d'énergie renouvelable, le développement d'activités de loisirs aquatiques, le laminage des crues et favorise l'intégration paysagère. La recherche de solutions pour un tel aménagement complexe débute par une étude qualitative pour comprendre le système et son environnement. Ensuite, les outils de gestion, de simulation et d'optimisation permettent de générer les solutions optimales. Le présent article présente ces outils et les solutions trouvées pour le cas d'étude sur le Rhône suisse alpin.

Mots-clés: optimisation de la gestion, modèle énergétique, modèle écologique, modèle de fréquentation, système complexe, Rhône suisse alpin supérieur

ABSTRACT

Flood protection and ecological rehabilitation of alpine river need significant river training works. In order to develop their highest ecological potential, such restoration works necessitate a near natural flow regime. Therefore, artificial hydropeaking due to peak energy production should be reduced drastically. A retention basin, directly built on the downstream river could restore a near natural flow regime. Designed as a multipurpose reservoir, such a

1 Associé, e-dric.ch Eau Energie Environnement Ingénieurs Conseils Sàrl, Grand Chemin 73, CH – 1066 Epalinges, Switzerland (Tel.: +41-21-784-3313; Fax: +41-21-784-3322; email: philippe.heller@e-dric.ch)

2 Directeur, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Station 18, EPFL, CH – 1015 Lausanne, Switzerland (Tel.: +41-21-693-2385; Fax: +41-21-693-2264; email: anton.schleiss@epfl.ch)

basin could produce local renewable energy, promote aquatic leisure activities, mitigate peak flood and help to landscape integration. Maximizing the synergies between the different purposes requires new approaches. After a qualitative analysis, management, simulation and optimisation tools allow to generate optimal solutions. This article presents these tools and the solutions reached for the considered case study on the Upper Swiss Rhone River.

Keywords: management optimisation, energetic model, ecological model, social model, complex system, Upper Swiss Rhone River

INTRODUCTION

La sensibilité croissante aux problèmes environnementaux, les changements climatiques pressentis, la proximité et la densité des infrastructures aux abords des cours d'eau nécessitent d'importants travaux sur ces derniers. Motivés par des raisons sécuritaires, ces travaux doivent aussi apporter une plus-value écologique. Par ailleurs, dans les pays développés, l'implantation de nouveaux aménagements hydrauliques est devenue difficile. De multiples contraintes font souvent obstacles à des projets intéressants mais analysés d'un seul point de vue technique ou économique. Pour répondre à cette problématique, de nombreuses méthodes participatives ont été développées (Leach & Pelkey, 2001) et permettent d'aboutir à un compromis raisonnable sur la base de projets à buts multiples (Schleiss, 2006).

Un projet à buts multiples (Figure 1, Bollaert et al., 2000) génère un système complexe avec des effets rétroactifs. Son étude doit considérer les perspectives de tous les acteurs. Les variables avec leurs rétroactions ainsi que l'environnement dans lequel le projet s'inscrit doivent être modélisés avec consistance.

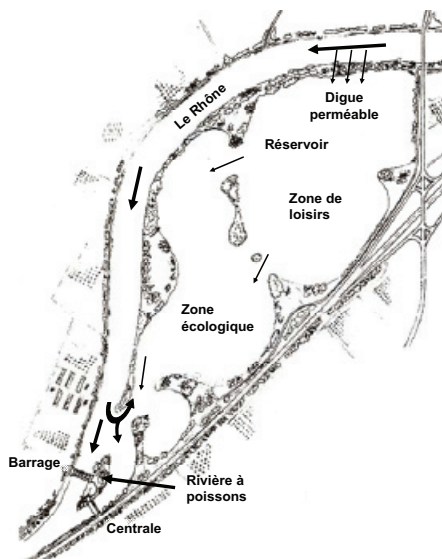


Fig 1: Intégration *in situ* d'un aménagement à buts multiples sur le Rhône suisse alpin
Fig 1: Integration *in situ* of a multipurpose project on the Upper Swiss Rhone River

La littérature suggère d'analyser les systèmes complexes par un modèle qualitatif puis un modèle quantitatif (Gomez and Probst, 1995, Coyle, 2000). Les aspects qualitatifs de la méthode appliquée aux aménagements hydroélectriques fluviaux à buts multiples (Heller et al., 2007) définissent les principaux objectifs de l'aménagement. Ce sont le laminage du marnage, la production d'énergie, la rétention des crues, le développement de loisirs aquatiques et la stabilité du niveau d'eau du réservoir. Le présent article présente la gestion ordinaire d'un tel aménagement et ses conséquences sur les objectifs écologique, énergétique et social. Le cas d'étude est situé sur le Rhône suisse alpin supérieur (canton du Valais).

ALGORITHME DE RESOLUTION

L'étude qualitative (Heller, 2007) met en évidence la gestion comme variable pivot du système complexe. Elle constitue le lien physique entre le modèle de décision et le fonctionnement de l'aménagement. Elle intervient en dernière position dans l'ordre de la réalisation mais en première position dans l'ordre de la réflexion. La définition a priori de la gestion souhaitée du réservoir permet d'en déduire les conséquences sur les objectifs du projet. Cette réflexion est synthétisée par l'algorithme de la Figure 2.

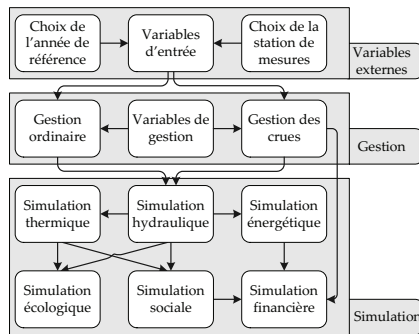


Fig 2: Modèle de gestion proposé pour un aménagement à buts multiples
 Fig 2: Management model for the multipurpose reservoir

Cet algorithme est divisé en trois étapes. La première étape résume les influences externes de l'environnement (variables externes). La seconde étape détermine la gestion du réservoir à buts multiples. La troisième étape simule les conséquences sur l'aménagement et sur le cours d'eau aval. Ces modèles de simulation reprennent les principaux objectifs de l'aménagement.

MODELE DE GESTION DU RESERVOIR

Le modèle de gestion vise quatre objectifs, soit la réduction du marnage artificiel, la minimisation des oscillations dans le réservoir, la maximisation de la production d'énergie et la stabilisation du niveau estival dans le réservoir. Le premier objectif, principal pour le projet, est introduit dans le modèle mathématique par deux contraintes additionnelles sur la gestion du niveau de la rivière aval (amplitude aval A_{av} et gradient aval Δh_{av}). La fonction objective du modèle mathématique vise la maximisation du taux de remplissage du réservoir (T). Les équations 1 à 5 définissent mathématiquement le modèle de gestion proposé.

Maximise :

$$T = \sum_{t=1}^n \frac{H_{res}(t)}{H_{res,max}} \quad (1)$$

sous contraintes de :

$$h_{av}(t) \in \left[h_{moy} - \frac{A_{av}}{2}; h_{moy} + \frac{A_{av}}{2} \right], \forall t \quad (2)$$

$$|h_{av}(t) - h_{av}(t-1)| \leq \Delta h_{av}, \forall t \quad (3)$$

$$H_{res}(t) \in [H_{res,min}; H_{res,max}], \forall t \quad (4)$$

$$H_{res,min} \geq h_{av}(t), \forall t \quad (5)$$

où H_{res} représente le volume dans le réservoir au temps t , $H_{res,max}$ et $H_{res,min}$ les volumes maximal et minimal du réservoir, h_{moy} le niveau moyen visé dans le cours d'eau aval pour la période comprise entre 1 et n et h_{av} le niveau dans le cours d'eau aval au temps t . Ainsi défini, le modèle possède trois variables internes, soit le gradient aval Δh_{av} , l'amplitude aval A_{av} et l'horizon de planification n . Le modèle mathématique est résolu par le logiciel *AMPL* (Fourer et al., 2003) pour une planification de 48 heures et sur la base d'une prévision parfaite des débits. Les contraintes écologiques sur le gradient et l'amplitude possèdent chacune une valeur hivernale et une valeur estivale.

MODELE DE SIMULATION HYDRAULIQUE

Le modèle hydraulique applique l'équation de bilan au réservoir. La Figure 3 illustre la gestion optimale proposée pour une semaine hivernale type. La contrainte sur le gradient hivernal vaut 8 cm/h (Halleraker et al., 2003) et 30 cm pour l'amplitude (Meile et al., 2005).

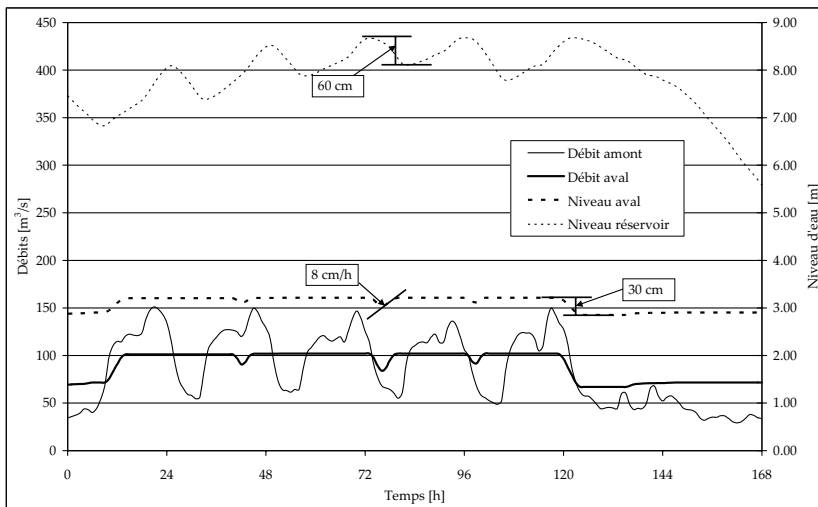


Fig 3: Débits et niveaux pour une semaine hivernale type

Fig 3: Flow and water elevation for a typical winter week

Pour la période hivernale, les conséquences de la gestion optimale sont une oscillation journalière dans le réservoir de l'ordre de 60 cm et une oscillation hebdomadaire de l'ordre de 2.50 m. En contre partie, le marnage journalier est totalement absorbé. Seule une variation hebdomadaire du débit demeure (réduction de 35 m³/s). Pendant la période estival, le réservoir est très peu sollicité et assure seulement le respect de la contrainte sur le gradient. Cette gestion est favorable pour les activités de loisirs.

L'agrégation annuelle du gain hydrologique est effectuée par la probabilité, entre deux heures successives, d'obtenir une variation du niveau d'eau égale ou inférieure à une valeur donnée (Meile et al., 2005). La Figure 4 illustre cet indicateur pour trois séries hydrologiques distinctes (référence historique, état actuel, état avec un réservoir et variation du réservoir). La stabilité du niveau, historiquement présente pendant 70% du temps, est actuellement réduite à 15%. La gestion optimale permet de rejoindre fortement la courbe historique. Le réservoir lui-même, et donc sa courbe de remous, offre une réduction des variations.

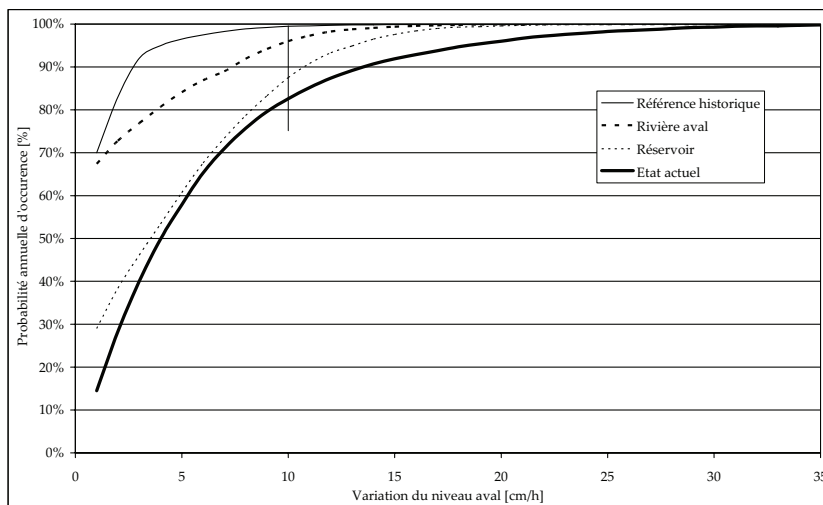


Fig 4 : Index de marnage défini comme la probabilité d'une variation de niveau entre deux heures successives
 Fig 4 : Hydropeaking index defined as the probability of a water level variation between two successive hours

MODELE DE SIMULATION ECOLOGIQUE

A cause de la différence d'échelle, le modèle d'écologie aquatique traite distinctement le réservoir et la rivière à poissons de la rivière aval. Cette dernière constitue le principal gain écologique escompté. Elle fait ainsi l'objet d'un modèle de simulation propre. Le réservoir et la rivière à poissons sont traités uniquement par des aspects constructifs basés sur l'expertise (Pellaud, 2007).

Le modèle écologique fonctionnel distingue deux modules différents pour les poissons et les invertébrés. Tous deux intègrent des données statistiques basées sur des relevés taxonomiques ainsi que l'effet de la suppression du marnage artificiel. Les différentes valeurs obtenues sont agrégées pour aboutir à une seule note représentative de la qualité écologique du cours d'eau. Pour les poissons, le modèle divise l'habitat en quatre guildes, soit les berges, les mouilles, les rapides et le cours plein (Lamouroux et al., 2002). Il calcule, pour chaque guildes, une

surface d'habitat sur la base d'un relevé statistique et l'ajuste ensuite par un modèle de logique floue (Valentin, 1995) en fonction de l'hydrologie et des modifications thermiques. Le modèle des invertébrés considère les trois taxons principaux EPT (Ephéméroptères, Plécoptères et Trichoptères). Il calcule avec des fonctions radiales (RBF) (Lek et al., 1999, Obach et al., 2001, Zhang et al., 2005) un indice standard pour prédire la richesse du cours d'eau. Un modèle de logique floue modifie alors cette richesse en fonction de la suppression du marnage (Silver, 2000, Adriaenssens et al., 2004).

MODELE DE SIMULATION ENERGETIQUE

Sur la base d'une optimisation des principaux paramètres géométriques des machines hydrauliques, le modèle énergétique résume la chaîne de transformation énergétique à un seul rendement global. L'optimisation est effectuée dans le cadre d'une forte variabilité du débit et de la charge et assure un rendement global de 85%. La puissance électrique horaire est ainsi calculée uniquement en fonction du débit et de la charge.

La gestion énergétique du réservoir qui maximise la production constitue la référence absolue. Par rapport à cette référence, la gestion optimisée génère une perte énergétique comprise entre 5 et 10% selon les valeurs des variables internes du modèle de gestion.

MODELE DE FREQUENTATION DU SITE

Le modèle de fréquentation du site calcule le nombre estival de visites liées à des activités aquatiques dans le réservoir. Il est calé sur un site existant. Sur la base d'une étude statistique régionale, la fréquentation est répartie en fonction des provenances et des activités. La transposition sur le site projeté considère ainsi la répartition de la population environnante et les activités potentielles. Des fonctions de préférence intègrent la température de l'air et de l'eau ainsi que sur les oscillations du niveau dans le réservoir.

CAS D'ETUDE

A cause de ses nombreux réservoirs à accumulation, le régime hydraulique du Rhône suisse alpin supérieur est profondément modifié (marnage journalier et report saisonnier). Les nombreux glaciers du bassin génèrent une eau fortement chargée de sédiments fins. A la suite de deux corrections, le cours d'eau est fortement canalisé sur l'intégralité de sa longueur (environ 160 km). La succession de trois crues destructrices (1987, 1993 et 2000) nécessite une troisième correction. Parallèlement à l'augmentation de la capacité, cette correction intègre des aspects de renaturation et de développement socio-économique. (Troisième Correction du Rhône, 2006).

Dans ce contexte, un aménagement à buts multiples est envisagé avec, comme principaux objectifs, le laminage du marnage, la production d'énergie, le développement d'activités de loisirs aquatique et la stabilité du niveau d'eau dans le réservoir. L'aménagement projeté possède une surface de 1 km² et une hauteur de 8.70 m (non-compris la revanche de 1 m pour les aspects sécuritaires). Le débit de la rivière à poissons est posé à 5 m³/s. Le débit équipé de la centrale hydroélectrique est admis à 200 m³/s (99^{ème} jour classé).

Etat actuel

Le site projeté possède un potentiel énergétique brut inexploité d'environ 60 GWh par année. Les berges pentues du cours d'eau ne permettent aucun contact social à l'eau. Enfin, l'intégralité du marnage artificiel demeure sur le linéaire de la rivière. Sur les 2,5 km² de la surface aval du cours d'eau, seul 10% sont utiles pour les mouilles, 2% pour les berges et moins de 1% pour les radier. La richesse prédite des macro-invertébrés donne une valeur moyenne de 4.75 taxon par type (Pellaud, 2007). Le Tableau 1 résume les principales caractéristiques de l'état existant.

Tab 1 : Etat actuel du Rhône selon les indicateurs développés

Tab 1 : Current state of the Rhone River

Production d'énergie	--	GWh/an
Fréquentation aquatique du site	--	Visites/a
Longueur de berges accessibles	--	km
Mouilles	268'750	m ²
Berges	45'500	m ²
Radier	12'250	m ²
Cours plein	813'750	m ²
Richesse EPT	4.75	--

Scénario avec un aménagement à buts multiples et un cours d'eau corrigé

La correction du Rhône suisse alpin supérieur vise un élargissement du lit principal de la rivière d'environ 50% ainsi que la suppression du lit majeur. Les conséquences de l'élargissement ont un effet direct sur la production d'énergie par l'abaissement du niveau aval moyen (+23%). Avec 51.1 GWh/an, la production atteint les 86% du potentiel initial brut. Parallèlement, selon la Fig 4, le marnage est largement réduit. En conséquence, l'indice de richesse prédite des macro-invertébrés est augmenté de 380% par rapport à l'état existant et la surface utile pour les quatre guildes de poissons (indice global) de 109% (Pellaud, 2007). Compte tenu d'une augmentation de la surface totale de 50%, le gain de surface utilisable lié à l'amélioration du régime hydrologique et de la structure géomorphologique est de 59%. Le nombre de visites pour les loisirs aquatiques sur le site dépasse les 50'000 unités par année. Le linéaire du Rhône profite également d'un contact à l'eau possible (fréquentation additionnelle non considérée). Le Tableau 2 résume les principales caractéristiques d'un aménagement à buts multiples et d'un élargissement du lit.

Tab 2 : Etat potentiel du Rhône avec un aménagement à buts multiples et un cours d'eau élargi

Tab 2 : Potential state of the Rhone River with a multipurpose reservoir and a bed widening

Production d'énergie	51.1	GWh/an	--
Fréquentation aquatique du site	53'500	Visites/an	--
Longueur de berges accessibles	~ 40	km	--
Mouilles	552'000	m ²	+ 105%
Berges	363'000	m ²	+ 695%
Radier	136'900	m ²	+ 1010%
Cours plein	1'334'000	m ²	+ 65%
Richesse EPT	22.70	--	+ 380%

CONCLUSIONS

Pour la gestion des crues, des travaux importants de corrections sur les cours d'eau sont nécessaires. La législation suisse oblige, pour ces travaux, l'intégration de la dimension écologique. Les mesures préconisées sont un élargissement du cours d'eau, et un aplatissage des berges. Dans cette configuration, le régime hydrologique devient le facteur limitant pour la renaturation écologique. Il est ainsi nécessaire de réduire la variabilité artificielle du régime et de reproduire un hydrogramme aussi naturel que possible. Cet objectif peut être facilement atteint avec un réservoir à buts multiples géré activement sur le cours d'eau.

Avec la nécessité d'un réservoir géré activement, la production locale d'énergie renouvelable s'inscrit naturellement dans le projet. Le modèle de gestion optimisée montre clairement le potentiel de réunion de deux objectifs apparemment antagoniste (énergie et écologie). Moyennant une légère perte énergétique, une hydrologie quasi naturelle peut être restaurée. Les principaux gagnants de cette nouvelle situation sont les macro-invertébrés avec une croissance calculée de près de 400%.

Compte tenu des faibles exigences liées aux loisirs aquatique, cet objectif peut être facilement inclus. La stabilité souhaitée du niveau d'eau dans le réservoir concorde avec la production énergétique et l'intégration paysagère.

La considération des processus physiques liés à un réservoir permet de développer un algorithme simple de simulation de l'aménagement et d'en chiffrer, par des indicateurs corrélés, les conséquences attendues. Des solutions de compromis sont ainsi faciles à développer. La compréhension du système et de son fonctionnement lié à la puissance du calcul informatique permettent ainsi de développer les meilleures solutions multi-objectives pour un aménagement hydraulique complexe.

REMERCIEMENTS

Le projet SYNERGIE est financé par la Commission Fédérale pour la Technologie et l'Innovation (Switzerland, projet CTI n° 6794.1 FHS-IW) ainsi que par l'Office Fédéral de l'Environnement (Switzerland, projet Rhône-Thur, module IV, sous-module 4), l'Etat du Valais et les Forces Motrices Valaisanne. Le laboratoire de gestion des écosystèmes (EPFL, Switzerland), le bureau d'ingénieurs STUCKY et le groupe ANDRITZ-VATECH ont apporté leur soutien dans les domaines écologiques et techniques respectivement.

REFERENCES

- Adriaenssens V., de Baets B., Goethals P.L.M., de Pauw N. (2004): "Fuzzy rule-based models for decision support in ecosystem management." *The Science of the Total Environment*, Vol 319; 1-12.
- Bollaert E., Imiger P., Schleiss A. (2000): "Management of sedimentation in a multipurpose reservoir in a run-of-river powerplant project on an alpine river." *Proc. of conf. Hydro 2000*, Bern, Switzerland, 183-192.
- Coyle G. (2000): "Qualitative and quantitative modelling in system dynamics: some research questions." *System Dynamics Review*, Vol. 16; 225-244.
- Fourer R., Gay D. M., Kernighan B. W. (2003): "AMPL: A Modeling Language for Mathematical Programming." Duxbury Press, Brooks/Cole Publishing Company, USA.

- Gomez P., Probst G. (1995): "Die Praxis des ganzheitlichen Problemlösens." Paul Haupt Verlag, Bern, Switzerland.
- Halleraker J.H., Saltveit S.J., Harby A., Arnekleiv J.V., Fjeldst H.-P., Kohler B. (2003): "Factors influencing stranding of wild juvenile brown trout (*salmo trutta*) during rapid and frequent flow decreases in an artificial stream." *River Res. Applic.*, Vol. 19; 589-603.
- Heller P. (2007): "Méthodologie pour la conception et la gestion des aménagements hydrauliques à buts multiples par une analyse systémique." thèse de doctorat n° 3781, Communication n° 30, Laboratoire de Constructions Hydrauliques, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland, 282 pp.
- Heller P., Bollaert E., Schleiss A. (2007): "Comprehensive study of a multi-purpose run-of-river power plant with a holistic qualitative analysis." *Journal of River Basin Management*, (submitted).
- Lamouroux N., Souchon Y. (2002): "Simple predictions of in-stream habitat model outputs for fish habitat guilds in large streams." *Freshwater Biology*, Vol. 47; 1531-1542.
- Leach W. D., Pelkey N. W. (2001): "Making Watershed Partnerships Work: A Review of the Empirical Literature." *J. Water Resour. Plng. Mgmt.*, Vol. 127(6); 378-385.
- Lek S., Guegan J.F. (1999): "Artificial Neural Networks as a tool in ecological modeling, an introduction." *Ecol. Model.*, Vol. 90; 39-52.
- Meile T., Schleiss A., Boillat J.-L. (2005): "Entwicklung des Abflussregimes der Rhone seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts." *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, Vol. 97(5/6); 133-142.
- Obach M., Wagner R. and al. (2001): "Modelling population dynamics of aquatic insects with artificial neural networks." *Ecological Modelling*, Vol. 146; 207-217.
- Pellaud M. (2007): "Ecological response of a multi-purpose river development project using macro-invertebrates richness and fish habitat value." thèse de doctorat n° 3807, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Switzerland.
- Silvert W. (2000): "Fuzzy indices of environmental conditions." *Ecological Modelling*, Vol. 130; 111-119.
- Schleiss A. (2006): "Mögliche Synergien zwischen Hochwasserschutz, Flussrevitalisierung und Wasserkraft dank innovativer Mehrzweckprojekte." *Wasser, Energie, Luft – eau, énergie, air*, Vol. 98(1); 3-9.
- Troisième Correction du Rhône (2006): "Plan sectoriel 3ème Correction du Rhône." Etat du Valais, Département des transports, de l'équipement et de l'environnement, Service des Routes et Cours d'Eau, Projet Rhône, Valais, Switzerland.
- Valentin S. (1995): "Variabilité artificielle des conditions d'habitat et conséquences sur les peuplements aquatiques: effets écologiques des écluées hydroélectriques en rivière." Laboratoire Hydroécologie Quantitative - Division Biologie des Ecosystèmes Aquatiques - CEMAGREF. Lyon, Université Claude Bernard - Lyon I, pp. 263.
- Zhang L., Gove J.H., Heath L.S. (2005): "Spatial residual analysis of six modeling techniques." *Ecological Modelling*, Vol. 86; 154-177.

UNWETTERSCHÄDEN IN DER SCHWEIZ 1972-2007

MIT BESONDERER BETRACHTUNG DES AUGUST-HOCHWASSERS 2005

FLOOD AND LANDSLIDE CAUSED DAMAGE IN SWITZERLAND 1972-2007

WITH SPECIAL CONSIDERATION OF THE FLOOD IN AUGUST 2005

Nadine Hilker¹, Christoph Hegg², Massimiliano Zappa³

ZUSAMMENFASSUNG

Die Forschungseinheit "Gebirgshydrologie und Wildbäche" der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL sammelt seit 1972 systematisch Informationen über Unwetterschäden in einer Datenbank. Berücksichtigt werden Schäden durch Hochwasser, Murgänge, Rutschungen und Felsbewegungen. Innerhalb von 36 Jahren kam es in der Schweiz zu einem Gesamtschaden von knapp 13 Milliarden CHF⁴ (teuerungsbereinigt). Rund ein Viertel dieser Schäden entstand im August 2005, als weite Teile der Schweiz von grossflächigen Überschwemmungen betroffen waren. Die durch das Unwetter entstandenen finanziellen Schäden wurden eingehend dokumentiert, analysiert und mit früheren Ereignissen verglichen.

Keywords: Inventar, Unwetterschäden, Hochwasser, Murgang, Rutschung, Sturzprozess, August 2005

ABSTRACT

Since 1972 the research unit "Mountain Hydrology and Torrents" of the Swiss Federal Research Institute WSL has been systematically collecting information on storm damage originating from floods, debris flows, landslides and rockfalls in a database. In Switzerland these processes caused costs of totally nearly 13 billion CHF⁴ (considering inflation) within 36 years. One quarter of this damage originates from August 2005, when large parts of Switzerland were flooded. Damage caused by these inundations were documented and analyzed. Goal of this study is to compare the 2005 event to previous events available in the database.

Keywords: Inventory, storm damage, flood, debris flow, landslide, rockfall, August 2005

¹ Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Forschungseinheit Gebirgshydrologie und Wildbäche, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz (Tel.: +41-(0)44-739-25-56; Fax: +41-(0)44-739-22-15; email: nadine.hilker@wsl.ch)

² Stv. Direktor a.i. und Programmleiter, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

³ Gruppenleiter, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Forschungseinheit Gebirgshydrologie und Wildbäche, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

⁴ Stand / as at 26.09.2007: 1.00 CHF (Schweizer Franken / Swiss Francs) = 0.61 € (Euro)

EINFÜHRUNG

Die Bevölkerungszunahme⁵ und die Ausdehnung der Siedlungsfläche⁶ in Gefahrenräumen erhöhen das Schadenspotential. Um Schutzbedürfnisse beurteilen zu können, sind Kenntnisse über die massgebenden Prozesse und deren Auswirkungen nötig (BWG, 2001). Durch die Dokumentation von Schadensereignissen können Grundlagen für Gefahrenkarten und somit auch für Schutz- und raumplanerische Massnahmen erlangt werden. Deshalb sammelt die Forschungseinheit "Gebirgshydrologie und Wildbäche" der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL in einer Datenbank seit 1972 systematisch Informationen über Unwetterschäden in der ganzen Schweiz (Hegg et al., 2000). Berücksichtigt werden Schäden durch auf natürliche Weise ausgelöste Hochwasser, Murgänge, Rutschungen und seit 2002 Felsbewegungen⁷. Unter anderem werden das auslösende Witterungsereignis, die Schaden verursachenden Prozesse sowie die entstandenen Schäden erfasst. Mit Hilfe der Datenbank ist es möglich, verschiedene Fragestellungen zur zeitlichen und räumlichen Verteilung von Schadenskosten und verursachenden Prozessen zu beantworten. Die Resultate werden in einem jährlichen Bericht publiziert (z.B. Hilker et al., 2007a).

Ausgiebige Regenfälle führten um den 21./22. August 2005 in weiten Teilen der Schweiz zu Überschwemmungen, Murgängen, Rutschungen und Hangmuren. Mit einer Gesamtschadenssumme von rund 3 Milliarden CHF stellt dieses Unwetter das schadenreichste Hochwasser in der Schweiz seit mindestens 100 Jahren dar. Neben den finanziellen Schäden kam es zu sechs Todesfällen. Die entstandenen Schäden wurden im Rahmen des Projektes "Ereignisanalyse Hochwasser 2005" untersucht (Hegg et al., 2008; Hilker et al., 2007b).

Das nachfolgende Kapitel befasst sich mit den verwendeten Methoden und Datenquellen. Danach wird sowohl auf die Resultate der langjährigen Statistik (1972-2007) im Allgemeinen als auch auf jene bezüglich des Ereignisses vom August 2005 im Speziellen eingegangen. Bei Angaben in Schweizer Franken (CHF⁴) handelt es sich ausschliesslich um teuerungsbereinigte Daten mit Basisjahr 2007. Abschliessend führen Vergleiche mit vergangenen Ereignissen zu einigen Schlussfolgerungen.

METHODIK UND DATEN

Die Erhebungen für die Unwetterschadens-Datenbank basieren hauptsächlich auf den Meldungen von mehr als 2000 elektronischen und gedruckten Schweizer Medien. Die Ereignisse werden soweit möglich einer oder mehreren Gemeinden zugeordnet. Die Schadenskosten werden abgeschätzt. So geben die jährlichen Schadenssummen die unmittelbaren Sachschäden grössenordnungsmässig an. Diese Abschätzungen beruhen auf Angaben von Versicherungen, Schadensexperten, Krisenstäben und (halb-)amtlichen Stellen. Für das Hochwasser 2005 standen detailliertere Unterlagen als bei der regulären Datenerfassung zur Verfügung.

Als Schadenskosten werden sowohl versicherte Sach- und Personenschäden als auch nicht versicherte und nicht versicherbare Schäden berücksichtigt. Darunter fallen unter anderem Elementarschäden in Forst- und Landwirtschaft sowie Infrastrukturschäden von Bund, Kantonen und Gemeinden (z.B. Schäden an öffentlichen Gebäuden oder Verkehrswegen). In den

⁵ Zunahme der Bevölkerung in der Schweiz von 1972 bis 2006: rund 17 %. Bevölkerungsstand per 31.12.2005: knapp 7.5 Millionen

⁶ Zunahme der Siedlungsfläche (inkl. Verkehr) in der Schweiz von 1979/85 bis 1992/97: rund 13 %. Insgesamt beanspruchen die Siedlungsflächen knapp 7% der Landesfläche (BFS, 2005)

⁷ Schäden durch Lawinen, Schneedruck, Erdbeben, Blitze, Hagel und Sturm werden nicht berücksichtigt

Schadenskosten nicht inbegriffen sind hingegen indirekte Schäden, spätere Sanierungsmassnahmen und ideelle Schäden (Todesopfer, irreparable Schäden an Natur und Umwelt usw.). Todesfälle werden separat aufgenommen.

Die Prozesse und damit auch Schaden auslösenden Ursachen werden in vier Gruppen aufgeteilt, die sich auf die jeweils vorgeherrschte Witterung beziehen:

- Dauerregen (lang andauernde, ausgiebige Regen);
- Gewitter (inkl. intensive Regenfälle, Platzregen, Wolkenbrüche);
- Schneeschmelze, zumeist verbunden mit anhaltenden Niederschlägen oder Starkregen;
- Unbekannte oder andere Ursachen.

Die Schäden werden ausserdem den verursachenden Prozessen zugeordnet. Wegen der grossen Vielfalt der im Naturgefahrenbereich möglichen Prozesse, sind die Grenzen zwischen den folgenden drei verwendeten Kategorien fließend:

- Vorwiegend durch Wasser verursachte Schäden: im weitesten Sinn durch stehendes oder fließendes Wasser, mit oder ohne Geschiebe und Schwemmholz, verursacht. Feinunterteilung: Hochwasser / Überschwemmung und Murgang;
- Hauptsächlich durch Lockermaterial verursachte Schäden: Sämtliche Arten von Rutschungen und Kriechvorgängen ausserhalb des unmittelbaren Gewässerbereiches;
- Durch Fels verursachte Schäden: durch die Einwirkung von fallendem und abrutschendem Festgestein entstanden (Steinschlag, Fels- und Bergsturz). Bei sämtlichen statistischen Aussagen muss berücksichtigt werden, dass diese Kategorie erst seit 2002 in der Datenbank erfasst wird.

RESULTATE

Unwetterschäden in den Jahren 1972-2007

Die Entwicklung der Schadenskosten seit 1972 ist in Abb. 1 dargestellt. Die Schadenssumme aller Ereignisse liegt bei fast 13 Milliarden CHF. Dieser Betrag wird durch wenige sehr grosse Ereignisse dominiert. So führten die sechs schadenreichsten Ereignisse seit 1972 (1978, 1987, 1993, 1999, 2000⁸ und 2005 - alle mit Schäden von mehr als 500 Millionen CHF) zusammen zu einem Anteil von 55 %. Im Jahr 2007 kam es zwar zu Schäden von über 700 Millionen CHF, diese sind aber nicht primär auf ein einziges, sondern hauptsächlich auf vier grössere Ereignisse zurückzuführen (Hilker et al., 2008). Am wenigsten Schäden verzeichneten die Jahre 1989, 1976 sowie 1996 mit weniger als 40 Millionen CHF.

Eine leichte Zunahme der jährlichen Schadenskosten ist zwar feststellbar - die Beobachtungsperiode von 36 Jahren ist jedoch zu kurz, um auf einen statistisch relevanten Trend schliessen zu können. Ausserdem können alleine anhand der Schäden keine Rückschlüsse auf die Anzahl oder die Intensität von Unwetterereignissen gemacht werden (Zimmerli, 2003). Einerseits hat sich im Laufe der Zeit das Schadenspotential erhöht und andererseits haben sich gewisse Schutzmassnahmen bewährt. Eine teilweise erhöhte Niederschlagsaktivität auf Grund der Klimaerwärmung wird zwar vermutet (Frei et al., 1998), kann aber mit den vorliegenden Schadensdaten nicht belegt werden.

Die durchschnittlichen Schadenskosten der Jahre 1972-2004 betragen rund 275 Millionen CHF. Unter Berücksichtigung des schadenreichen Jahres 2005 erhöhte sich dieser Betrag auf

⁸ Grosse Hochwasserereignisse: 7./8. August 1978: grossräumig, mit Schadensschwerpunkten im Kanton Tessin und an der Thur; 24./25. August 1987: vor allem Kantone Uri (Reusstal), Wallis, Tessin, Graubünden (Puschlav); 24. September 1993: Kantone Wallis (vor allem Brig) und Tessin; 11.-15. Mai und 20.-22. Mai 1999: primär Region Bern bis Zürich - Thur bzw. Ostschweiz; 14./15. Oktober 2000: Kantone Wallis und Tessin

über 355 Millionen CHF. Der aktuellste Mittelwert (1972-2007) beläuft sich auf rund 360 Millionen CHF pro Jahr. Der Median für die jährlichen Schadenskosten 1972-2007 beträgt 90 Millionen CHF. Ein Vergleich mit dem Mittelwert weist darauf hin, dass nur wenige Jahre ausserordentlich hohe Schadenssummen zu verzeichnen haben. So liegen beispielsweise bei 26 der 36 untersuchten Jahre die Schadenssummen unter dem langjährigen Durchschnitt. Unter Berücksichtigung der Bevölkerungszunahme beträgt der mittlere finanzielle Schaden pro Kopf und Jahr rund 52 CHF.

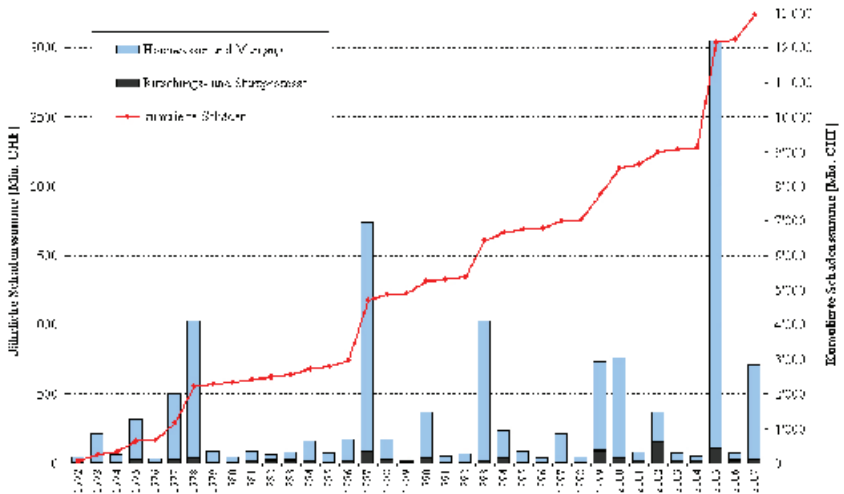


Abb. 1: Entwicklung der Schadenskosten durch Unwetter in den Jahren 1972-2007.
Fig. 1: Development of storm damage in the period 1972-2007.

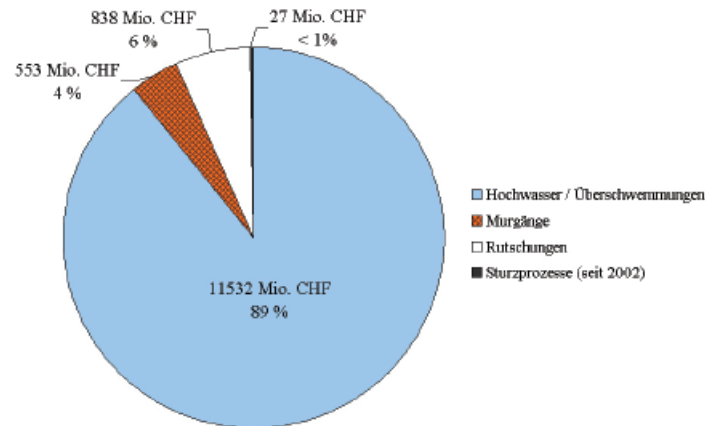


Abb. 2: Prozentuale Anteile der Prozesse an den Schadenskosten 1972-2007.
Fig. 2: Percentage of the total costs caused by different processes from 1972-2007.

Die Anteile der verursachenden Prozesse an den Schadenskosten sind in Abb. 2 dargestellt. Während 89 % der Schäden durch Hochwasser und Überschwemmungen entstanden sind, kam es durch Murgänge nur zu rund 4 % und durch Rutschungs- und Sturzprozesse nur zu rund 7 % der Schäden. Wird die Schweiz in sieben Regionen⁹ eingeteilt, fällt auf, dass die Ostschweiz mit 16 % verhältnismässig viele Schäden durch Rutschungen verzeichnet.

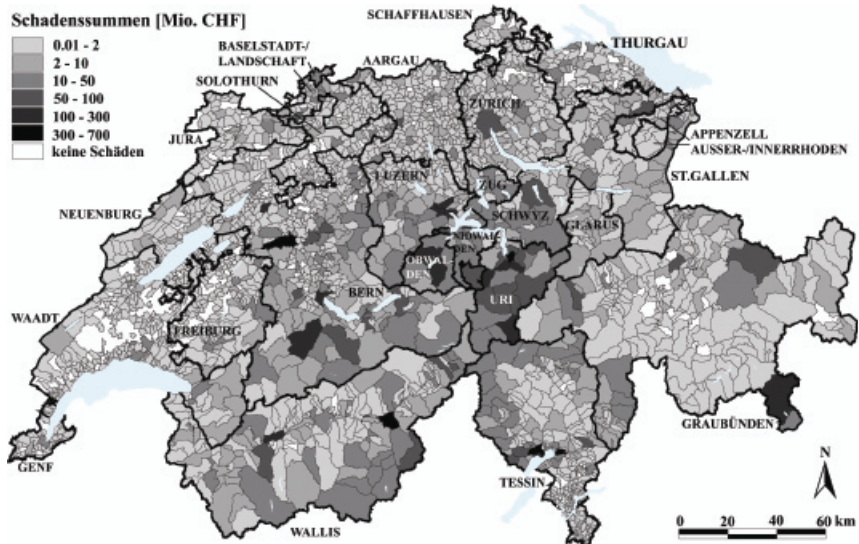


Abb. 3: Karte der Schweiz mit der Verteilung der Schadenskosten 1972-2007 auf Gemeindeebene. Die dicken Linien kennzeichnen die Kantons Grenzen.

Fig. 3: Map of Switzerland with the distribution of damage 1972-2007 on community level. Thick lines show the borders of the cantons.

Abb. 3 zeigt die räumliche Verteilung der Unwetterschäden auf Gemeindeebene. Dabei gilt zu beachten, dass Schadenskosten, die nicht genau zuordenbar waren, teilweise auf die Kantons- bzw. Bundeshauptorte verteilt wurden (vor allem Gemeinde Bern). Mit 2.8 Milliarden CHF weist der Kanton Bern am meisten Schäden auf - gefolgt von den Südschweizer Kantonen Tessin und Wallis und dem Zentralschweizer Kanton Uri. Alle vier Kantone verzeichnen Hochwasserschäden von jeweils mehr als 1.4 Milliarden CHF und erreichen zusammen rund 60 % der gesamten Hochwasserschadenssumme in der Schweiz seit 1972. Die meisten Kosten durch Murgangereignisse entstanden in den Kantonen Graubünden und Wallis: Beide weisen Schäden um 180 Millionen CHF auf und stellen zusammen zwei Drittel aller Schadenskosten durch Murgänge dar. Rutschungsschäden von mehr als 100 Millionen CHF gab es in den Kantonen Graubünden, Bern und Tessin (zusammen rund 40 % aller Schäden dieser Kategorie).

⁹ Gemäss Bundesamt für Statistik: 1. Genferseeregion (Kantone Genf, Waadt, Wallis), 2. Espace Mittelland (Kt. Neuchâtel, Jura, Bern, Freiburg, Solothurn), 3. Nordwestschweiz (Kt. Baselstadt, Basellandschaft, Aargau), 4. Zürich, 5. Ostschweiz (Kt. Schaffhausen, Thurgau, St. Gallen, Appenzell Inner- und Ausserrhoden, Glarus, Graubünden), 6. Zentralschweiz (Kt. Luzern, Zug, Schwyz, Obwalden, Nidwalden, Uri), 7. Tessin

Werden die Schadenskosten pro Fläche bzw. pro Einwohner¹⁰ berechnet, so ist Uri (1.37 Millionen CHF/km² bzw. 42'000 CHF/Einwohner) der am stärksten und Obwalden (1.15 Millionen CHF/km² bzw. 17'000 CHF/Einwohner) der am zweitstärksten betroffene Kanton.

Lang anhaltende, ausgiebige Regenfälle haben zu 75 % der gesamten Schadenskosten 1972-2007 geführt (Abb. 4). Mit 23 % waren Gewitterregen die zweitwichtigste Ursache. Schneeschmelze verursachte weniger als 1 % der Schadenskosten, hat aber beispielsweise beim Hochwasser 1999 neben Dauerregen auch eine Rolle gespielt. Bezüglich regionaler Verteilung ist auffallend, dass Gewitter einzig in der Region Zürich mit rund 55 % dominieren. Und ohne das Unwetter 2005 weist die Region Espace Mittelland sogar fast 65 % Gewitterschäden auf. In den Regionen Tessin und Genfersee führten Dauerregen zu rund 90 % der Schäden.

Werden die eingangs erwähnten sechs schadenreichsten Ereignisse seit 1972, welche allesamt vorwiegend durch Dauerregen verursacht worden sind, ausser Betracht gelassen, so sind von den verbleibenden Schäden knapp 55 % auf Gewitter zurückzuführen.

Sowohl die meisten Rutschungs- als auch die meisten Wasserschäden wurden durch lang anhaltende Regenfälle ausgelöst. Felsbewegungen konnte meist keine ursächliche Witterung zugeordnet werden. Hier spielt z.B. die langjährige Verwitterung des Gesteins eine grössere Rolle als ein einzelnes Niederschlagsereignis.

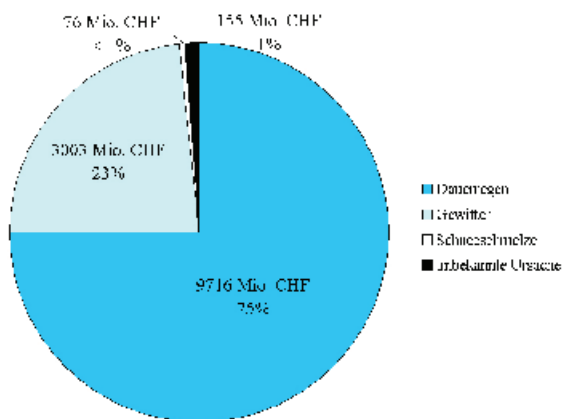


Abb. 4: Prozentuale Anteile der Prozess auslösenden Ursachen an den Schadenskosten 1972-2007.

Fig. 4: Percentage of the total costs caused by different weather conditions from 1972-2007.

Etwa 50 % aller Unwetterschäden seit 1972 sind im Monat August zu verzeichnen (Abb. 5), wobei zwei August-Hochwasser (1987 und 2005) zusammen bereits über 30 % der Gesamtschadenssumme ausmachen. Die grössten Schäden durch Hangbewegungen sind in den Monaten Mai und August entstanden, jene durch Murgänge in den Monaten Juli und August. Werden die sechs grössten Ereignisse ausgeklammert, so stellt sich eindeutig der Juli als schadenreichster Monat heraus.

In den Sommermonaten Juni bis August entstanden 72 %, in den Herbstmonaten September bis November 16 %, in den Frühlingsmonaten März bis Mai 9 % und in den Wintermonaten

¹⁰ Gemäss Bundesamt für Statistik (ohne Berücksichtigung der Entwicklung seit 1972)

Dezember bis Februar nur 3 % aller Schadenskosten. Gewitter führten hauptsächlich in den Sommermonaten zu grösseren Schäden.

Es konnte kein eindeutiger Trend in Bezug auf die Schadensentwicklung innerhalb der einzelnen Monate festgestellt werden. Auf Grund des Klimawandels wird in der Schweiz aber mit einer Zunahme von Starkniederschlägen in den Wintermonaten gerechnet (OcCC, 2007).

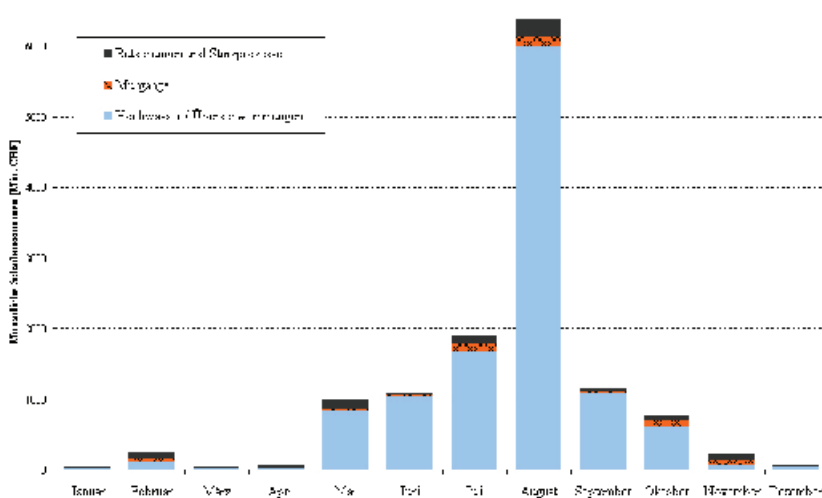


Abb. 5: Aufteilung der Schadenskosten 1972-2007 auf Monate und Prozesse.

Fig. 5: Distribution of storm damage 1972-2007 concerning month and process.

In den Jahren 1972-2007 sind 102 Personen durch Wasserprozesse oder Rutschungen getötet worden¹¹. Hochwasser und Überschwemmungen waren mit 45 % die häufigsten Ursachen von Todesfällen. Rutschungen haben zu 31 % und Murgänge zu 24 % der Todesopfer geführt. Sturzprozesse haben seit Beginn derer systematischen Erfassung zusätzlich acht Menschenleben gefordert. Wird nur der Zeitraum von 2002 bis 2007 betrachtet, so verursachten Steinschläge und Felsstürze knapp 30 % der Todesfälle.

Durchschnittlich forderten die Unwetterereignisse etwa 3 Todesfälle¹² pro Jahr (auch mit Einbezug von Sturzprozessen). Ein eindeutiger Trend ist nicht feststellbar. Die Verteilung der Todesfälle über die letzten 35 Jahre verläuft sehr unregelmässig (Abb. 6). Nicht jedes der sechs finanziell schadenreichsten Unwetter brachte überdurchschnittlich viele Todesfälle. Die Ereignisse im August 1978, im Oktober 2000 und im August 2005 lagen mit elf, sechzehn und sechs Toten zwar über dem Mittelwert. Im August 1987 sowie im September 1993 und im Mai 1999 kam es hingegen nur zu einem bzw. zu je zwei Todesfällen. Im Juli 1981 kamen andererseits sechs Menschen bei einem Murgang ums Leben, der sonst keine grösseren finanziellen Schäden hinterlassen hat.

¹¹ Bei der Ausübung von Risikosportarten werden Risiken freiwillig / bewusst eingegangen. Daher wurde das Canyoning-Unglück von 1999 im Saxetbach BE (21 Tote) nicht miteinbezogen (Schmid et al., 2004)

¹² Zum Vergleich: Durch Lawinen kommen in der Schweiz im langjährigen Mittel 1937-1999 jährlich 25 Menschen (inkl. Risikosportler) ums Leben (Tschirky et al., 2000)

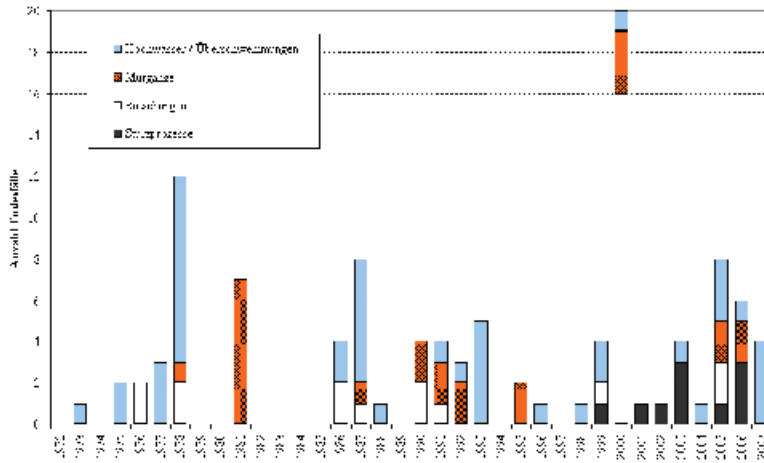


Abb. 6: Zeitliche Verteilung der Todesfälle in den Jahren 1972-2007, aufgeteilt nach Prozessen.

Fig. 6: Distribution of deaths in the period 1972-2007, split in processes.

Schäden durch das Unwetter vom August 2005

Heftige Regenfälle vom 18. bis 23. August 2005 führten zu grossräumigen Überschwemmungen, Murgängen sowie Rutschungen und Hangmuren. Stellenweise fielen innerhalb von 48 Stunden mehr als 220 mm (MeteoSchweiz, 2006). Gesamtschweizerisch entstanden durch dieses Unwetter Schäden von rund 3 Milliarden CHF. Neben den finanziellen Schäden kamen sechs Menschen ums Leben.

Grosse Hochwasserschäden entstanden vorwiegend in den nördlichen Voralpen und in der Zentralschweiz sowie entlang grosser Flüsse im Mittelland, wie z.B. in Bern an der Aare (Kanton Bern) oder in Windisch an der Reuss (Kanton Aargau). Zudem entstanden im Mittelland viele Schäden von kleinerem Ausmass. Die Rutschungen beschrieben mehr oder weniger ein Band entlang der nördlichen Voralpen mit Ausläufern im Kanton Graubünden. Diese Verteilungen entsprechen den damals herrschenden Niederschlagsverhältnissen. Rutschungen und massive Überschwemmungen ereigneten sich primär in den Gebieten mit den stärksten Regenfällen und die grossen Flüsse transportierten diese Wassermengen weiter nach Norden. Der Jura, die Alpen und die Alpensüdseite blieben vom Unwetter weitgehend verschont.

Fast ein Drittel aller Schweizer Gemeinden waren durch Wasser- und / oder Hangprozesse betroffen (Abb. 7). Dabei lässt sich kein eindeutiger Schadensschwerpunkt feststellen. Mindestens 14 Gemeinden wurden mit Schäden von mehr als 50 Millionen CHF äusserst stark in Mitleidenschaft gezogen.

92 % der Schäden wurden durch die Prozesse Hochwasser, Überschwemmung, Übersarung, aufsteigendes Grundwasser oder abfliessendes Hangwasser verursacht. Dabei sorgten hauptsächlich grosse Flüsse und Seen für lang anhaltende, aber meist geschiebarme Überschwemmungen und führten vor allem im Siedlungsgebiet - insbesondere in Industriegebieten - zu grossen Schäden. Durch Hochwasser kam es ausserdem zu massiven Ufererosionen (Abb. 8). Murgänge spielten mit nur 3 % Schadensanteil eine eher untergeordnete Rolle. Am meisten Schäden richteten die Murgänge von Glyssi- und Trachtbach in der Gemeinde Brienz (Kanton Bern) an. 5 % aller Schäden sind auf Rutschungen und Hangmuren zurückzuführen.

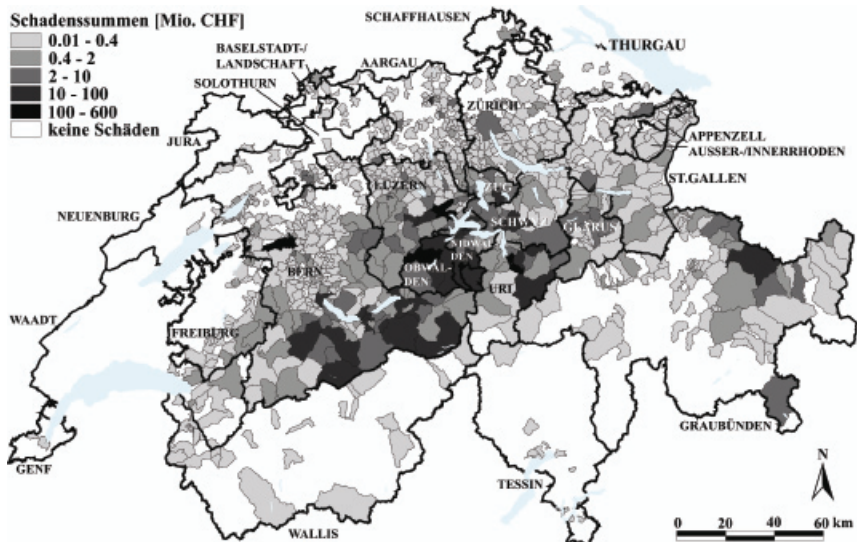


Abb. 7: Verteilung des Schadensausmasses des August-Hochwassers 2005 auf Gemeindeebene (Schadenskosten, die keiner Gemeinde, aber einem Kanton zugeordnet werden konnten, wurden dem jeweiligen Kantonshauptort und im Falle von Graubünden der Gemeinde Klosters-Serneus zugeteilt).

Fig. 7: Distribution of the extent of damage caused by the flood in August 2005 on community level (Costs that could only be split on canton level were assigned to the main locality of the canton or in the case of Grisons to the community Klosters-Serneus).



Abb. 8: Die Kleine Emme riss im August 2005 bei Werthenstein (Kanton Luzern) die Strasse mit.

Fig. 8: The river "Kleine Emme" carried away the road near Werthenstein (canton Lucerne) in August 2005.

Der Anteil der privaten Schäden (vor allem Gebäude und Mobiliar) an der Schadenssumme betrug rund 75 %, jener der Infrastrukturschäden (vor allem Wasserbauten) rund 25 %. In den stark betroffenen Kantonen Luzern und Uri lag der Anteil der Infrastrukturschäden jedoch nur bei etwa 10 %. In diesen beiden Kantonen fielen vorwiegend Schäden an Industriebetrieben ins Gewicht.

Während Prozesse im Zusammenhang mit Wasser primär zu privaten Schäden geführt haben, betrafen Rutschungen vorwiegend Infrastruktur. So wurden rund 99 % der Gebäude- und Mobiliarschäden durch Hochwasser oder Murgänge verursacht und nur etwa 1 % durch Erdbeben. Im Gegensatz dazu wurden Strassen zu rund 21 % durch Rutschungen beschädigt und zu etwa 79 % durch Wasserprozesse.

In sehr vielen Fällen konnten Wasserschäden keinem Gewässer zugeordnet werden. Es wird vermutet, dass es sich dabei um Schäden durch aufsteigendes Grundwasser oder abfliessendes Hangwasser gehandelt hat. Solche Prozesse werden normalerweise weder in Gefahrenkarten ausgewiesen noch durch raumplanerische Massnahmen berücksichtigt. Schäden liessen sich in diesen Fällen durch Objektschutz (einfache Massnahmen wie z.B. höhere Lichtschächte) verhindern.

Einordnung des Hochwassers 2005 innerhalb der Erfassungsperiode 1972-2007

Mit einer Gesamtschadenssumme von rund 3 Milliarden CHF stellt das Unwetter vom August 2005 das schadenreichste Hochwasser in der Schweiz seit Beginn der systematischen Schadenserfassung dar. Weder ein Einzelereignis noch ein gesamtes Jahr weisen höhere Schäden auf. Auch die relativ schadenreichen Jahre 1987 und 1993 verzeichneten mit rund 1.7 bzw. 1 Milliarden CHF deutlich weniger Kosten.

Das Hochwasser 2005 verursachte knapp einen Viertel der Gesamtschadenssumme der Jahre 1972-2007 (Abb. 1). Die Schadenskosten pro Kopf lagen bei diesem Ereignis mit 400 CHF achtmal höher als das Jahresmittel.

Die verursachten Schäden mussten je nach Ereignis zu ganz unterschiedlichen Anteilen von Privaten bzw. von Versicherungen oder von der öffentlichen Hand getragen werden. Beim Ereignis vom August 1987 dominierten die Schäden an der öffentlichen Infrastruktur. Damals wurden vor allem die Autobahn, die Kantonsstrasse und die Bahnlinie im Kanton Uri vom Reuss-Hochwasser in Mitleidenschaft gezogen. Das Hochwasser des Lago Maggiore im Tessin vom Oktober 2000 verursachte hingegen fast nur Schäden an privaten Gebäuden. Beim Ereignis vom August 2005 traten zwar absolut gesehen erhebliche Schäden an der öffentlichen Infrastruktur auf, sie stellten jedoch - wie bereits erwähnt - nur einen Anteil von rund 25 % an der Gesamtschadenssumme dar. Weit über allem bisher Beobachteten lagen dagegen die absoluten privaten Schäden. Mit über 2 Milliarden CHF waren sie mindestens drei- bis viermal höher als bei allen anderen Hochwasserereignissen seit 1972.

Einordnung des Hochwassers 2005 bezüglich historischer Ereignisse

Das Schadensausmass des Hochwassers im Jahr 2005 ist in der jüngeren Vergangenheit ohne Parallele, was aber auf Grund der kurzen Beobachtungsdauer von 35 Jahren nur wenig aussagt. Ein Vergleich mit noch früheren Ereignissen (Quellen: Petrascheck, 1989; Pfister, 2002; Röthlisberger, 1991) drängt sich deshalb auf. Die Einordnung eines Hochwasserereignisses als Ganzes ist schwierig, da letztlich jedes Ereignis in seinen Abläufen und Ausprägungen als einmalig anzusehen ist. Trotzdem wird versucht, das Hochwasser vom August 2005 in Bezug auf betroffenen Raum, Anzahl Todesfälle und verursachte finanzielle Schäden mit früheren Ereignissen

nissen zu vergleichen. Hinsichtlich der Grenzen der Statistik und der unterschiedlichen Datenqualität, erfolgen diese Betrachtungen primär auf qualitative Art und Weise.

Eine auf den ersten Blick ähnliche räumliche Verteilung wie jene des Hochwassers 2005 weisen die Ereignisse der Jahre 1852, 1876, 1910¹³ und 1999 auf (Nord- / Voralpen und Mittelland). Die Hochwasser von 1876 und 1999 sind jedoch nur bedingt vergleichbar mit jenem von 2005, da sie vor allem die nordalpinen Einzugsgebiete unterhalb der grossen Seen in Mitleidenschaft gezogen haben. Der Schwerpunkt des Ereignisses von 1910 lag weiter im Osten als jener im Jahr 2005. Der zusammenhängende Schadensraum von der Thur bis zum Genfersee des Ereignisses von 1852 übertraf jenen von 2005 in Bezug auf die West-Ost-Ausdehnung deutlich, der Alpenraum war aber nur im Rhonetal und in den westlichen Berner Alpen betroffen.

Im 19. und auch noch zu Beginn des 20. Jahrhunderts waren bei Hochwasserereignissen in der Regel wesentlich mehr Todesopfer zu verzeichnen als 2005 (z.B. 1868¹⁴: 50 Tote, 1910: 27 Tote), obwohl sich die Bevölkerung in der Schweiz seit dem 19. Jahrhundert verdoppelt hat. Die Abnahme der Todesfälle dürfte im Wesentlichen auf die in den letzten gut 100 Jahren ausgeführten wasserbaulichen und forstlichen Massnahmen sowie auf die viel umfassenderen technischen Möglichkeiten zur Rettung von Personen zurückzuführen sein.

Wegen der unterschiedlichen Datenlage und den Veränderungen in den letzten 200 Jahren (z.B. Bebauungsdichte, Wirtschaftswachstum), kann ein Vergleich der Schadenskosten je nach gewähltem Parameter zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Rechnet man die Schäden z.B. anhand des Bruttoinlandproduktes auf heutige Werte um, so übertreffen jene des Ereignisses im Jahr 1868 mit etwa 4 Milliarden CHF sogar die Schäden von 2005. Möglicherweise noch grösser war der Schaden durch das Ereignis im Jahr 1852, lag doch schon alleine im Kanton Aargau der Schaden (umgerechnet mit der Lohnentwicklung im Baugewerbe) bei etwa 1 Milliarde CHF. Zahlen zu den Gesamtschäden liegen jedoch nicht vor. Es kann deshalb nur vermutet werden, dass sie jene von 1868 und 2005 übertreffen könnten.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Es kann davon ausgegangen werden, dass sich beispielsweise im 19. Jahrhundert mehrere Hochwasser ereignet haben, die das Schadensausmass von 2005 erreicht oder sogar übertroffen haben. Bei der Betrachtung längerer Zeitperioden verliert das Ausmass der Schäden vom August 2005 somit die Einzigartigkeit, welche es innerhalb der Schadensdatenbank aufweist. Es ist deshalb davon auszugehen, dass das Hochwasser 2005 kein singuläres Ereignis ist, und dass mit dem Auftreten ähnlich grosser Ereignisse auch in Zukunft gerechnet werden muss.

Der fortschreitende Anstieg von Bevölkerungszahl und Siedlungsfläche weist darauf hin, dass sich auch das Schadenspotential weiterhin erhöhen wird. Allerdings ist heute die Situation der Betroffenen bezüglich finanzieller Bewältigung einer Katastrophe mittels Institutionen wie den Versicherungen, Fonds und Spendeorganisationen um einiges besser als früher. Zudem haben sich viele - vor allem neuere - Massnahmen zum Schutz vor Naturgefahren (wie z.B. das Projekt für die Engelbergeraai im Kanton Nidwalden) bewährt.

Um solche erfolgsversprechenden Massnahmen gezielt ergreifen und generell gefährdete Gebiete aufzeigen zu können, werden Gefahrenkarten erarbeitet. Die Unwetterschadens-Daten-

¹³ Grosse Hochwasser: 17./18. September 1852: alle Flüsse im Mittelland von der Thur bis zur Rhone; 10.-15. Juli 1876: zentrales und östliches Mittelland, östliche Voralpen; 14./15. Juni 1910: Regen und Schneeschmelze

¹⁴ Schweres Hochwasser Ende September/Anfang Oktober 1868

bank der WSL bildet eine wichtige Grundlage für deren Erstellung und dadurch auch für die Überprüfung von Schutzstrategien. Die jüngsten grossen Unwetter, die die Schweiz im Jahr 2007 heimgesucht haben, verdeutlichten einmal mehr die Notwendigkeit einer solchen Ereignisdokumentation.

LITERATUR

- Bundesamt für Statistik BFS (2005): Arealstatistik Schweiz - Zahlen, Fakten, Analysen. Neuchâtel: 99 S.
- Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (2001): Hochwasserschutz an Fliessgewässern - Wegleitungen des BWG. Bern: 72 S.
- Frei C., Schär C., Lüthi D., Davies H.C. (1998): Heavy precipitation processes in a warmer climate. *Geophys. Res. Lett.*, Issue 25: 1431-1434.
- Hegg Ch., Gerber D., Röhlisberger G. (2000): Unwetterschaden-Datenbank der Schweiz. In: Internationales Symposium Interpraevent 2000 - Villach / Österreich, Tagungspublikation, Band 1: 37-48.
- Hegg Ch., Bezzola G.R., Koschni A. (2008): Ereignisanalyse Hochwasser 2005 in der Schweiz. In: Mikos M., Hübl J.: 11. Kongress Interpraevent 2008, 26.-30. Mai 2008, Dornbirn, Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt.
- Hilker N., Jeisy M., Badoux A., Hegg Ch. (2007a): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2005. *Wasser Energie Luft*, Heft 1: 31-41.
- Hilker N., Aller D., Hegg Ch. (2007b): Schäden. In: Bezzola G.R., Hegg Ch. (Hrsg.) (2007): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 - Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707: 127-148.
- Hilker N., Badoux A., Hegg Ch. (2008): Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2007. *Wasser Energie Luft* (in Vorbereitung).
- MeteoSchweiz (Hrsg.) (2006): Starkniederschlagsereignis August 2005 - Arbeitsbericht MeteoSchweiz Nr. 211: 64 S.
- OcCC, ProClim (Hrsg.) (2007): Klimaänderung und die Schweiz 2050 - Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. Bern: 168 S.
- Petrascheck A. (1989): Die Hochwasser 1868 und 1987 - Ein Vergleich. *Wasser Energie Luft*, 81, Nr. 1-3: 1-8.
- Pfister C. (Hrsg.) (2002): Am Tag danach - Zur Bewältigung von Naturkatastrophen in der Schweiz 1500-2000. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt: 263 S.
- Röhlisberger G. (1991): Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz. *Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf*. 330, 1991: 122 S.
- Schmid F., Fraefel M., Hegg Ch. (2004): Unwetterschäden in der Schweiz 1972-2002: Verteilung, Ursachen, Entwicklung. *Wasser Energie Luft*, Heft 1/2: 21-28.
- Tschirky F., Brabec B., Kern M. (2000): Lawinenunfälle in den Schweizer Alpen - Eine statistische Zusammenstellung mit den Schwerpunkten Verschüttung, Rettungsmethoden und Rettungsgeräte. In: *Durch Lawinen verursachte Unfälle im Gebiet der Schweizer Alpen*, Vorabdruck aus dem Winterbericht Nr. 63 (1998/99). Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos: 125-136.
- Zimmerli P. (2003): Naturkatastrophen und Rückversicherung. Schweizerische Rückversicherungs-Gesellschaft, Zürich: 46 S.

EINSCHRÄNKUNGEN BEI ABFLUSS- UND GESCHWINDIGKEITSMESSUNGEN SOWIE UNSICHERHEITEN BEI VERFAHREN ZUR ABSCHÄTZUNG VON HOCHWASSERSPITZEN IN WILDBÄCHEN

MODELLVERSUCHE, KALIBRIERVERFAHREN UND RESULTATVERGLEICH AM BEISPIEL DER ABFLUSSMESSSTATION SCHÄCHEN-BÜRGLEN

RESTRICTIONS ON DISCHARGE AND VELOCITY MEASUREMENTS AND UNCERTAINTIES OF METHODS FOR THE ESTIMATION OF PEAK DISCHARGES IN TORRENTS

EXPERIMENTAL STUDIES, CALIBRATION METHODS AND RESULT COMPARISON FOR THE DISCHARGE GAUGING STATION SCHÄCHEN-BÜRGLEN

Hodel Hanspeter¹, Petrascheck Armin²

ZUSAMMENFASSUNG

Dank der redundanten Messung der Pegelstände konnte in Bürglen die Ganglinie des extremen Hochwasserereignisses vom August 2005 aufgezeichnet werden.

Die grosse Spannweite der extrapolierten Scheitelabflüsse dieses Hochwasserereignisses zwischen 90 und 165 m³/s gibt einen Eindruck über das Ausmass der Unsicherheiten bei der Abschätzung extremer Hochwasserspitzen in Wildbächen. Zur Verbesserung der Scheitelabflussbestimmung dieses Hochwassers führte die VAW einen hydraulischen Modellversuch durch. Mit der Durchführung einer SIMK[®]-Kalibrierung soll die Bestimmung der Scheitelabflüsse bei zukünftigen Hochwasserereignissen verbessert werden.

Keywords: Hydrometrie, Wildbach, Abflussmessung, Scheitelabfluss, Wildbach.

ABSTRACT

Because of the double equipment for the water level measurements in Bürglen, the hydrograph of the extreme flood event in August 2005 could get measured.

The wide range of the extrapolated peak discharges of the flood event in August 2005 (90 – 165 m³/s) illustrates the uncertainties related to the estimation of extreme peak discharges in torrents. To improve the estimation of the peak discharge, the VAW built a physical hydraulic model. With the realization of a SIMK–calibration, the estimation of the peak discharges for future flood events could get more accurate.

Keywords: Hydrometry, torrent, discharge measurement, peak discharge.

¹ Sektionschef-Stv., Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Hydrologie, CH-3003 Bern, Schweiz (Tel.: +41-31-3247633; fax: +41-31-3247681; E-Mail: hanspeter.hodel@bafu.admin.ch),

² Hydrologischer Berater, Goldwandstrasse 6, CH-5408 Ennetbaden, Schweiz (Tel.: +41-56-2222603; fax: +41-56-2222670; E-Mail: apetrascheck@bluewin.ch),

EINFÜHRUNG

Das im August 2005 in grossen Teilen der Schweiz aufgetretene Extremhochwasser hat im Kanton Uri zu grossen Überschwemmungen und Schäden (Bezzola & Hegg, 2007 sowie Scherrer, 2006) geführt. Im Rahmen der Analyse solcher Extremereignisse sind Angaben zu den aufgetretenen Spitzenabflüssen von zentraler Bedeutung. Diese sind jedoch bei Wildbächen schwierig zu bestimmen. Die Probleme beginnen bei der Registrierung der Wasserstände, da Messgeräte ausfallen oder sogar Stationen zerstört werden können. Sie werden bei der Messung der Abflüsse noch grösser, da einerseits die Hochwasserereignisse meist von kurzer Dauer sind und es deshalb für die Messequipe schwierig ist, rechtzeitig bei der Messstation zu sein und andererseits die Ausführung grosse Gefahren für die Messcrew und das verwendete Material in sich birgt. Aus diesen Gründen stehen bei Abflussmessstationen kleiner Einzugsgebiete in der Regel keine Abflussmessungen im Scheitelbereich von Hochwasserereignissen zur Verfügung. Die Bestimmung erfolgt in der Regel durch eine Extrapolation der Schlüsselkurven, deren Güte jedoch mangels Messdaten kaum überprüfbar ist.

Am Beispiel der hydrometrischen Messstation Schächen-Bürglen, Galgenwäldli können Einschränkungen und mögliche Verbesserungen bei Pegelstands- und Geschwindigkeitsmessungen sowie bei der Ermittlung der Spitzenabflüsse aufgezeigt werden.

ABMESSSTATION SCHÄCHEN – BÜRGLEN

Bereits 1912 wurde am Schächen der erste Pegel installiert. 1985 wurden die Installationen zur Wasserstands- und Abflussmessung verlegt (beim Galgenwäldli, 42 m bachaufwärts der Schächenbrücke, Abb. 1 u. 2) und eine Pneumatiksonde installiert.



Abb. 1, 2: Abflussmessstation Schächen-Bürglen. Bild links: Blick gegen die Fliessrichtung mit Vorschwelle und Messgerinneeinbau (Pfeil: Profil Pneumatiksonde); Bild rechts: Blick in Fliessrichtung mit Messgerinneeinbau und zur Schächenbrücke, an der die Radarsonde montiert ist (Profil Radarsonde).

Fig. 1, 2: Discharge gauging station Schächen-Bürglen. Photo on the left side: view against the flow direction, the upstream sill and the adapted channel bed (arrow: location of the bubble gauge); photo on the right side: view in the flow direction. At the bridge the radar sensor was mounted (profile: radar gauge).

Im Bereich der Abflussmessstation wurde die Sohle mit widerstandsfähigen Stahlplatten abgedeckt und eine Vorschwelle aus Holz eingebaut. Um auch während Niedrigwasserperioden

eine möglichst exakte Bestimmung der Abflüsse zu garantieren, wurde ein rechteckiges Niedrigwasserprofil eingebaut. Oberhalb der Messstelle weist der Schächen eine natürliche Sohle auf. Unterhalb des Einbaus ist die Sohle gepflästert (Schächenschale), ein Überfall bildet den Übergang.

Die Böschungen sind gepflästert und weisen hohe Neigungen auf. Das linke Ufer ist im oberen Teil bewaldet, während am rechten Ufer eine senkrechte Betonmauer die Böschung nach oben abschliesst.



Abb. 3, 4: Abflussmessstation Schächen-Bürglen mit dem Pneumatikmessprofil und der Vorschwelle bei Niedrigwasserabfluss (Bild links) und bei einem kleineren Hochwasser (Bild rechts).

Fig. 3, 4: Discharge gauging station Schächen-Bürglen with the bubble gauge cross section and the first sill during low water (photo on the left side) and during a lower flood event (photo on the right side).

Bei grösseren Hochwasserereignissen tritt im Profil der Pneumatiksonde ein Fliesswechsel auf; die Folge ist eine inhomogene Aufzeichnung der Wasserstände (Abb. 5). Demgegenüber weist der Schächen unterhalb des Überfalls günstigere hydraulische Bedingungen auf. Da sich in dieser Schussrinne mit glatt gepflästeter Sohle ausschliesslich schiessende Abflüsse einstellen, tritt beim Anstieg der Hochwasserganglinien kein Fliesswechsel auf. Um in Zukunft für die Aufzeichnung der Wasserstandsganglinien hydraulisch bedingte Inhomogenitäten zu verhindern, wurde 2004 unterhalb des Überfalls (Montage an der Hauptstrassenbrücke) zusätzlich eine Radarsonde installiert. Diese Sonde garantiert für den Hochwasserfall Wasserstandsaufzeichnungen ohne Fliesswechsel. Verglichen mit dem Messprofil der Pneumatiksonde weist das Radarprofil jedoch deutlich höhere Fließgeschwindigkeiten und kleinere Wassertiefen auf.

In Abbildung 5 ist die im Profil der Pneumatiksonde aufgezeichnete Ganglinie eines kleineren Hochwasserereignisses dargestellt. In der Aufzeichnung ist der Fliesswechsel, der bei einem Wasserstand von zirka 486.4 m.ü.M. auftritt, gut ersichtlich. In Abbildung 6 ist die im Profil der Radarsonde aufgezeichnete Ganglinie des Jahrhunderthochwassers vom August 2005 dargestellt. Die Schwankungen im Scheitelbereich stammen gemäss den Untersuchungen von G. R. Bezzola von den Entleerungen des bachaufwärts gelegenen Geschiebesammlers „Stiglisbrücke“ (Bezzola, 2008). Der Vergleich der beiden Abbildungen zeigt, dass sich das Profil mit der Radarsonde besser für die Aufzeichnung von Hochwasserganglinien eignet.

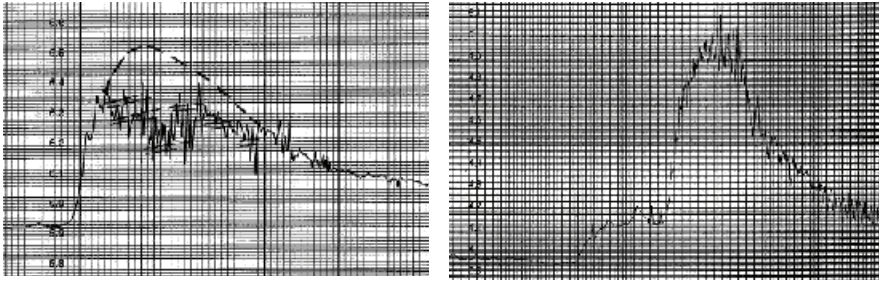


Abb. 5, 6: Wasserstandsganglinien: Bild links: Messprofil Pneumatiksonde, Fließwechsel im Anstieg der Hochwasserganglinie, gestrichelte Linie: vermutete Wasserstände ohne Fließwechsel, Bild rechts: Messprofil Radar, kein Fließwechsel.

Fig. 5, 6: Stage hydrograph: Left figure: bubble gauge cross section, hydraulic jump in the rise of the flood hydrograph, dotted line: estimated levels without hydraulic jump, right figure: radar gauge cross section, no hydraulic jump.

PROBLEME BEI DER MESSUNG UND REGISTRIERUNG DER WASSERSTÄNDE

Wurden Pegelstationen an zu tief gelegenen Standorten oder zu nahe am Fliessgewässer errichtet, wurden bei den grossen Hochwassern der Jahre 1987, 1993, 1999 und 2000 einige Abfluss- und Wasserstandsstationen zerstört oder massiv beschädigt. Weitere Probleme ergaben sich durch den Ausfall der Geräte und Registriereinrichtungen sowie das Überschreiten der Messbereiche. Dadurch fehlen oft die Informationen, wenn sie am dringendsten gebraucht werden. Beim BAFU läuft zurzeit ein Projekt zur Erhöhung der Redundanz der Messstationen. Ziel ist es, dass bei allen wichtigen Abfluss- und Pegelstandsstationen redundante Installationen bei der Messung, Registrierung und Übermittlung der Messwerte existieren.

Die Messstation in Bürglen war glücklicherweise bereits vor dem Hochwasser im August 2005 mit einer redundanten Wasserstandsmessung ausgerüstet. Die Gerätewahl fiel auf einen Radar, der ausserhalb des Wasserkörpers montiert wird (keine Zerstörungsgefahr durch Treibholz, kein Verstopfen wie bei Pneumatiksonden) und mit einem vertretbaren Aufwand an der bestehenden Brücke montiert werden konnte.

Infolge der hohen Geschiebe- und Feststofffrachten (Bezzola, 2008) wurde die Düse der Pneumatiksonde während des Hochwassers vom 25. August 2005 verstopft. Dies führte bei der Pneumatiksonde zu einem totalen Ausfall der Wasserstandsmessung; die Hochwasserganglinie konnte jedoch dank dem Radar erfasst und registriert werden.

PROBLEME BEI DER MESSUNG DER HOCHWASSERABFLÜSSE IN WILDBÄCHEN

Die Durchführung von Abflussmessungen bei Hochwasserabflüssen in Wildbächen ist wegen der auftretenden hohen Geschwindigkeiten und der mitgeführten Feststoffe (Holz, Geschiebe, Schwebstoffe) schwierig.

Werden mit den Seilkrananlagen Abflussmessungen während Hochwasserereignissen durchgeführt, bewirken hohe Fliessgeschwindigkeiten und grosse Wassertiefen eine enorme Auslenkung des Seils, an dem das Gewicht und der Flügel montiert sind (Abb. 8, grosser Abtriftwinkel). Da die Länge des abgerollten Seils für die Bestimmung der Wassertiefen in den Vertikalen verwendet wird, bewirken grosse Abtriftwinkel ungenaue Messungen der Wassertiefe.



Abb. 7, 8: Abflussmessungen mit Seilkrananlagen bei Hochwasser: Linkes Bild: Flügel nicht eingetaucht, rechtes Bild: Flügel eingetaucht: grosse Auslenkung des Seils (siehe rot-weisser Sichtbalg), Folge: ungenaue Wassertiefenmessung.

Fig. 7, 8: Discharge measurements with cableways at floods: photo on the left side: current meter in the air, photo on the right side: current meter in the water, big drift of the sounding line (look the red-white marker), consequence: inaccurate sounding.

Werden bei Hochwasserereignissen die Flügelmessungen mittels Stangen ausgeführt, besteht die Gefahr, dass die Stangen verbogen werden. Bild 9 zeigt den Messsteg für die Flügelmessungen über den Grosstalbach in Isenthal. Bei solchen Extremereignissen Abflussmessungen durchzuführen birgt grosse Gefahren in sich. Nur wenige Minuten nach dieser Aufnahme wurde der gesamte Messsteg weggerissen.



Abb. 9: Hochwasserführenden Wildbach (Grosstalbach in Isenthal), kurz bevor die Wasserfluten den Messsteg zerstören (Bild: Walter Aschwanden, Isenthal).

Fig. 9: Torrent with flood flow (Grosstalbach in Isenthal), just before the flood discharges destroyed the measuring gangway (photo: Walter Aschwanden, Isenthal).

Einzig mittels Tracermessungen mit Fluoreszenzfarbstoffen (Hodel & Stoller, 2000) könnten solche Extremabflüsse gemessen werden, doch bilden die Eingabe des Tracers, die Entnahme der Wasserproben sowie die Befestigung der Sonden Gefahren für die Messequipe. Aus diesen Gründen stehen bei Abflussmessstationen kleiner alpiner Einzugsgebiete in der Regel keine Abflussmessungen im Scheitelbereich von Hochwasserereignissen zur Verfügung.

PROJEKTE ZUR VERBESSERUNG DER ABSCHÄTZUNG DER HOCHWASSERSCHEITELWERTE

Die Extrapolation der Fliessgeschwindigkeiten zur Schätzung von Scheitelwerten birgt Unsicherheiten in sich (Hodel & Lehmann, 2004). Deshalb wurde in Bürglen seit dem Sommer 2006 zusätzlich ein Oberflächengeschwindigkeitsradar (Messbereich: bis 4 m/s, Messunsicherheit: $\pm 20\%$, Angaben des Herstellers) montiert. Dadurch kann einerseits die Qualität der Hochwasserabschätzung mit dem Strickler-Verfahren (Spreafico et al, 2001) verbessert und andererseits das SIMK[®]-Simulationsverfahren angewendet werden.

Da in der Schussrinne des Schächens jedoch Fliessgeschwindigkeiten von bis zu 8 m/s auftreten können, vermag der installierte Oberflächengeschwindigkeitsradar die maximalen Oberflächengeschwindigkeiten nicht exakt zu erfassen. Es ist vorgesehen, dass in diesem Jahr ein Horizontal-Radargerät eines anderen Herstellers installiert wird, das hoffentlich höhere Fliessgeschwindigkeiten zu erfassen vermag.

Zur Verbesserung der Datengrundlage wurde einerseits die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW) der ETH Zürich mit dem Bau eines hydraulischen Modells beauftragt, so dass das Hochwasserereignis vom August 2005 im Labor simuliert werden konnte. Andererseits wurde eine Hochwasserkalibrierung mit dem SIMK[®]-Verfahren durch das Ingenieurbüro ISAR CONSULT GmbH, Geretsried, Deutschland, durchgeführt.

HYDRAULISCHER MODELLVERSUCH DER VAW

Das physikalische Modell der Messstation Schächen-Bürglen wurde in einer Flussbaurinne als idealisiertes Halbmodell im Massstab 1:15 erstellt. Zur Kalibrierung standen die Abflussmessungen des BAFU ($Q_{\max} = 24.5 \text{ m}^3/\text{s}$) und 5 Querprofile zur Verfügung. Die Krümmung des Bachlaufes konnte nicht berücksichtigt werden. Die Sohl- und Wandrauigkeiten der Schale werden entsprechend der hydraulischen Modellgesetze skaliert. Stromauf der Messstelle wird die in der Natur vorhandene bewegliche Sohle nachgebildet. Die Wasserspiegellagen wurden durch Ultraschallsonden erfasst. Um Ungenauigkeiten infolge unruhiger Wasseroberflächen zu minimieren, wurden auch videometrische Aufnahmen durchgeführt. Die Strömungszustände im Bereich der beiden Messprofile wurden zuerst unter Klarwasserbedingungen hydraulisch analysiert, anschliessend mit Sedimenttransport (bis $Q = 120 \text{ m}^3/\text{s}$), wobei zur Modellierung des Sedimenttransportes die Sieblinie des Naturmaterials berücksichtigt wurde. Die Modellversuche bei Klarwasser zeigen, dass sich bei Abflüssen bis zu $30 \text{ m}^3/\text{s}$ ein Wechselsprung nach dem Absturz über die Vorschwelle ausbildet. Bei höheren Abflüssen wird der Wassersprung ausgeblasen und es tritt ein ondulierender Wechselsprung (stehende Welle) auf, der die Pegelstandsmessung beeinflusst (siehe auch Abb. 5, rechtes Bild) und bachabwärts in der Wildbachschale Stosswellen verursacht.

Werden die Versuche mit Geschiebetrieb ausgeführt, lagert sich unter dem Wellenberg der sich einstellenden stehenden Welle Geschiebe ab. Dies verfälscht die Abflussbestimmung im Profil der Pneumatiksonde massiv. In Abbildung 10 ist der Vergleich der Abflusstiefen der Pegelschlüsselkurve (obere Kurve) mit den Werten aus den Modellversuchen mit Geschiebetrieb dargestellt.

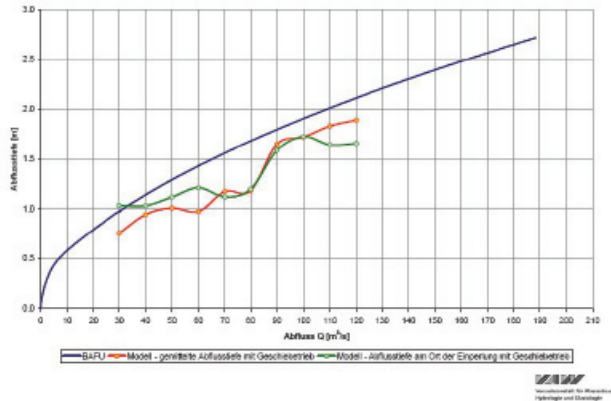


Abb. 10: Profil Pneumatiksonde: Vergleich der Pegelschlüsselkurve (obere Kurve) mit denjenigen aus dem hydraulischen Modellversuch mit Geschiebetrieb (VAW, 2007).

Fig. 10: Profile bubble gauge: comparison of the rating curve (upper curve) with the results from the hydraulic model with bed load transport (VAW, 2007).

Demgegenüber kann die Pegelstandsmessung im Profil des Radars als die verlässlichere Messinstallation für die Registrierung der Hochwasserabflüsse betrachtet werden, denn die Modellversuche der VAW ergaben für das Profil mit der Radarmessung keine Ablagerungen. Einzig bei Abflüssen zwischen 80 und 100 m³/s resultieren grössere Differenzen zur gültigen Pegelschlüsselkurve infolge der Stosswellen (Abb. 11).

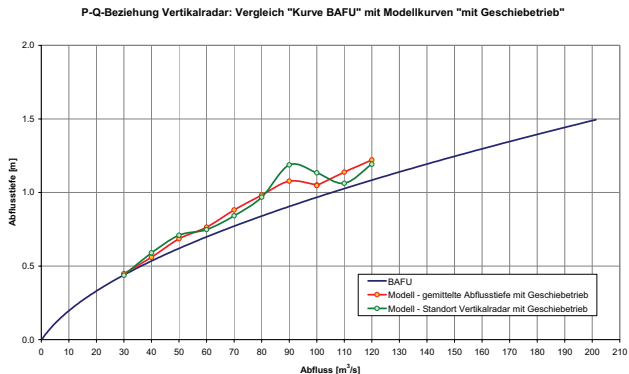


Abb. 11: Profil Radarsonde: Vergleich der Pegelschlüsselkurve (untere Kurve) mit denjenigen aus dem hydraulischen Modellversuch mit Geschiebetrieb (VAW, 2007).

Fig. 11: Profile radar gauge: comparison of the rating curve (lower curve) with the results from the hydraulic model with bed load transport (VAW, 2007).

SIMK[®]-KALIBRIERVERFAHREN

Das SIMK[®]-Verfahren der ISAR CONSULT GmbH (Kölling, 2004) ist ein Verfahren zur wasserstands- und profilabhängigen Kalibrierung von Abflussmessstationen und basiert auf der Kontinuitätsgleichung und der numerischen Simulation der profil- und wasserstandsabhängigen dimensionslosen Geschwindigkeitsverhältnisse $k = v_m/v_i$ (mit Hilfe eines hoch auflösenden Finite-Element-Strömungsmodells (Kölling 1994), v_i : Gemessene lokale Fließgeschwindigkeit an einer bekannten Position des Querprofils).

Zur Durchführung einer SIMK[®]-Kalibrierung werden die Erfassung der Geschwindigkeit in einem Punkt des Querschnitts (Ultraschall oder Horizontalradar) sowie Querprofile, Fotos (Festlegung der k -Werte), Angaben zum kalibrierenden Wasserstands-/Abflussbereich und Angaben zur Position und Ausrichtung der lokalen Geschwindigkeitsmessung benötigt.

Als wichtigste Vorteile dieses Verfahrens werden vom Entwickler die universelle Anwendbarkeit auf Fluss- und Kanalquerschnitte beliebiger Form und Größe sowie systematische wasserstandsabhängige Kalibrierungen bis in den extremen Hochwasserbereich angegeben.

Als grösster Vorteil der SIMK[®]-Kalibrierung kann die direkte Bestimmung von extremen Abflussspitzen mittels Verwendung der berechneten $K_i(h)$ -Faktoren und der erfassten Fließgeschwindigkeit in einem Punkt des Querprofils betrachtet werden.

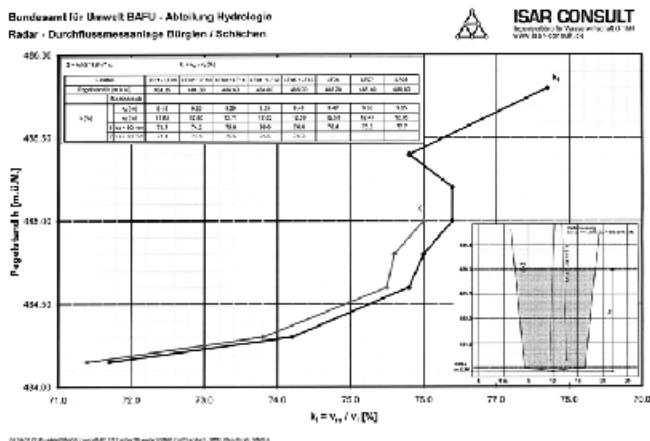


Abb. 11: Diagramm mit den SIMK[®]-Kalibrierfunktionen $K_i(h)$ (Kölling, 2007).

Fig. 11: Diagram with the SIMK[®]-calibration relations $K_i(h)$ (Kölling, 2007).

Da der Oberflächengeschwindigkeitsradar erst im Sommer 2006 installiert wurde, kann mit dem SIMK[®]-Verfahren für das Hochwasserereignis im August 2005 der Scheitelwert nicht direkt ermittelt werden.

Doch der hydraulische Modellversuch liefert die für die SIMK[®]-Kalibrierung fehlende Oberflächengeschwindigkeit während der Hochwasserspitze. Die Messung der VAW mit einem Anemometer (Typ Mini Air, Genauigkeit: ± 2 % des Messwertes) ergab eine Oberflächengeschwindigkeit von 6.4 m/s. Multipliziert mit der Querschnittsfläche (18.4 m^2) und dem SIMK[®]-Skalierungsfaktor k_i von 76.4 % resultiert mit diesem Verfahren ein Scheitelabfluss des Schächens von $90 \text{ m}^3/\text{s}$.

Doch noch bleibt bei dieser Hochwasserberechnung ein grosses Fragezeichen, denn gibt es ein Messgerät, das hohe Fliessgeschwindigkeiten bei starker Schwebstoff- und Geschiebeführung exakt zu erfassen vermag?

RESULTATSVERGLEICH – SCHÄTZUNG DER ABFLUSSSPITZE DES SCHÄCHEN-HOCHWASSERS AUGUST 05

Die grosse Spannweite der verschiedenen Ergebnisse gibt einen Eindruck über das Ausmass der Unsicherheiten bei der Abschätzung von extremen Hochwasserspitzen in Wildbächen.

Art der Berechnung / Abschätzung	Hochwasserspitze [m ³ /s]
HQ-Spitze aus „Extrapolation der P/Q-Kurve mittels Extrapolation der Fliessgeschwindigkeiten“ (Profil Radar)	124 (109 – 139, ± 12%)
HQ-Spitze mittels Extrapolation mit dem Strickler-Verfahren (Verwendung k-Wert, Profil Radar)	165 (145 – 185, ± 12%)
HQ-Spitze aus hydraulischem Modellversuch	120 - 130 (115 – 135, ± 8%)
HQ-Spitze aus SIMK [®] -Kalibrierverfahren	90 (83 – 97, ± 8%)

Tab. 1: Vergleich der mit verschiedenen Methoden extrapolierten Scheitelabflüsse des Schächens mit den aus den hydraulischen Modellversuchen ermittelten Werten (rechte Kolonne, in Klammern: geschätzte Vertrauensintervalle).

Tab. 1: Comparison of peak discharges of the Schächens determined by different extrapolation methods and with the physical hydraulic model (right column, in brackets: estimated confidence bands).

FAZIT

Um die Datenbasis für extreme Hochwasserabflüsse zu verbessern sind zwei Aspekte wichtig:

- Zusatzinstallationen redundanter Mess-, Speicher- und Übermittlungsinstallationen um auswertbare Messdaten unter den extremen Beanspruchungen des Hochwassers zu erhalten.
- Auswahl geeigneter Messprofile ohne hydraulische Instabilitäten. Dies kann zur Notwendigkeit getrennter Messprofile für Niedrig- und Hochwasser führen.

LITERATUR

Bezzola, G. R., Hegg, C. (ed., 2007): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Umwelt-Wissen Nr. 0707, 215 S.

Bezzola, G.-R. (2008): Unerwartete Prozesse in einem Geschiebesammler – Der Geschiebesammler „Stiglisbrücke“ am Schächens während des Hochwassers von August 2005, Internationales Symposium Interpreavent 2008, Dornbirn, Tagungspublikation.

Hodel, H.-P., Stoller, F. (2000): Messkampagne mit den Lichtleiter-Fluorometern LLF-1 und LLF-M – Feldmessungen, Erfahrungen, Ausblick und offene Fragen, Technischer Bericht des Bundesamtes für Wasser und Geologie BWG, Bern, 49 S.

- Hodel, H.-P., Lehmann, Chr. (2000): Mittlere Fließgeschwindigkeiten in Wildbächen und Gebirgsflüssen – welche Maximalwerte sind realistisch?, Internationales Symposium In-terpraevent 2000, Villach, Tagungspublikation, Band 3, S. 155 – 165.
- Kölling, C. (1994): Finite-Element-Simulation der Geschwindigkeitsverteilung in Kanälen und teilgefüllten Rohrleitungen. Lehrstuhl für Hydraulik und Gewässerkunde der TU München, Heft 60.
- Kölling, C. (2007): SIMK[®]-Hochwasserkalibrierung der Radar-Durchflussmessstelle Bürglen / Schächen. Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt, Schlussbericht, Geretsried, 37 S.
- Kölling, C. (2004): SIMK[®]-Kalibrierung von Durchflussmessstellen in Flüssen und Kanälen, Internationales Seminar „Neue Entwicklungen in der Durchflussmessung in natürlichen und künstlichen gerinnen, Hydraulik-Lehrstuhl der TU München in Zusammenarbeit mit dem Ruhrverband Essen und der ATV – DVWK, München, 31 S.
- Scherrer, S. (2006): Hochwasserschutz Uner Talboden, Hydrologische Grundlagen. Bericht Scherrer AG: 05/66, Auftraggeber: Amt für Tiefbau des Kantons Uri.
- Spreafico, M., Hodel, H.-P., Kaspar, H. (2001): Rauheiten in ausgesuchten schweizerischen Fließgewässern, Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 1, Bern, 102 S.
- VAW, (2007): Physikalischer Modellversuch Pegel Bürglen, Technischer Bericht, in Ausarbeitung.

TWO LARGE LANDSLIDE DAMS AND OUTBURST DISASTERS - IN THE SHINANO RIVER, CENTRAL JAPAN

Kimio Inoue¹, Toshio Mori² and Takahisa Mizuyama³

ABSTRACT

Large landslides or debris flows caused by heavy rainfall or earthquakes often block mountain rivers to form landslide dams. The area upstream of the dam is submerged under water and the downstream area is flooded when the landslide dam breaks. As many as 19 landslide dams have formed in the last 500 years in the northern region of Nagano Prefecture in central Japan, and all except two have broken. Seven were formed when the Zenkoji Earthquake occurred in 1847. This abundance of landslide dams is probably caused by the geotectonic background of this area, which is located at the western end of a major tectonic line called “Fossa Magna.”

A large landslide dam formed in the upstream area of the Shinano River about 250 years ago, while another large landslide dam in the midstream area 160 years ago. The Tobata landslide occurred on June 24, 1757 because of heavy rain. And the Mt. Iwakura landslide occurred on May 8, 1847 because of the Zenkoji Earthquake. Detailed information on the formation and subsequent bursting of these landslide dams remains in historical records such as old documents and picture maps.

Keywords: Shinano River, Landslide Dam, Tobata Landslide, Zenkoji Earthquake, Mt. Iwakura Landslide, Old Documents, Picture Maps

INTRODUCTION

Major flooding damage may occur to the downstream area of a river, if a large landslide dam bursts because of the build-up of water behind it. Researchers such as Schuster (1986) and Tabata et al. (2002) have collected data on landslide dams and performed related analyses. As a recent example in Japan, large landslide dams were formed in the Imo River, a tributary of the Shinano River, when the Niigata Prefecture Chuetsu (Mid-Niigata) Earthquake

¹ Sabo Frontier Foundation, Sabo-Kaikan, Hirakawa-cho 2-7-4, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0093, Japan (Tel.: +03-5216-5872; Fax: +81-03-3262-2202; Email: k-i_sanyo@sff.or.jp)

² Sabo Frontier Foundation, Sabo-Kaikan, Hirakawa-cho 2-7-4, Chiyoda-ku, Tokyo 102-0093, Japan

³ Professor, Division of Forest Science, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502, Japan

occurred on October 23, 2004. Various measures were taken to prevent the bursting of these dams.

In a survey of past sediment floods in the downstream areas of rivers and alluvial fans caused by a major collapse or by other sediment yielding in the upstream area, it was found that many of those floods were triggered by the bursting of the landslide dams. However, to date, sediment control plans have focused only on collapse and landslides in the upstream area, ignoring the formation and bursting of landslide dams. To properly elucidate on sediment-related disasters, it is impossible to ignore the formation and bursting phenomena of landslide dams. Intending to make sediment control engineers aware of this fact, the authors are investing past landslide dams based on a variety of literature, picture maps and historical documents. We expect future sediment control plans will consider these phenomena and we believe it will be possible to predict potential locations and scales of landslide dams based on an accumulation of these case studies.

DISRIBUTION OF LANDSLIDE DAMS IN NAGANO PREFECTURE

Table 1 shows a list of landslide dams in this area and Figure 1 shows the distribution of landslide dams in the northern region of Nagano Prefecture, in central Japan. As many as 19 landslide dams have been formed in the last 500 years in this area, and all except two landslide dams have broken. Of this number, seven were formed when the Zenkoji Earthquake occurred in 1847.

Table 1 List of Landslide Dams in Northern Nagano Prefecture (Mori, et al, 2007)

No.	Landslide Dam	Date Formed	Cause	Failure Timing
(1)	Aoki Lake	30,000 years ago	Unknown	Continuing today
(2)	Kashima River	1441	Heavy Rain	3 days later
(3)	Mt. Manaita	1502?	Essa Earthquake	Unknown
(4)	Mt. Shimizu	1502?	Essa Earthquake	Unknown
(5)	Tobata Landslide	1757	Heavy Rain	54 hours later
(6)	Mt. Iwakura	1847	Zenkoji Earthquake	19 days later
(7)	Kiriake	1847	Zenkoji Earthquake	Gradually failed
(8)	Mt. Amamizu	1847	Zenkoji Earthquake	A few days later
(9)	Yanakubo Lake	1847	Zenkoji Earthquake	Continuing today
(10)	Ikari	1847	Zenkoji Earthquake	16 days later
(11)	Somuro	1847	Zenkoji Earthquake	Gradually failed
(12)	Oyasawa	1847	Zenkoji Earthquake	Unknown
(13)	Garagara Sawa	1891	Heavy Rain	Gradually failed
(14)	Mt. Hieda	1911	Heavy Rain	3 days later
(15)	Lake Taisho	1915	Eruption	Continuing today
(16)	Mt. Kazahari	1939	Snowmelting Flood	Gradually failed
(17)	Mt. Akahage	1967	Snowmelting Flood	101 days later
(18)	Mt. Kozuchi	1971	Heavy Rain	Gradually failed
(19)	Susobana River	1997	Snowmelting Flood	Did not fail due to countermeasures

This abundance of landslide dams is probably caused by the geotectonic background of the area which is located at the western end of the Fossa Magna, Japan's central graben belt (Geological Survey of Japan, 1995). The Shinano River, which is the longest river in Japan,

LANDSLIDE DAM FORMED IN 1757

In the Azusa River, three dams – the Nagawado, Midono, and Inekoki Dams – were completed in 1969 by a power generation company and have since been producing hydropower. The Nagawado Dam is an arch dam, 155 meters high, and Lake Azusa with a total storage capacity of 123 millions cubic meters is the dam lake. Figure 2 shows the location of the Nagawado Dam and Tobata Landslide in the upstream section of the Azusa River. This area belongs to the Mino Terrane of the Jurassic Period. The geology in this area consists of an alternation of chert and sandstone/mudstone, and has a strike roughly in the northeast-southwest direction (Otsuka & Nemoto, 2003). Also, a few faults lie in the same direction, together with fractured zones with a width ranging from several tens of centimeters to several meters.

Photo 1 shows the Tobata Landslide before the impounding of Lake Azusa. Figure 3 shows the longitudinal section of the Azusa River in the upstream area of the Shinano River and the location of the Tobata Landslide and the hydropower dam reservoirs.

In the early morning of June 24, 1757, a landslide occurred on the left bank of the Azusa River because of torrential downpours in the rainy season (the estimated sediment movement was 10 million cubic meters). A large landslide dam formed in the river. From historical records, old topographical maps and aerial photos, it is estimated that the water height reached 150 meters and the water volume reached 98 million cubic meters.



Fig2: Nagawado Dam and Tobata Landslide upstream in the Azusa River

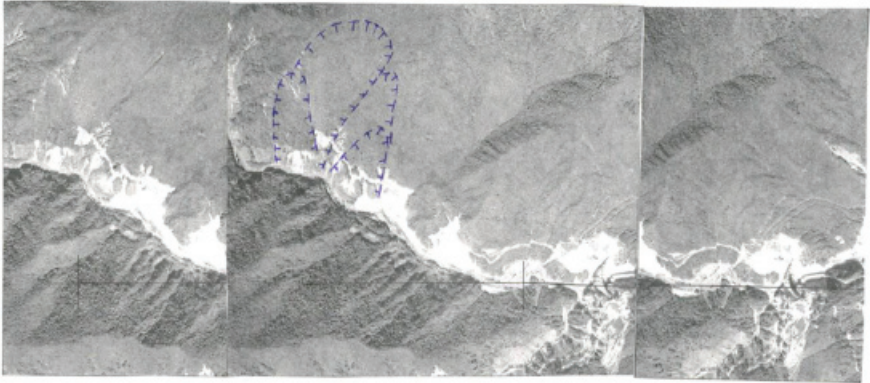


Photo 1: Tobata Landslide before impounding of Lake Azusa (Photographed on Sept. 20, 1968)

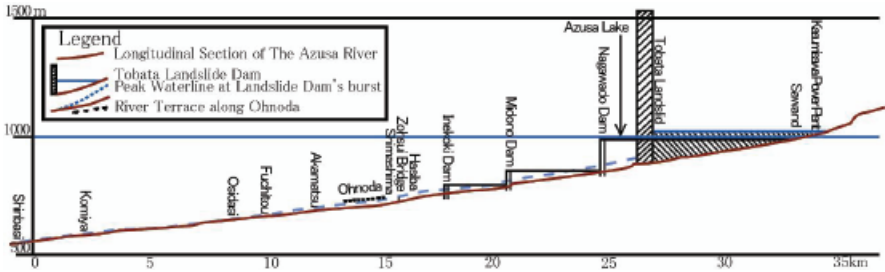


Fig3: Longitudinal section of the Azusa River and Location of Tobata Landslide and the hydropower dam reservoirs

Around 10 a.m. on the third day (54 hours after the landslide), the landslide dam burst and its water flooded the Matsumoto-Daira, an alluvial fan, up to the confluence with the Narai River in the upstream area of the Shinano River. The Zousui Bridge (which was 14.4 meters above the water and had a length of 34.2 meters), was located 12 kilometers downstream. Since it was washed away by the flood, it is estimated that the flood height of the peak flow was 20 meters. According to calculations using Manning's formula, it is estimated that the flood water ran down the river in a concentrated path with a velocity of 12 m/s and a peak flow of 27,000 m³/s. When the dam burst, local people were quickly ordered to evacuate and no casualties occurred during this flood. The lords ruling the areas (the Matsumoto feudal clans) at the time and local people collaborated together to watch, report on and quickly evacuate the site. Although houses and arable land were washed away, casualties were few because people quickly evacuated to a safe place.

LANDSLIDE DAM FORMED IN 1847

The Zenkoji Earthquake occurred on May 8, 1847 and had a magnitude of 7.4 on the Richter scale. As shown in Figure 1 and 4, large landslides and collapses occurred in various locations in the area, forming several landslide dams.

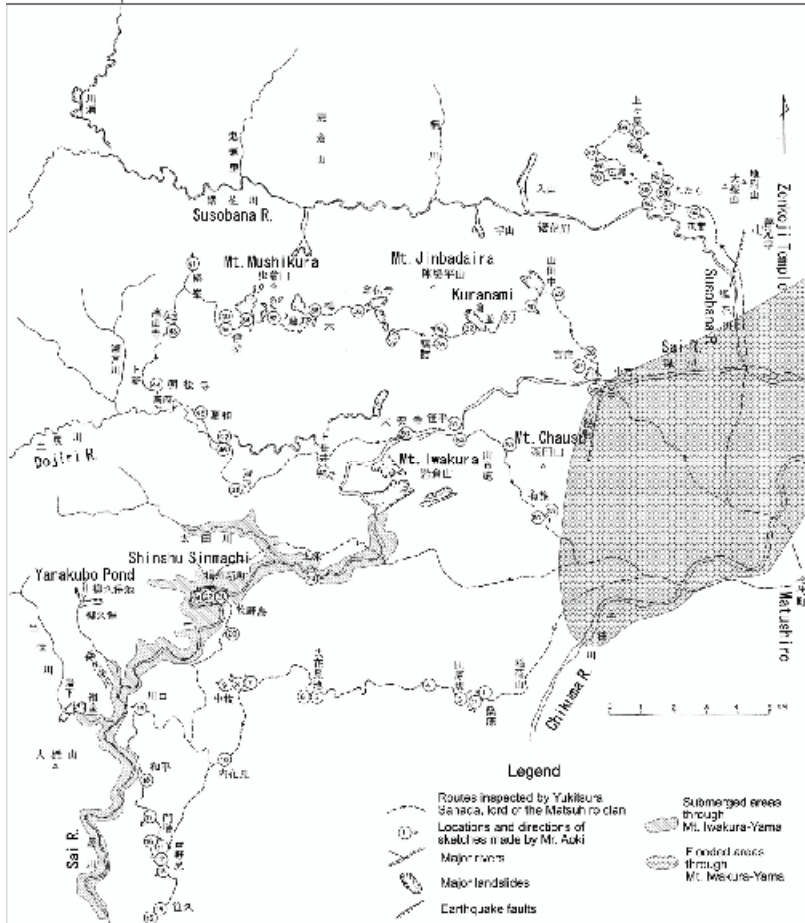


Fig4: Mt. Iwakura landslide dam, outburst flood area and sketch points of painter Sekkei Aoki (Zenkoji Earthquake Disaster Study Group, 1994)

This area consists of the Neogene formation, which is prone to landslides and collapses, and landslide dams form easily there, just like the area hit by the Niigata Prefecture Chuetsu (Mid-Niigata) Earthquake on October 24, 2004. Table 1 and Figure 1 show the locations of

seven landslide dams that were formed by this earthquake.

Because of the Zenkoji Earthquake, the largest landslide (with an estimated sediment movement of 20 million cubic meters) occurred at Mt. Iwakura in the midstream section of the Shinano River (the Sai River), and a large landslide dam was formed when the river was blocked. Although the river blockage height was 70 meters, the water volume built up to as much as 300 million cubic meters, making it the largest landslide dam ever recorded in Japan. Figure 4 shows the Mt. Iwakura landslide dam and the outburst flood area.

The water level reached its maximum 16 days after the landslide because of an abundant water supply from melted snow (the average flow rate was $254 \text{ m}^3/\text{s}$). The water gradually began to overflow from the top of the dam, eroding the 1,000 meter-long debris masses. The landslide dam finally collapsed on the 19-th day. The resulting flood flow, reaching a height of 21 meters and a peak flow of $34,000 \text{ m}^3/\text{s}$, caused serious damage to areas in the downstream section which are presently the sites of Nagano City (Zenkoji-Daira) and Iiyama City in Nagano Prefecture.



Fig5: Large Earthquake Disaster Map three months after the earthquake (Sanada Museum in Nagano City)



Fig6: Mt. Iwakura landslide dam sketched by Sekkei Aoki two years after the earthquake (Sanada Museum in Nagano City)



Fig7: Mt. Iwakura landslide dam mapped by the Matsushiro Clan five years after the earthquake (Kyoto University Museum in Kyoto City)

CONCLUSION

Our report introduced the formation and bursting of two landslide dams and the resulting flooding using vivid depictions in the aforementioned maps and drawings. Historical records on landslide dams and their associated floods will be further studied and documented. The authors are currently simulating the bursting phenomena of landslide dams. We are also Proceeding to study risk management in relation to these phenomena. This information is taken into account when disaster prevention plans or warning and evacuation systems are made in each area.

REFERENCES

(* in English, ** in Japanese with English abstract , *** in Japanese)

- Akahane S. & Harada K. (2003) 1.1 Zenkoji Earthquake, National Museum of Japanese History: Documenting Disaster, Natural Disaster in Japanese History, 1703–2003, p25–34. * *
- Azumi Museum of Matsumoto City (2006) Landslide in Tobata and Flood Disaster by Outburst of landslide dam in the Edo period, p.58. * * *
- Geological Survey of Japan (1995) Strip Map of the Itoigawa-Shizuoka Tectonic Line Active Fault System, 1:100,000. * *
- Mizuyama T., Tabata S., Mori T., Watanabe F. & Inoue K. (2004) Outburst of Landslides Dams and Their Prevention, Internationales Symposium, INTERPRAEVENT 2004-RIVA/TRIENT, IV, 221–229. *
- Mori T., Inoue K., Mizuyama T. & Ueno T. (2007) The Tobata Landslide Dam and Outburst Floods in the Azusa River in 1757, Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering, 60(3), 25–30. * *
- Nakamura H., Tsuchiya T., Inoue K. & Ishikawa Y. (2000) Earthquake Sabo, Kokon Shoin, p.190. * * *
- Otsuka T. & Nemoto J. (2003) The Landslide dam at Tobata (1757) along the Azusa River, Azumi Village, Nagano Prefectural, central Japan, The Annals of Environmental Science, Shinshu University, 25, 81–89. * * *
- Schusters, R., L. (1986) Landslide Dams: Risk and Mitigation, Geotechnical Special Publication No. 3, American Society of Civil Engineers, p.163. *
- Tabata S., Mizuyama T. & Inoue K. (2002) Landslide Dams and Disasters, Kokon Shoin, p.205. * * *
- Zenkoji Earthquake Disaster Study Group (1994) Zenkoji Earthquake and landslide disaster, p.130. * * *

MODELLVERSUCHE DER RHONE BEI VISP (SCHWEIZ) UNTER BETRACHTUNG MEHRERER WASSERBAULICHER ASPEKTE

MULTI-PURPOSE MODELLING OF THE RHONE RIVER IN THE REGION OF VISP (SWITZERLAND)

Jolanda Jenzer¹, Sabrina Carvalho Pereira², Matteo Federspiel³ und Jean-Louis Boillat⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen der Dritten Rhonekorrektur wurde ein 2.3 km langer Flussabschnitt der Rhone bei Visp in einem physikalischen Modell nachgebildet. Die Komplexität des Flussabschnitts ergibt sich hauptsächlich durch die Neugestaltung der Vispamündung in die Rhone, das Streichwehr für die Hochwasserentlastung und die grossräumige Aufweitung des Flussbettes im Bereich Baltschieder. Die Hauptziele der Studie waren der Hochwasserschutz sowie eine Optimierung des Abschnittes bezüglich Umwelt, Landschaft und sozio-ökonomischen Aspekten. Hierzu wurden auf einer beweglichen Sohle Modellversuche mit Hochwasser-ganglinien und Sedimentzufuhr durchgeführt. In der Aufweitung entstanden alternierende Sandbänke, und die projektierten Leitbauwerke bewährten sich für die Flussdynamik und die Ufererosion. Der Seitenüberfall konnte bezüglich der Hochwasserentlastung optimiert werden.

Keywords: Hochwasserschutz, Restrisikomanagement, Streichwehr, Flussmorphologie, Ufererosion, Vegetation

ABSTRACT

In the framework of the third correction of the Rhone River upstream from Lake Geneva a 2.3 km long river reach has been reproduced in a physical model. The complexity of the river section arises from the new design of the confluence of the Vispa and the Rhone River, the side weir equipped with tilting elements for controlled flood protection and the river widening in the area of Baltschieder. The main objectives of this project concern the flood protection as well as environmental, landscape and socio-economical improvements. Flood events were reproduced according to observed hydrographs in the Rhone and Vispa Rivers. Experimental tests were conducted with a movable bed. In the widened area alternate bars were formed. The river bank protection against erosion using three dimensional downstream directed groins have been approved. The side weir has been optimized for flood protection.

Keywords: flood protection, residual risk, side weir, bed morphology, bank erosion, vegetation

¹ Research associate, Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), EPFL-ENAC-ICARE-LCH, Bâtiment GC, Station 18, 1015 Lausanne, Switzerland

(Tel.: +41-21-693'23'85, Fax: +41-21-693'22'64; email: jolanda.jenzer@epfl.ch; web: <http://lchwww.epfl.ch>)

² Civil Engineer, Master of Advanced Studies EPF in Hydraulic Engineering, spereira@vogbr.com.br

³ Research associate, LCH-EPFL (email: matteo.federspiel@epfl.ch)

⁴ Senior research associate, LCH-EPFL (email: jean-louis.boillat@epfl.ch)

EINLEITUNG

Im Rahmen der Dritten Rhonekorrektur des Flussabschnitts oberhalb des Genfersees erhielt das Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH) der Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) den Auftrag, mögliche Hochwasserschutzmassnahmen für einen Teilabschnitt der Rhone in physikalischen Modellversuchen zu prüfen.

Die Gesamtlänge des nachgebildeten Abschnitts der Rhone beträgt ca. 2.3 km, was mit einem Modellmassstab von 1:50 im Modell einer Länge von 50 m entspricht. Der Abschnitt reicht von der Vispamündung (km 109.200) bis zur heutigen Schwelle Giblält (km 106.900). Auf der rechten Flussseite mündet ein weiterer Zufluss, der Baltschiederbach, in die Rhone (Abb. 1 und 2).

Die Ziele dieser Untersuchungen bestanden zum einen in der Ausarbeitung notwendiger Massnahmen für den Hochwasserschutz im genannten Abschnitt. Zum anderen galt es, Lösungsvorschläge zu erarbeiten, die den wesentlichen Vorgaben der Dritten Rhonekorrektur (Sicherheit, Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft) nachkamen.



Abb. 1: Luftbild des gewählten Modellperimeters für den Rhoneabschnitt bei Visp

Fig. 1: Aerial view of the models perimeter of the Rhone River section at Visp



Abb. 2: Blick flussabwärts von der Vispamündung in den oberen Teil des Projektabschnitts

Fig. 2: Downstream view from the confluence of the Vispa River into the upper model section

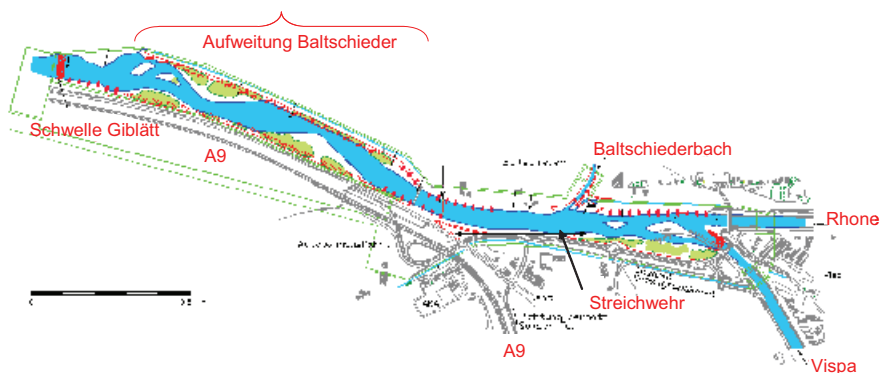


Abb. 3: Grenzen des physikalischen Modells der Rhone bei Visp (Modellmassstab 1:50)

Fig. 3: Boundaries of the physical model of the Rhone River at Visp (model scale 1:50)



Abb. 4: Physikalisches Modell im Bau
Fig. 4: Physical model under construction

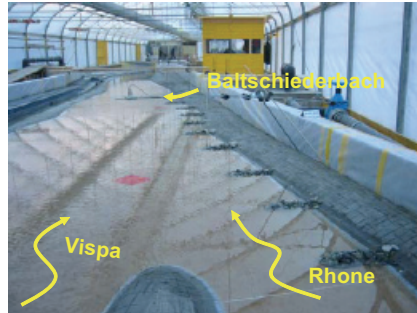


Abb. 5: Physikalisches Modell des projektierten Ausbaus mit Blick flussabwärts
Fig. 5: View downstream on the physical model as preliminarily designed

EXPERIMENTELLES VORGEHEN

Die durchgeführten Modellversuche können in folgende Kategorien eingeteilt werden:

- Flussmorphologie
- Ufererosionsmassnahmen
- Hochwasserschutz
- Restrisikomanagement
- Sedimenthaushalt
- Schwall und Sunk
- Verbesserungen hinsichtlich Umwelt
- Vegetation

Um instationäre Abflussbedingungen zu simulieren, wurden Hochwasserereignisse nach deren beobachteten Ganglinien in Rhone und Vispa modelliert. Die Experimente wurden mit einer beweglichen Sohle und mit einer Sedimentzufuhrmenge je nach Abflussmenge durchgeführt.

Mehrere aufeinander folgende Versuche mit einer sukzessiven Erhöhung der Abflussmengen erlaubten hinsichtlich technischer, qualitativer und quantitativer Parameter eine schrittweise Verbesserung der anfänglichen Flussgestaltung. Die Baukosten für den Hochwasserschutz konnten auf diese Weise ebenfalls optimiert werden.

Im Weiteren wird auf die drei folgenden Aspekte detaillierter eingegangen: Flussmorphologie, Ufererosionsmassnahmen, Hochwasserschutz und Restrisikomanagement, und Vegetation.

RESULTATE DER PHYSIKALISCHEN MODELLVERSUCHE

Flussmorphologie

Die physikalischen Modellierungen boten die Gelegenheit, die morphologische Entwicklung des Flussbettes zu untersuchen, welche sich aufgrund der geplanten Aufweitungen ergab (Abb. 6 und 7). In Abbildung 7 ist eine Flussbetherhöhung sichtbar, welche sich aus zwei Gründen ergeben hat: die Randbedingung am unteren Modellrand entspricht nicht derjenigen, welche den numerischen Berechnungen zu Grunde lagen. Der Unterschied der beiden Randbedingungen ist vor allem bei den kleinen und mittleren Abflüssen (bis $Q_{\text{Rhone}} = 800 \text{ m}^3/\text{s}$) entscheidend. Die Sedimentzufuhr in Abhängigkeit des Abflusses wurde nach dem ersten

Versuch um den Faktor 1.5 vergrößert. Die "korrekte" Sedimentmenge ist nur schwer abzuschätzen.

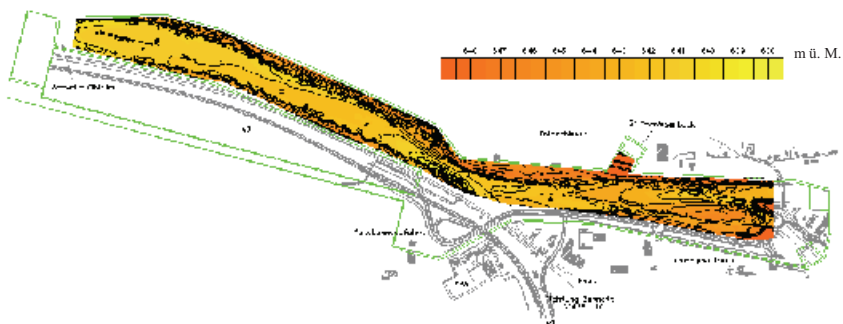


Abb. 6: Morphologische Entwicklung des Flussbettes nach einer Flussaufweitung und nach einem 5-jährlichen Hochwasser. Absolute Skala in m ü. M.

Fig. 6: Morphological development of the river bed after the widening and after a 5-year flood. Absolute scale in m a.s.l.

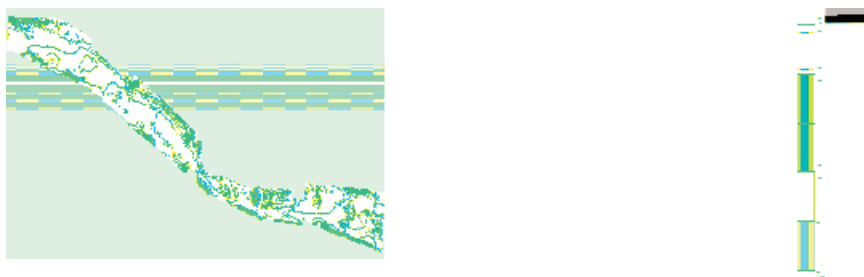


Abb. 7: Morphologische Entwicklung des Flussbettes nach einer Flussaufweitung und nach einem 10-jährlichen Hochwasser im selben Ausschnitt wie in Abbildung 6. Terraintotendifferenzen in Meter im Vergleich zum berechneten Zustand nach errungenem Gleichgewicht nach erfolgter Aufweitung.

Fig. 7: Morphological development of the river bed after widening and after a 10-year flood in the same section as in Fig. 6. Differences of the terrain elevation in meters compared with a numerical long time simulation after the river widening

Die hydraulischen Versuche mit eher geringen Abflussmengen liessen die Entstehung von mehreren Zonen mit hohem Vegetationsentwicklungspotential beobachten, welche durch die Auflandungen zustande gekommen waren. Bei morphogenen Ereignissen mit Abflussmengen in der Größenordnung von 2- bis 5-jährigen Hochwasserereignissen wurde die Entstehung von alternierenden Sandbänken erkennbar (Abb. 8 rechts), welche zu einer Verbesserung der morphologischen Dynamik beitragen. Diese und die bei den Leitbauwerken vorhandenen Zonen mit geringen Fließgeschwindigkeiten bieten die Grundlage für eine günstige Entwicklung der biologischen Vielfalt.

Ufererosion

In den Modellversuchen wurde auch ein grosses Augenmerk auf die Ufererosion gerichtet. In der Aufweitung Baltschieder (Jäggi et al., 2004) wurden dreidimensionale flussabwärtsgerichtete Leitbauwerke eingebaut und deren Einfluss auf die Flussmorphologie und die Ufer untersucht (Abb. 8). Es konnten alternierende Sandbänke beobachtet werden. Die Ufer waren gut geschützt und die Bauwerke wurden kaum angegriffen. Im Verlauf der Modellversuche konnte die Anzahl der Leitbauwerke ohne Schaden nach und nach verringert werden, wodurch nun die Baukosten gesenkt werden können.



Abb. 8: Links: Blick flussaufwärts auf die Leitbauwerke in der Aufweitung Baltschieder. Rechts: Aufweitung Baltschieder nach einem 10-jährigen Hochwasserereignis mit Leitbauwerken als Uferschutz auf beiden Seiten. Dynamische Flussgestaltung mit alternierenden Sandbänken

Fig. 8: Left: Downstream view on the groins in the Baltschieder river widening. Right: Baltschieder widening with groins after a 10-year flood. Dynamic bed morphology with alternate banks

Hochwasserschutz und Restrisikomanagement

Die Ufer der Rhone werden für den reibungslosen Abfluss eines Jahrhunderthochwassers dimensioniert, i.e. die Kapazität der Rhone wird im Abschnitt Visp-Baltschieder auf $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ausgelegt. Sobald diese Zielabflussmenge überschritten wird, wird die zusätzliche Wassermenge punktuell kontrolliert entlastet. In der sauberen Ausführung dieser Entlastung besteht das Restrisikomanagement. Ein Streichwehr ist Bestandteil der technischen Massnahmen. Das seitliche Überströmen erlaubt die Überlast kontrolliert über die Dämme der Rhone in eine eigens dafür vorgesehene Überflutzungszone zu entlasten. Dazu fliesst das Wasser vorerst in einen Autobahnzubringer, welcher im Ereignisfall für den Verkehr gesperrt wird. Diese Strasse unterquert die Brücken der Autobahn und der NEAT und sinkt dazu unterhalb des gewachsenen Terrains. Nach der Gegensteigung liegt in der Autobahnzufahrtsschleife eine Bresche vor, welche das Wasser gezielt auf Landwirtschaftsland führt und von dort, infolge des Umweges mit Verzögerung und erst nach Verstreichen der Hochwasserspitze, zurück in die Rhone. Das Streichwehr ist teilweise fix und teilweise mit Kippelementen versehen, welche bei der Wassermenge eines Jahrhunderthochwassers kippen und eine Bresche freilegen. Die Effizienz dieser technischen Massnahme wurde in den Versuchen getestet und unter den Bedingungen eines Extremhochwasserereignisses optimiert. Im Modellversuch wurden die Kippelemente durch Elemente ersetzt, welche im Falle einer Beaufschlagung (sobald die Wasserhöhe die Oberkante des Elementes erreicht) an einem Faden in die Höhe

gezogen wurden (Abb. 12). Es konnte gezeigt werden, dass die Elemente derart angelegt werden müssen, dass sie von flussabwärts nach flussaufwärts beaufschlagt werden, um in folge einer Staukurve hervorgebrachten Dominoeffekt auf die benachbarten Elemente flussabwärts zu verhindern (Abb. 13). Es wurde beobachtet, dass die Terraintote jenseits des Streichwehres einen wesentlichen Einfluss auf die Effizienz der Entlastung hat. Ohne zusätzliches Abteufen des Terrains wird der Überfall eingestaut, das Wasser fließt teils sofort zurück in die Rhone und das Streichwehr ist nicht funktionstüchtig. Hohes Interesse galt der entlasteten Abflussmenge und den Sedimenttransportbedingungen flussabwärts des Streichwehres. In Funktion der Zeit weist die entlastete Abflussmenge ein hysteresisches Verhalten auf: bei steigendem Rhoneabfluss ist das Verhältnis Rhoneabfluss zu Entlastungsmenge linear, bei sinkendem Abfluss polynomisch, was durch die irreversible Öffnung der Kippelemente erklärt werden kann (Abb. 9). Die Entlastung springt vor Erreichen des Höhepunktes der Jahrhunderthochwasserganglinie an (bei $Q_{\text{Rhone}} = 900 \text{ m}^3/\text{s}$ statt erst bei $Q_{\text{Rhone}} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$) und hält beim Hochwasserrückgang länger an (bis $Q_{\text{Rhone}} = 600 \text{ m}^3/\text{s}$).

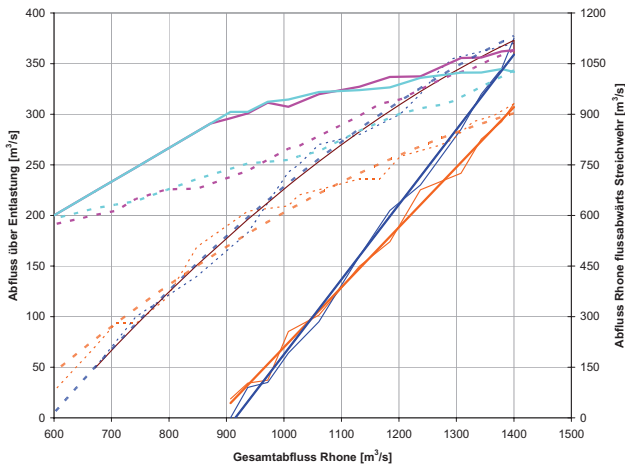


Abb. 9: Hysterese: Bei steigendem Rhoneabfluss ist das Verhältnis Rhoneabfluss zu Entlastungsmenge linear, bei sinkendem Abfluss polynomisch. Orange: Handmessungen der Abflussmengen über Streichwehr, pink: Handmessungen verbleibender Abfluss in der Rhone flussabwärts des Streichwehres, dunkelblau: Messungen der Abflussmengen mittels UVP über Streichwehr, hellblau: Messungen mittels UVP verbleibender Abfluss in der Rhone flussabwärts des Streichwehres

Fig. 9: Hysteresis: When flow is increasing the relationship between the flow in the Rhone River and the overtopped flow is linear, when flow is decreasing, the relationship is polynomial. Orange: measures of deviated discharge effectuated by hand, dark blue: measures of deviated discharge done by UVP, pink: measures of discharge downstream weir effectuated by hand, light blue: measures of discharge downstream weir performed by UVP.

Die entlastete Abflussmenge war im Versuch grösser als in der Projektphase angenommen. In den Modellversuchen mit Ganglinien von Extremhochwassermengen ($\text{EHQ} = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$) wurde beobachtet, dass die Entlastung bereits vor Erreichen der Jahrhunderthochwasserabflussmenge ($\text{HQ}_{100} = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$) ansprang. Dieses Phänomen kann u. a. mit der reduzierten Geschiebetransportkapazität und damit verbundenen Sediment-ablagerungen im Bereich der Entlastung erklärt werden (Rosier, 2007 und Rosier et al., 2007). Zudem kann davon ausgegangen werden, dass die Ganglinien, welche mittels einer Maxwell-Annäherung vereinfacht

und auf ein EQH extrapoliert wurden, die Gesamtwassermenge der beobachteten Hochwasserereignisse wahrscheinlich um ca. 25% überschätzen. Die entlasteten Wassermengen wurden mittels Wasserhöhenmessung vor einem Überfall eruiert. Diese Messungen wurden nicht geeicht, deshalb besteht eine Unsicherheit bezüglich des Überfallkoeffizienten. Die Kippelemente waren im Modell breiter als gemäss Modellmassstab und eckig, während sie für das Bauprojekt mit einer runden Überfallkante geplant wurden. Im Modell wurde die entlastete Wassermenge dementsprechend unterschätzt. Aufgrund des Modelleffekts der Wasseroberflächenspannung wurden im Modell die Kippelemente später entfernt als sie in natura kippen würden. Falls die Kippelemente beim Rückgang des Hochwassers wieder aufgestellt, resp. die Breschen wieder verschlossen werden könnten, könnte das Verhältnis des Abflusses in der Rhone zum entlasteten Abfluss auch beim Hochwasserrückgang linear angenommen werden. Das entlastete Volumen könnte dadurch auf ca. 80 % reduziert werden (Abb. 10).

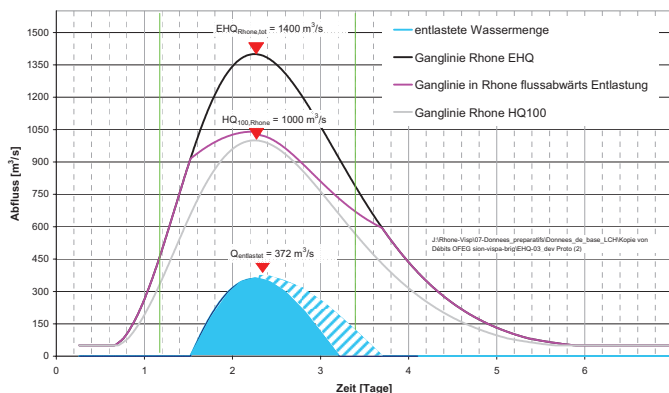


Abb. 10: Ganglinien des EQH und HQ100 in der Rhone, blau: entlastete Wassermenge bei EQH, blau/weiss schraffiert: entlastete Menge falls Kippelemente beim Hochwasserrückgang wieder aufgestellt würden. Pink: Ganglinie flussabwärts der Entlastung

Fig. 10: Hydrograph of EQH and HQ100 in the River Rhone, blue: overtopped water volume at an EQH, blue/white hatched: overtopped water volume in case that the tilting elements could be re-established after having reached the flood peak, pink: hydrograph downstream the side weir

Die Modellversuche haben gezeigt, dass eine Buhne unmittelbar flussabwärts des Streichwehrs sich günstig auf die Entlastung auswirkt, da das Wasser im strömenden Abfluss daran rückgestaut und der Wasserspiegel lokal angehoben wird. Diese Buhne verhindert auch eine starke Erosion an derselben Stelle unmittelbar flussabwärts des Streichwehrs, die ohne diese bauliche Massnahme beobachtet wurde. Es traten kaum Sedimente über die Entlastungskante, so dass flussabwärts des Streichwehrs dieselbe Sedimentmenge vorhanden ist, wie die höhere Abflussmenge von flussaufwärts bis dahin transportiert hatte. Die im unteren Flussabschnitt aufgrund der Entlastung verringerte Transportkapazität hat jedoch in der Aufweitung Balthsieder keine sichtbar höheren Ablagerungen zur Folge.

Vegetation

Die Verbreiterung der Rhone und die Entstehung von alternierenden Sandbänken begünstigt die Entwicklung einer Flussufervegetation, welche die hydraulische Kapazität beeinträchtigen kann. Der Einfluss der Vegetation wurde im hydraulischen Modell simuliert, damit Anwei-

sungen bezüglich des notwendigen Unterhaltes hinsichtlich der erforderlichen Hochwassersicherheit definiert werden konnten. Der Einfluss der Vegetation auf den Transport von Geschwemmel wurde ebenfalls untersucht.

Nach einer Versuchsserie mit Flussbett prägenden Abflussmengen in der Grössenordnung von 2, 5 und 10 Jahren Wiederkehrperiode, wurde ein 1-jährliches Hochwasser simuliert, um die Ablagerungszonen, welche über den Wasserspiegel hinaus ragen, ausfindig zu machen. In diesen Zonen, in welchen sich die Flussufervegetation besonders gut entwickelt, wurden anschliessend, gemäss der voraussichtlichen Vegetationsentwicklung, welche für das Projekt der Dritten Rhonekorrektur angenommen wurde, Kresse angesät und Tannenknospen angepflanzt. Nachdem die Vegetation Fuss gefasst hatte und die Sprossen kräftig waren, wurden Hochwasserversuche durchgeführt, um den Einfluss der Vegetation auf die Strömung und auf das Geschwemmel sowie auf den Fortbestand der begrünter Bereiche zu beobachten (Abb. 11).

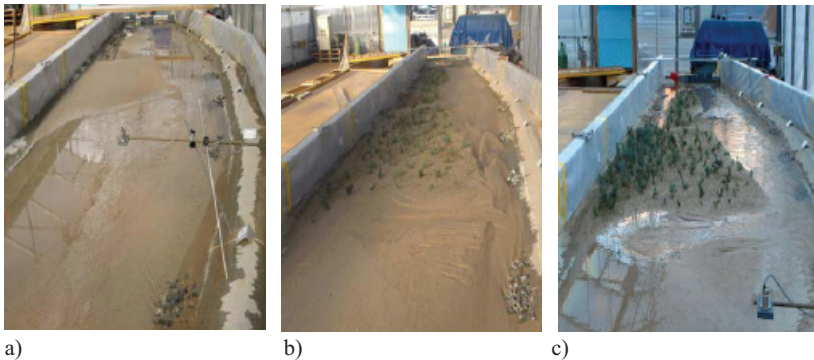


Abb. 11: Ablagerungszone am unteren Ende der im hydraulischen Modell simulierten Strecke a) nach der morphologischen Entwicklungsphase, b) nach der Saat und dem Einpflanzen der Setzlinge, c) in fortgeschrittenem Begrünungsstadium.

Fig.11: Sedimentation zone at the downstream end of the hydraulic model a) after the morphologic evolution phase, b) after the cress seeding and the fir tree buds planting, c) after vegetation evolution.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die vielseitigen physikalischen Modellversuche lassen ein neues Untersuchungskonzept für die Auswertung und Verbesserung eines komplexen Flusskorrektionsprojekts erkennen. Hinzu kommt, dass die Veranschaulichung des Projekts mittels Modellversuchen eine effiziente Kommunikationsplattform zwischen Ingenieuren, Umweltschützern, Politikern und Bevölkerung darbietet und die Akzeptanz eines solch komplexen Projekts fördert.

Dank der Modellversuche konnten Kostenersparnisse in der Projektausführung erreicht werden und die Projektierenden auf bisher unterschätzte oder unerkannte Gefahren (entlastete Wassermengen bei Jahrhunderthochwasserereignissen, eingestauter Überfall bei Entlastung) aufmerksam gemacht werden. Es konnten geometrische Angaben verfeinert werden, wie zum Beispiel diejenigen der Hochwasserentlastung. Die morphologische Entwicklung in einem aufgeweiteten Bereich (Aufweitung Baltschieder) kann abgeschätzt werden und geometrische Formen können den Gegebenheiten (Buhnen, Mündungssporn Vispa-Rhone) angepasst und

strömungstechnisch optimiert werden (s. auch Bourgeois, 2006). Hydraulische Modellversuche lassen schnell und einfach die Einflüsse von Projektänderungen abschätzen und lassen Modellierungen von komplexen Flussläufen zu. Die Messresultate können auf einfache Weise in den Masstab der Natur übertragen werden. Die heutigen Berechnungsmethoden sind zwar weit fortgeschritten, können jedoch bei einem solch komplexen Projekt noch nicht zweifellos Schritt halten. Sie dienen aber dazu erste Abschätzungen des Fließverhaltens zu erhalten, aufgrund jener das Modell auch aufgebaut wurde.

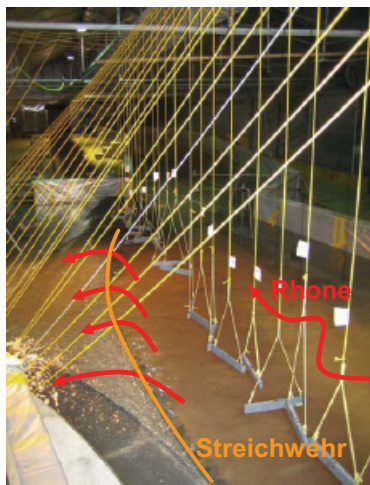


Abb. 12: "Gekippte" (hochgezogene) Kippelemente an Fäden. Beaufschlagtes Streichwehr

Fig. 12: "Tilted" (lifted) elements fixed at wires. Charged side weir

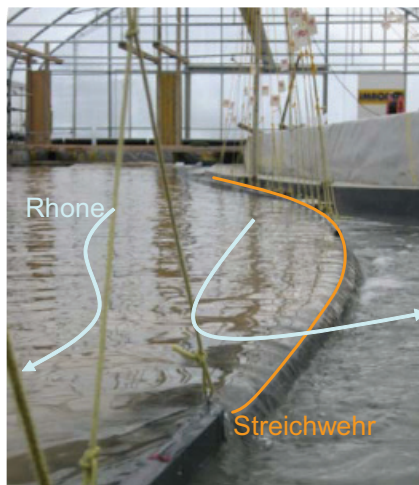


Abb. 13: Staukurve auf benachbartes Kippelemente im Falle einer Streichwehrbeaufschlagung von flussaufwärts nach flussabwärts

Fig. 13: Backwater curve on the next element downstream in case of a side weir admission in downward direction

LITERATUR

- Jäggi, M., Nigg, U., Teyssiere Ph. (2004): "Die Sedimentkatastrophe von Baltschieder", Internationales Symposium Interpraevent 2004 – Riva – Trient
- Bourgeois, M. (2006): "Accroissement de la valeur naturelle de la vallée du Rhône par un raccordement optimal des affluents au Rhône", Travail de Master EPFL - LCH
- Rosier, B. (2007): "Interaction of a side weir overflow with bed-load transport and bed morphology in a channel", Dissertation 3872, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Schweiz
- Rosier, B., Boillat, J.-L., Schleiss, A. (2007): "Modell zur Berücksichtigung morphologischer Unsicherheiten bei der Bemessung einer seitlichen Notentlastung", Dresdner Wasserkolloquium – Fünf Jahre nach der Flut, Wasserbauliche Mitteilungen, Nr. 35, Technische Universität Dresden, pp. 416 – 424

FLOOD FORECAST AND FLOOD MANAGEMENT MODEL OPTIMIZATION OF THE OPERATION OF STORAGE POWER PLANTS FOR FLOOD ROUTING

Frédéric Jordan¹, Javier Garcia Hernandez², Jean-Louis Boillat³ and Anton Schleiss⁴

ABSTRACT

A new model for flood prediction and management of the Rhone river basin is presented. This 5500 km² mountainous catchment area contains 10 major hydropower plants with their accumulation reservoirs. Based on a deterministic weather forecast, a new conceptual semi-distributed hydrological model provides a 72 hours lead time discharge forecast for the river network. It also provides the necessary input data for computing the optimal operation of the hydropower plants. The model takes into account snowmelt, glacier melt, soil infiltration, evapotranspiration as well as flood routing in rivers and reservoirs. It also uses the real-time weather and discharge measurements in order to adjust the hydrological forecast. The hydrological model was able to produce high quality discharge forecasts without real-time update and provides promising results with its transformation to an adaptative model. Another challenge presented in this study is the optimization of the operation of the existing hydropower plants during floods. The optimal operation is highly efficient for the reduction of the damages during such flood events. The first results highlighted its significant influence on flood peak reduction. The observed reduction of the peak discharge due to the alpine reservoirs was about 10% at the catchment outlet for the major flood events of 1993 and 2000 and the maximum reduction could have reached 25% with optimal operation of the hydropower plants during the same flood events.

Keywords: Flood, Hydrological Prediction, Optimization, Reservoir Routing, Decision Making

INTRODUCTION

Discharge prediction is an important information for the real-time management of river basins as well as storage reservoirs (Andrade-Leal et al., 2002; Bürgi, 2002; Jasper et al., 2002; Boillat, 2005). Typical applications are flood forecast in large river basins for emergency planning (Homagk et al., 1998; Koussis et al., 2003) and inflow forecast for optimized reservoir operations (Turcotte et al., 2004;). Different technologies exist for predicting discharge, which fit the numerous scales and morphologies considered.

1 Director, e-dric.ch, Grand Chemin 73, CH-1066 Epalinges, Switzerland (Tel.: +41-(0)79-247-25-77; Fax: +41-(0)21-693-22-64; email: fred.jordan@e-dric.ch)

2 Ph.D student, Laboratory of Hydraulic Constructions, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne, CH-1015 Lausanne, Switzerland (Tel.: +41-(0)21-693-23-66; Fax: +41-(0)21-693-22-64; email: javier.garciaherandez@epfl.ch)

3 Senior Researcher, Laboratory of Hydraulic Constructions; email: jean-louis.boillat@epfl.ch)

4 Prof. Director, Laboratory of Hydraulic Constructions; email: anton.schleiss@epfl.ch)

The management of multireservoir systems can be based on inflow forecasts. Assessing optimal operations is not trivial and necessitates an appropriate strategy. The numerous variables controlling the sequences of water releases have to be optimized. Moreover, multiobjective optimization is to be considered (Labadie, 2004). Methods such as linear programming (Kumar et al., 2001), non-linear programming (Barros et al., 2003) or evolutionary algorithms (Strafacci, 2001) are often used when a discharge forecast is available.

In this study, a new conceptual semi-distributed hydrological model is presented. This model takes into account snowmelt, glacier melt, infiltration, surface runoff and flood routing in rivers (Hamdi et al., 2005). Hydropower plants with their water intakes, aqueducts, reservoirs, pump stations, powerhouses as well as gated spillways are also accounted for (Dubois, 2005). Such semi-distributed models need a robust calibration procedure in order to avoid the dissimulation of hydrological errors. The numerous hydrological parameters have to be chosen according to the related region in a typical range of values. Moreover, the influence of the existing hydropower plants has to be considered. For this reason, multiple control points are used for the model calibration.

The presence of multireservoir systems in the catchment area offers a possibility to regulate floods by routing. In this case, preventive turbine or gate operation can be used for reserving storage volume in reservoirs during the flood peak. The high number and layout of the existing hydropower schemes creates a strong non-linearity in the system. For this reason, a deterministic optimization method was developed to assess the preventive turbine or gate operations (Jordan et al., 2005a). This model takes into account the influence of preventive operations on the electricity production and the potential damages at multiple control points in the river network. A simulation-optimization procedure was developed, which rapidly provides the optimal preventive operations. This procedure uses inflow forecasts in reservoirs and discharge forecasts at the control points as input. These data are introduced in a rule-based optimization model which result is the release schedule for each hydropower plant (HPP) connected to a large reservoir. This solution is checked by simulation before acceptance and application.

An application of the model is presented for the Rhone river basin upstream of Lake Geneva. This 5520 km² and mountainous catchment area contains 10 major hydropower plants with large dams and reservoirs. During the last flood events which occurred in 1987, 1993 and 2000, the flood routing in reservoirs contributed to the reduction of the peak discharge in the Rhone river of 10% to 15%. However, optimal preventive turbine and gate operations could have reduced the peak discharge by 25% to 30%.

HYDROLOGICAL MODELLING

In catchment areas with complex morphology, numerous hydrological processes may occur. In mountainous regions, the presence of glaciers and snow has a strong influence on the hydrological response of the catchment area. Snowmelt and glacier melt have to be considered, as well as infiltration and surface runoff. The melt processes are temperature-driven. For this reason, the altitude of the sub-catchments is an important parameter. Moreover, typical deep valleys in such regions are characterized by variable and local precipitations. An appropriate model discretization which allows taking into account the spatial distribution of the precipitations during floods is needed.

A conceptual semi-distributed hydrological model was developed, which takes into account these morphological and meteorological characteristics (Hamdi et al. 2005). It is based on a previous version developed by Schäfli et al. (2005) for a daily time step. The general framework of the model can be described as follows: every sub-catchment is subdivided into elevation bands in order to account for temperature-driven processes. The elevation bands can be either glacier or non-glacier areas. The modelling concept is presented in Fig. 1 with the example of a sub-catchment composed of one non-glacier and one glacier elevation bands.

Every non-glacier elevation band is composed of a snowpack model and of soil infiltration and runoff model with serial connection. Based on temperature (T) and precipitation (P), the snowpack model simulates the time evolution of the snow pack (accumulation and melt) and produces an equivalent precipitation (P_{eq}) used as input for the soil infiltration and runoff model. This model also takes into account the potential evapo-transpiration (ETP). The resulting discharge (Q_s) is transferred to the sub-catchment outlet. Every glacier elevation band is composed of four different models a four-reservoir model. A snowpack model creates an equivalent precipitation (P_{eq}) which is transferred to a linear reservoir (R_N) and finally to the catchment outlet (Q_{NGL}). The glacier melt model creates a glacier melt discharge only when the simulated snowpack is zero ($H_n=0$). The glacier melt discharge (P_{eqGL}) is then transferred into a linear reservoir (R_{GL}) and the resulting discharge (Q_{GL}) to the catchment outlet. The final discharge at the sub-catchment outlet (Q_{tot}) is the sum of these three contributions.

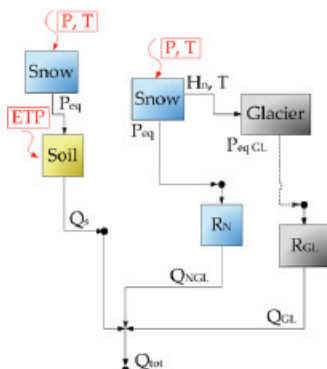


Fig1: Description of the hydrological modelling concept. Example of a sub-catchment with one non-glacier and one glacier elevation band.

The snowpack model is composed of two reservoirs (Fig. 2). The inputs of the model are the temperature (T) and the precipitation (P). At first, the precipitation is decomposed in solid precipitation (N) and liquid precipitation (P*) depending on the temperature (Equ. 1 to 3).

$$P^* = \alpha \cdot P \quad (1)$$

where P* = liquid precipitation in mm/h; α = separation factor; P = precipitation in mm/h.

$$N = (1 - \alpha) \cdot P \quad (2)$$

where N = solid precipitation in mm/h.

$$\begin{cases} \alpha = 0 & \text{if } T < T_{cp1} \\ \alpha = (T - T_{cp1}) / (T_{cp2} - T_{cp1}) & \text{if } T_{cp1} < T < T_{cp2} \\ \alpha = 1 & \text{if } T > T_{cp2} \end{cases} \quad (3)$$

where T = temperature in °C; T_{cp1} = low critical liquid precipitation temperature in °C; T_{cp2} = high critical liquid precipitation temperature in °C.

When the observed temperature is lower than T_{cp1} , there is only solid precipitation, and when it is higher than T_{cp2} , there is only liquid precipitation. When the observed temperature is in the range between the critical values, both solid and liquid precipitations occur. The solid

precipitation (N) is used as input for the snow pack reservoir, which content varies depending on precipitation, snowmelt or freeze. The snowmelt is calculated as follows:

$$\begin{cases} M_N = A_n \cdot (1 + b_p \cdot P^*) \cdot (T - T_{cr}) & \text{if } T > T_{cr} \\ M_N = A_n \cdot (T - T_{cr}) & \text{if } T < T_{cr} \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} dH_N = (N - M_N) \cdot dt \\ M_N \leq N + H_N / dt \\ M_N \geq -W_N / dt \end{cases} \quad (5)$$

where M_N = snowmelt or freeze in mm/h; A_n = degree-day coefficient in mm/h/°C; b_p = coefficient in h/mm; T_{cr} = critical snowmelt temperature in °C; H_N = height of snow in m; W_N = water content in mm; t = time step in h.

The equivalent precipitation is produced by the water content reservoir (Equations 6 to 8):

$$\theta = W_N / H_N \quad (6)$$

$$\begin{cases} P_{eq} = P^* + W_N / dt & \text{if } H_N = 0 \\ P_{eq} = 0 & \text{if } H_N > 0 \text{ and } \theta \leq \theta_{cr} \\ P_{eq} = \frac{1}{K_f} \cdot (\theta - \theta_{cr}) \cdot H_N & \text{if } H_N > 0 \text{ and } \theta > \theta_{cr} \end{cases} \quad (7)$$

$$dW_N = (P^* + M_N - P_{eq}) \cdot dt \quad (8)$$

where θ = relative water content in the snow pack; θ_{cr} = critical relative water content in the snow pack; K_f = melt coefficient in h.

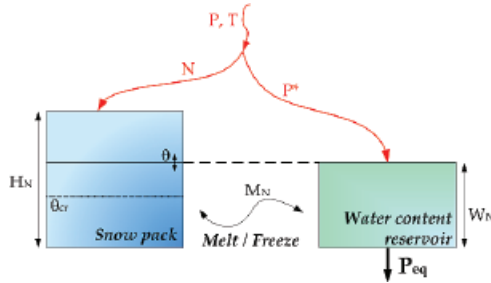


Fig2: Description of the snowpack model with its two reservoirs.

The glacier melt depends on the temperature and on the presence of snow over ice. The total glacier discharge depends on storage processes in the linear reservoirs R_N and R_{GL} . The snowmelt linear reservoir is described as follows:

$$\frac{dH_{NGL}}{dt} = P_{eq} - K_N \cdot H_{NGL} \quad (9)$$

where H_{NGL} = level in snow linear reservoir in mm; K_N = snow linear reservoir coefficient in 1/h (inertia of the glacier melt).

The outflow from the snow linear reservoir Q_{NGL} is:

$$Q_{NGL} = K_N \cdot H_{NGL} \quad (10)$$

The glacier melt Q_{GL} only happens when no snow is present over the glacier and when the temperature is higher than the critical glacier melt temperature. It is defined in Equations 11 to 13:

$$\begin{cases} P_{eqGL} = 0 & \text{if } T \leq T_{cr} \text{ or } H_N > 0 \\ P_{eqGL} = A_{GL} \cdot (T - T_{cr}) & \text{if } T > T_{cr} \text{ and } H_N = 0 \end{cases} \quad (11)$$

$$dH_{GL}/dt = P_{eqGL} - K_{GL} \cdot H_{GL} \quad (12)$$

$$Q_{GL} = K_{GL} \cdot H_{GL} \quad (13)$$

where P_{eqGL} = glacier melt in mm/h; A_{GL} = degree-day glacier melt coefficient in mm/h/°C; H_{GL} = level of glacier linear reservoir in mm; K_{GL} = glacier linear reservoir coefficient in 1/h (inertia of the snowmelt over glacier);

The infiltration reservoir is computed as follows:

$$\begin{cases} i_{inf} = P_{eq} \cdot (1 - (h/h_{max})^2) & \text{if } h < h_{max} \\ i_{inf} = 0 & \text{if } h \geq h_{max} \end{cases} \quad (14)$$

$$\begin{cases} ETR = ETP \cdot (h/h_{max})^{1/2} & \text{if } h < h_{max} \\ ETR = ETP & \text{if } h \geq h_{max} \end{cases} \quad (15)$$

$$Q_{base} = k \cdot h \cdot S \quad (16)$$

$$\partial h / \partial t = i_{inf} - ETR - Q_{base} / S \quad (17)$$

where ETP = potential evapo-transpiration in mm/h; i_{inf} = infiltrated intensity in mm/h; h = level in infiltration reservoir in m; h_{max} = capacity of the infiltration reservoir in m; ETR = real evapo-transpiration in mm/h; Q_{base} = base discharge in m³/s; k = release coefficient in 1/s; S = surface in m².

The surface runoff resulting from the excess equivalent rainfall is estimated with a non-linear transfer reservoir (Equations 18 to 21).

$$i_{net} = P_{eq} - i_{inf} \quad (18)$$

$$\begin{cases} dh_r / dt = i_{net} - i_r \\ h_r > 0 \end{cases} \quad (19)$$

$$i_r = K_s \cdot J_0 \cdot h_r^{5/3} \cdot B / S \quad (20)$$

$$Q_r = i_r \cdot S \quad (21)$$

where i_{net} = inflow runoff intensity in mm/h; h_r = level of runoff in m; i_r = outflow runoff intensity in mm/h; K_s = Strickler coefficient in m^{1/3}/s; J_0 = average slope of the plan; B = width of the plan in m.

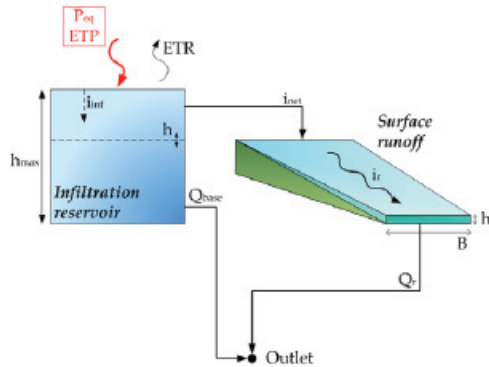


Fig3: Description of the infiltration and runoff model

MODELLING THE HYDROPOWER PLANTS

The hydropower plants are implemented in the hydrological model. The object-oriented programming used in Routing System II (Dubois, 2005) allows to connect the different hydrological and hydraulic objects automatically. The sub-catchment model is an object containing the different elevation bands. The water intakes are implemented downstream of their sub-catchment areas and connected to river reaches or junctions. Reservoirs, powerhouses or spillways are implemented easily as well (Figure 4).

In order to optimize the preventive operations on the HPP, it is necessary to compute and evaluate multiple operation schemes. The use of a numerical model computing at each time step all the hydrological parameters is inappropriate due to the time necessary to perform this task. For this reason, a simplified method was developed to calculate the optimal operation, presented in detail in (Jordan & al., 2005b).

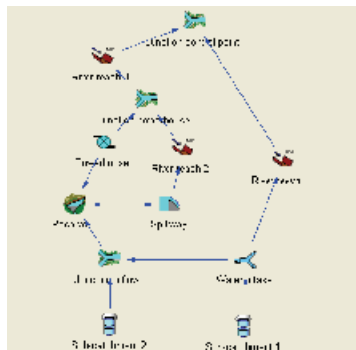


Fig4: Example of modelling a catchment area using *Routing System II*.

This method uses the predicted inflows in the reservoirs and water intakes and the predicted hydrographs at the multiple control points in the river network. The preventive operations are

obtained by optimizing of the routing effect of each reservoir. The influence of the HPP on the reduction of the peak discharge is estimated with the use of transfer functions. The optimization of operations is performed by computing cost functions associated to flood damages in a rule-based framework. The result of this procedure is the optimal turbine and gate operation schedule for each HPP.

The operation schedule obtained is finally introduced in the simulation model for validation.

MODEL CALIBRATION

Every sub-catchment area is described by numerous parameters which need to be calibrated. The calibration parameters for one glacier elevation band are A_n , A_{GL} , K_N , K_{GL} . The other parameters ($b_p=0.0125$, $\theta_{cr}=0.1$, $T_{cp1}=0^\circ\text{C}$, $T_{cp2}=0^\circ\text{C}$, $T_{cr}=2^\circ\text{C}$) are supposed constant. The calibration parameters for a non glacier elevation band are A_n , h_{max} , k , K_s . The number of parameters to adjust is very high when a sub-catchment contains multiple elevation bands. The calibration values are then supposed similar for every elevation band in a sub-catchment.

The calibration procedure follows simple rules according to the separation of the multiple contributions. As presented in Fig. 5 with the example of the Gletsch basin upstream of Brig, the different processes contribute to the total discharge at different periods. The snowmelt is produced during spring from may to June, after the constitution of snowpack during the winter season. The glacier melt is produced in summer since July, when no more snow is present on the glacier elevation bands. At the same period, heavy precipitations may occur and produce floods due to the surface runoff process. The base flow is only produced by infiltration of snowmelt or liquid precipitations.

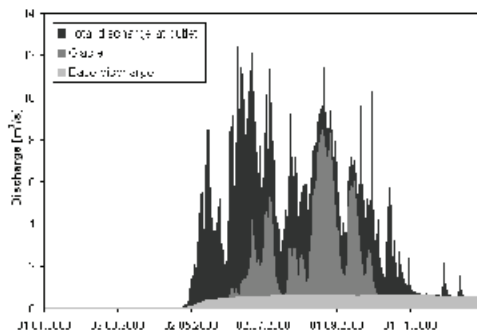


Fig5: Gletsch basin. Contribution of the glacier elevation bands (gray) and the base flow (light gray) to the total discharge (dark gray). The discharge which is not produced by glacier melt and base flow is due to snowmelt (may to june) and surface runoff (july to november).

The calibration procedure follows the hydrological processes, which allows separating the different contributions. In fact, the parameters to be calibrated can be considered in a sequence following the annual hydrological cycle. The Nash indicator is used for the evaluation of the performance of the model (Nash and Sutcliffe, 1970). Concretely, the simulation period begins in October, which allows the snow pack to build-up during the autumn and winter seasons. The snow degree-day parameter A_n , which influences the total discharge from February to June, is first calibrated. The optimum value of this parameter is obtained, because there is no coupling with any other calibration parameter. The same justification can be applied to the next parameters to be calibrated: A_{GL} , K_{GL} and K_N . The soil

infiltration parameters, which control the separation between base flow and runoff, are then calibrated. Finally the K_s coefficient, which only influences the flood events is adjusted. A result of this calibration procedure is presented in Fig. 6 for the Gletsch basin, where the annual hydrological cycle is well represented. The snowmelt period occurs from February to early June, before the first glacier melt period until middle of July. A second and third glacier melt periods occur until early October (year 2000). Finally, the flood of October 2000 is produced by surface runoff. The Nash indicator is 0.87 and the bias 0.98 during this simulation period.

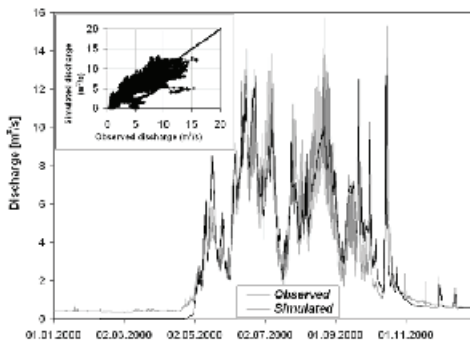


Fig6: Performance of the calibration procedure. Gletsch basin, simulated period 01.10.2000-31.12.2000, Nash=0.87, bias=0.98.

PERFORMANCE OF PREVENTIVE OPERATION BASED ON FLOOD FORECAST

The flood forecast allows representing the predicted hydrological situation for the next 72 hours. When damages due to river overtopping are supposed, flood management by preventive turbine or gate operations might be useful in order to mitigate the predicted damages. A rule-based deterministic optimization model was developed for the decision support during flood events. Using the hydrological forecast and the operation state of the existing HPP, this tool provides optimal operation schedules (Jordan et al., 2005a ; Jordan, 2007).

An application of the optimization model is presented for the flood of October 2000. The weather forecast is the one which was really available at this time. The presented flood forecast starts on the 13th of October 2000 and ends on the 15th of October 2000 at 23h00 (Fig. 7). The hydrological parameters issued from calibration are not changed. The initial conditions are set to the existing ones at the start date of the flood event. The initial state of the HPP is set to the real ones. As a result, the peak discharge without influence of reservoirs reaches 1423 m³/s and occurs at hour 65. With optimal operation of the existing HPP, the peak discharge can be reduced at 1227 m³/s. In fact, only 4 HPP need to operate and release water in order to store the maximum inflow. Based on the hydrological forecast, the 6 other HPP have sufficient available storage volume during the flood event. To assess the performance of the scheduled scheme we calculated the target hydrograph (lower limit). In this case, we suppose that all the reservoirs have a sufficient storage volume to store the incoming flood and that they do not need to release water during the flood event. Their damping effect is thus maximal and the flood obtained downstream corresponds to the minimal value of the flood hydrograph. As illustrated in Fig. 7, the hydrograph obtained with the scheduled scheme is very close to this target hydrograph.

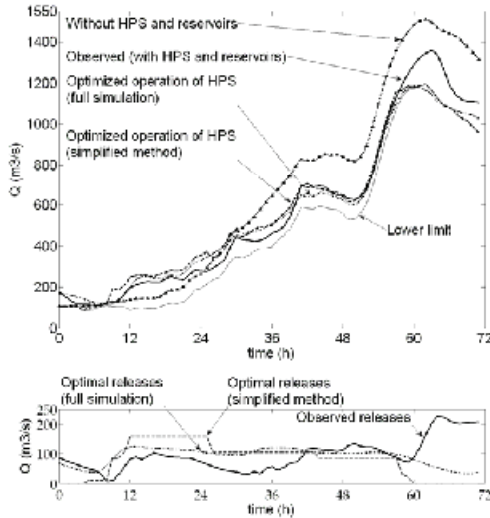


Fig7: Example of optimal operations based on the 72 hours flood forecast of the 13th of October 2000.

The example presented in this paper shows that the use of real forecasts allows to make appropriate decisions for the management of the reservoirs during floods.

CONCLUSION

A model for flood prediction and management of the upper Rhone river is presented. The semi-distributed conceptual hydrological model provides a hydrological forecast at numerous control points in the catchment area. This deterministic forecast is based on the weather forecast provided by the Swiss Weather Service. A model for the optimization of the preventive water releases by turbine or gate operation of the existing hydropower plants in the catchment area uses this hydrological forecast as input. The model provides the operation schedule and the modified predicted hydrographs.

The performance of the hydrological model was tested by continuous simulation over annual periods and the model revealed robust. However, the deterministic optimization of the turbine or gate operations is associated with a high level of uncertainty. Indeed, water can be lost or damages can occur by inappropriate operation. The deterministic optimization approach described here provides good information, but an efficient control of the system is necessary. The comparison between forecasts and field observations is important, as well as the update of the last forecast.

ACKNOWLEDGEMENTS

The MINERVE project is founded by the Swiss Federal Office for Water and Geology (FOWG) and the Canton Wallis. The quantitative precipitation and temperature forecasts are freely provided by the Swiss Weather Service.

REFERENCES

- Andrade-Leal, R. N., Bachhiesel, M., Drabek, U., Gutknecht, D., Haiden, T., Holzmann, H., Hebenstreit, K., Kirnbauer, R., Nachtnebel, H. P., & Precht, J. (2002). "Hydrologische Vorhersagemodelle im operationellen Betrieb der Wasserkraftwirtschaft", *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 9-10.
- Barros, M. T., Tsai, F. T., Yang, S. L., Lopes, J. E., & Yeh, W. W. (2003). "Optimization of large-scale hydropower system operations", *Journal of Water Resources Planning and Management*, 129(3), 178-188.
- Boillat, J.-L. (2005). "L'influence des retenues valaisannes sur les crues", *Wasser Energie Luft – Eau Energie Air*, 11/12.
- Bürgi, T. (2002). "Wasserstands- und Abflussvorhersagen für den Rhein", *Wasser Energie Luft – Eau Energie Air*, 7/8.
- Dubois, J., (2005). "Simulation des systèmes hydrauliques et hydrologiques complexes: Routing System II". *Wasser Energie Luft – Eau Energie Air*, 11/12.
- Hamdi, Y., Hingray, B., and Musy, A. (2005). "Un modèle de prévision hydro-météorologique pour les crues du Rhône supérieur en Suisse", *Wasser Energie Luft – Eau Energie Air*, 11/12.
- Homagk, P. & Ludwig, K. (1998). "Operationeller Einsatz von Flussgebietsmodellen bei der Hochwasser-Vorhersage-Zentrale Baden-Württemberg", *Wasserwirtschaft*, 88(4), 160-167.
- Jasper, K., Gurtz, J., & Lang, H. (2002), "Advanced flood forecasting in Alpine watersheds by coupling meteorological observations and forecasts with a distributed hydrological model", *Journal of Hydrology*, 267, 40-52
- Jordan, F., Boillat, J.-L., Dubois, J. and Schleiss, A., (2005a). "Real-time flood management by preventive operations on multiple alpine hydropower schemes", *Proc., 31th IAHR Congress*, Seoul, 3235-3245.
- Jordan, F., Boillat, J.-L., Dubois, J. and Schleiss, A., (2005b). "A new model for real-time flood management by preventive operations on multiple hydropower schemes", *Proc., Hydro - Policy into practice*, Session 5, Hydropower & Dams, Villach.
- Jordan, F. (2007). "Flood forecast and flood management model - Optimization of the operation of storage power plants for flood routing", Ph.D. thesis report n° 3711, Ecole Polytechnique Fédérale Lausanne.
- Koussiss, A. D., Buzzi, A. & Malguzzi, P. (2003). "Flood Forecasts for Urban Basin with Integrated Hydro-Meteorological Model", *Journal of Hydrologic Engineering*, 8(1), 1-11.
- Kumar, N. D., Prasad, D. S. V. & Raju, S. K. (2001). "Optimal Reservoir Operation Using Fuzzy Approach", *Proc., Int. Conf. on Civil Engineering*, 377-384.
- Labadie, J. W. (2004). "Optimal Operation of Multireservoir Systems: State-of-the-Art Review", *Journal of Water resources Planning and Management*, 130(2), 93-111.
- Nash, J.E. & Sutcliffe, J.V., (1970). "River flow forecasting through conceptual models, part 1 - A discussion of principles", *Journal of Hydrology*, 10(3), 282-290.

- Schäfli, B., Hingray, B., Niggli, M. and Musy, A., (2005). "A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments", *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2: 73-117.
- Strafaci, A. M. (2001). "Genetic Algorithms in Water Resources Engineering", *Current Methods*, 1(1), 119-123.
- Turcotte, R., Lacombe, P., Dimnik, C., & Villeneuve, J. P. (2004). "Distributed hydrological forecast for the management of public dams in Quebec", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31(2), 308-320.

DAS LINTHWERK ZWISCHEN GESTERN UND MORGEN

THE „LINTHWERK“ BETWEEN YESTERDAY AND TOMORROW

Markus Jud¹, Roberto Loat²

ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt Hochwasserschutz Linth 2000 ist eines der grössten integralen Hochwasserschutzprojekte der Schweiz und hat in Bezug auf Nachhaltigkeit und partizipatives Vorgehen Modellcharakter. Das Planungsgebiet erstreckt sich über die vier Kantone Glarus, Schwyz, St. Gallen und Zürich. Das Linthwerk, bestehend aus Escher- und Linthkanal und diversen Nebengewässern, ist ein technisch und hydraulisch komplexes System. Das Linthwerk ist aber nicht nur ein technisches Bauwerk. Es garantiert ebenso den Bestand von Gewässerlebensräumen (Wasser, Auen, Ried). Schliesslich ist das Werk mit seiner markanten Geometrie ein wesentlicher Bestandteil der Landschaft. Die Hochwasserschutzdämme sind in die Jahre gekommen und die Sicherheit ist nicht mehr gegeben. Zweihundert Jahre nachdem mit dem Bau des Linthwerks begonnen wurde, muss es den heutigen und zukünftigen Sicherheitsansprüchen angepasst werden. Denn die Linthebene hat in zwei Jahrhunderten als Wohn-, Arbeits- und Freizeitraum enorm an Wert gewonnen und ist ein wichtiges Durchgangsland. Im Gegenzug haben die Naturwerte abgenommen. Die Abflusskapazitäten der Haupt- und Nebengerinne sind grundsätzlich genügend. Problematisch ist heute jedoch der Stabilitätszustand der Dämme über weite Abschnitte. Das Hochwasserereignis vom Mai 1999 sowie das jüngste Hochwasser vom August 2005 zeigten die Schwachstellen des Linthwerks auf. Nur mit grossem Einsatz, aber auch mit Glück, konnten Dammbüche vermieden werden. Die Linthverantwortlichen erkannten bereits Ende 1998, dass ein langfristiger Schutz nur mit einer Gesamtanierung gewährleistet werden kann. Neben klassischen Wasserbaumassnahmen sind auch planerische und organisatorische Massnahmen vorgesehen und zum Teil auch bereits umgesetzt. Durch Aufweitungen, Umbau von Vorländern und ähnliche Massnahmen kann das Linthgebiet auch als Lebensraum für Pflanzen und Tiere aufgewertet werden. Zusätzlich wird der bestehende Kanal für die Naherholung wesentlich attraktiver.

Keywords: Hochwasserschutz, integrales Risikomanagement, Restrisiko

ABSTRACT

The project "Flood Protection Linth 2000" is one of the largest integral flood protection projects in Switzerland and with its sustainable and participative approach it acts as a role model for further projects. The planning area extends over the four cantons Glarus, Schwyz, St. Gallen and Zurich. The "Linthwerk", consisting of the Escher- and Linthchannel and various side channels, is a technically and hydraulically highly complex system. The "Linthwerk" is

¹ Linthingenieur / Projektleiter, Linthverwaltung, Tellstrasse 1, CH-8853 Lachen, Schweiz (Tel.: +41-55-451-00-22; Fax: +41-55-451-00-20; email: markus.jud@linthwerk.ch; www.linthwerk.ch)

² Bereichsleiter Gefahrengrundlagen, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, CH-3003 Bern, Schweiz (Tel.: +41-31-324-16-57; Fax: +41-31-324-78-66; email: roberto.loat@bafu.admin.ch)

however not only a technical structure. It also guarantees the existence of water habitats (water, floodplains, wetlands). Finally the work with its salient geometry is a substantial component of the landscape. The flood protection dikes came into the years and security is no longer given. Now, two hundred years after the “Linthwerk” has been built, today’s and future’s safety requirements have to be adapted. The Linthplain’s value as a habitat, work and recreational area has for the last two centuries enormously grown and it is an important transit country. In response the natural values decreased. The discharge capacities of the main and side channels are basically sufficient. However, problematic today is the stability condition of the dikes over far sections. The flood event from May 1999 as well as the recent flood from August 2005 pointed the “Linthwerk’s” weak points out. Only with a combination of large employment and luck, dike failures could be avoided. Already by the end of 1998, it was clear, that a long-term protection could only be ensured with an overall renovation. Apart from classical hydraulic engineering measures also other measures, such as land use planning and organizational measures are intended. By riverexpansions, remodeling of flood plains and similar measures, the Linthplain can also be revalued as a habitat for plants and animals. The existing channel becomes substantially more attractive for the local recreation.

Keywords: flood protection, integral risk management, residual risk

DAS LINTHWERK

Das Linthwerk, bestehend aus Escher- und Linthkanal und diversen Nebengewässern, ist ein technisch komplexes System, das den Erbauern vor bald 200 Jahren ein hervorragendes Zeugnis ausstellt und als kulturhistorisches Denkmal gilt. Es ist in seiner Konzeption für die Schweiz von nationaler Bedeutung und ermöglichte erst die Entwicklung der Linthebene. Bis heute konnten grössere Überschwemmungen verhindert werden.

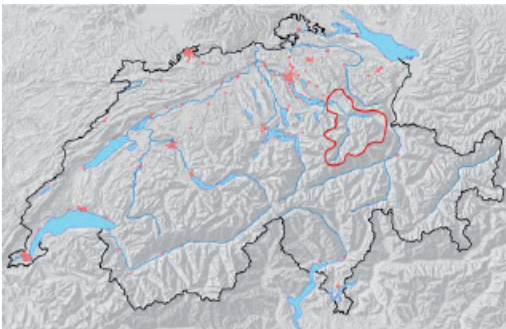


Abb. 1: Rot umrandet das Einzugsgebiet der Linth (1061 km²).
Fig. 1: Watershed of the Linth (1061 km²; in red).

Mit dem Linthwerk wird das Wasser der Glarner Linth in den Walensee umgeleitet (Escherkanal); der Walensee selber dient als Retentionsbecken und Geschiebesammler. Der Linthkanal entwässert – vereinfacht dargestellt – den Walensee in den Obersee (Zürichsee).



© swisstopo 2006

Abb. 2: Das Linthwerk (hellblau punktiert) umfasst den Escherkanal zwischen Näfels/Mollis und dem Walensee und den Linthkanal zwischen Walen- und dem Obersee (Zürichsee) mit ihren jeweiligen Binnenkanälen (Hintergräben). Der Perimeter des Linthwerks umfasst Teile der Kantone Glarus, St. Gallen und Schwyz. Der Kanton Zürich ist ebenfalls am Linthwerk beteiligt.

Fig. 2: The Linthwerk (blue dots) comprises the Canal Escher between Näfels/Mollis and the Lake Walensee and the Canal Linth between the Lake Walensee and Lake of Zurich (Obersee).

Escher- und Linthkanal sowie die Binnenkanäle (Hintergräben) verfügen je über ein eigenes Abflussregime. Der Escherkanal ist ein typischer Gebirgsfluss, gekennzeichnet durch kurze und intensive Hochwasser sowie Geschiebe- und Schwemmholtzfracht. Der Walensee dämpft die Hochwasserspitze seiner Zuflüsse, daher ist die Abflussspitze im Linthkanal kleiner aber deutlich länger als im Escherkanal. Der Linthkanal hat geschiebefreien Abfluss.



Abb. 3: Das System des Linthkanals an seiner Belastungsgrenze. Das Bild vom Maihochwasser 1999 zeigt das komplexe System des Linthwerks mit seinen drei hydraulischen Stockwerken. Der Linthkanal ist flankiert von den beiden tieferliegenden Hintergräben. Im Vordergrund verläuft der noch tiefer liegende Meliorationskanal.

Fig. 3: The system of the Canal Linth at its limit during the flood in May 1999. The trench parallel to the main canal belongs to the entire system, too (backside trench).

Das Linthwerk ist aber nicht nur ein technisches Bauwerk. Es garantiert ebenso den Bestand von Gewässerlebensräumen (Wasser, Auen, Ried) und die Funktion der ganzen Entwässerungen in der Linthebene (Hauptvorfluter für Meliorationswerke). Schliesslich ist das Werk mit seiner markanten Geometrie ein wesentlicher Bestandteil der Landschaft.



Abb. 4: Escherkanal, Hochwasserereignis August 2005 (ca. 7 Std. nach dem Durchgang der Hochwasserspitze).
Fig. 4: Canal Escher, Flood event August, 2005 (approx. 7 hrs after the flood peak).



Abb. 5: Rechter Hintergraben, Hochwasserereignis August 2005: Ein Dambruch hätte mit grosser Wahrscheinlichkeit auch den Bruch des Hauptdammes zur Folge.
Fig. 5: The right backside trench during the flood in August, 2005. A dam break would have most likely caused the break of the main levee as well.

Das Einzugsgebiet der Linth beträgt 1061 km^2 (Pegel Linth Biäsche) exklusive der Hintergräben, welche separat entwässern. Der Escherkanal hat eine Länge von 6 km, der Linthkanal 17 km.

Zweihundert Jahre alte Dämme

Die Abflusskapazitäten der Haupt- und Nebengerinne sind grundsätzlich genügend; d.h. es gibt keine eigentlichen Engnisse. Jedoch unter der Berücksichtigung der Sicherheitszuschläge liegt die Abflusskapazität beim Escher- und Linthkanal abschnittsweise leicht tiefer als erforderlich. Die eigentliche Problematik ist heute jedoch der Stabilitätszustand der Dämme über weite Abschnitte.

Die Anforderungen an die Hochwasserschutzdämme sind insbesondere beim Linthkanal speziell hoch. Aufgrund der abflussdämpfenden Wirkung des Walensees sind beim Linthkanal die Hochwasserschutzdämme während Tagen hohen Belastungen ausgesetzt.

Hinzu kommt, dass die Gewässer auf unterschiedlichen Niveaus verlaufen (Abb. 3). Das Flussbett des Linthkanals liegt im Unterlauf sogar auf der Höhe der umliegenden Ebene, so dass die Vorfluter in diesem Abschnitt nicht mehr in das Hauptgerinne entwässern können. Der Linthkanal folgt über weite Strecken nicht dem ursprünglichen Flusslauf, so dass die Untergrundverhältnisse immer wieder ändern.

Diese aussergewöhnliche Charakteristik ergibt sich aus der Baugeschichte des Linthwerks. Im Vordergrund standen damals die Entwässerung der oberen Linthebene und der Gebiete am Walensee (Melioration) sowie die Schiffbarkeit des Kanals. Diese damals berechtigten Anforderungen führten bei den geringen Gefällsverhältnissen zwischen Walen- und Obersee zu einem gestreckten Kanal. Dieser Kanal quert immer wieder alte Flussläufe aber auch setzungsempfindliche Sumpfablagerungen und hat ein weitgehend einheitliches Längsgefälle. Aber auch der Escherkanal verläuft ausserhalb des ursprünglichen Flussbetts und quert ebenfalls alte Linthläufe. Das System ist fein austariert, so dass der Handlungsspielraum heute eng begrenzt ist.

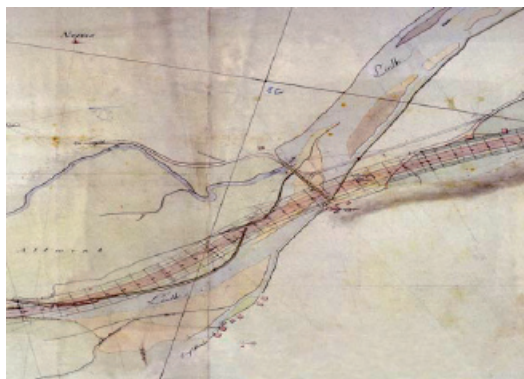


Abb. 6: Alter Linthlauf und projektiertes Kanal bei Mollis. Plan von H. J. Frey, 1807.

Fig. 6: Ancient river bed of the River Linth and the projected canal near Mollis. Sketch from H. J. Frey, 1807.

Projekt „Hochwasserschutz Linth 2000“

Die Dringlichkeit der Linthsanierung ist unbestritten. Das Hochwasserereignis vom Mai 1999 (Linthkanal) sowie das jüngste grosse Hochwasser vom August 2005 (Escherkanal, Linthkanal und rechter Hintergraben) zeigten die Schwachstellen des Linthwerks auf. Nur mit grossem Einsatz, aber auch mit Glück, konnten Dammbürche vermieden werden. Ganze Abschnitte weisen rechnerische Sicherheiten um 1.0 auf.

Die Linthkommission (Trägerschaft des Linthwerks) erkannte bereits Ende 1998, dass ein langfristiger Schutz nur mit einer Gesamtsanierung gewährleistet werden kann. Nach rund sieben Jahren intensiver Planung wurde das entsprechende Auflageprojekt „Hochwasserschutz Linth 2000“ (Linth 2000) im Oktober 2005 öffentlich aufgelegt.

Ziel des Projekts Linth 2000 ist der Schutz der Ebene zwischen Näfels/Mollis (Kanton Glarus) und dem oberen Zürichsee (Kantone St. Gallen und Schwyz) vor Überschwemmungen, insbesondere vor Dammbürchen. Das Projekt umfasst die Sanierung von Dämmen, die Erhöhung der Durchflusskapazität bei Brücken und ökologische Massnahmen für die Erhaltung und Verbesserung von Lebensräumen.

Für Neukonstruktionen und die zu sanierenden Dämme wird eine Nutzungsdauer von 100 Jahren angestrebt. Die geplante Nutzungsdauer wird durch die Bauherrschaft mit einem angemessenen Unterhalt (Unterhaltskonzept) und einer periodischen Überwachung (Monitoring) sichergestellt.

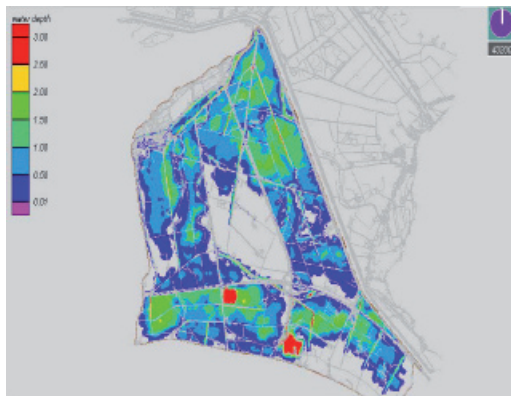


Abb. 7: Die Überflutungsmodellierung zeigt deutlich, dass im Falle eines Dammbbruchs grosse Teile der Linthebene überflutet würden.

Fig. 7: The simulated flood inundation shows that large parts of the Linth floodplain would be flooded in case of a dam break.



Abb. 8: Grundbrucherscheinungen mit Böschungsfussrutschungen am Linthkanal, Hochwasser 1999: Szenario für obige Überflutungsmodellierung.

Fig. 8: Hydraulic failure in relation with soil slips at the bottom of the bank of the Canal Linth during the flood 1999.

Von den insgesamt 23 km Kanallänge werden zirka 12 km (d.h. rund 50%) einer eigentlichen Sanierung unterzogen. Die Dämme werden hier mit einem Auflastfilter verstärkt bzw., bei geometrisch einengenden Randbedingungen, gänzlich neu aufgebaut (Materialersatz). Rund 2,5 km Flusslauf werden aufgeweitet (Aufweitungen, Entfernung von Uferlängsverbau), vielfach in Kombination mit Hochwasserschutzmassnahmen. Durch die Aufweitungen und ähnliche Massnahmen kann das Linthgebiet auch als Lebensraum für Pflanzen und Tiere

aufgewertet werden. Zusätzlich wird der bestehende Kanal für die Naherholung wesentlich attraktiver.



Abb. 9: Aussandungen im Hintergraben während dem Hochwasser 1999. Stetige und über einen längeren Zeitraum stattfindende Aussandungen können aufgrund der inneren Erosion auch zu einem statischen Grundbruch führen (Hohlraum unter Damm).

Fig. 9: Wash-out of sand in the backward trench during the flood 1999. Those processes can provoke static shear failure due to inner erosion within the dam.

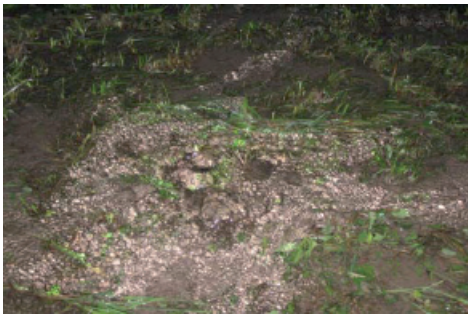


Abb. 10: Wasseraufstoss im Vorland des Hintergrabens während dem Hochwasser 2005 (ohne Materialausstrag): Anzeichen eines hydraulischen Grundbruchs.

Fig. 10: Upwelling water in the foreland of the backside trench during the flood 2005 as a first sign for a hydraulic failure.

Die Regierungen der vier betroffenen Kantone (St. Gallen, Glarus, Schwyz und Zürich) haben im Juni 2007 das Projekt genehmigt. Daraufhin wurde mit der Detailplanung begonnen. Der Baubeginn ist für 2008 vorgesehen. Die Realisierungsdauer beträgt 5-8 Jahre. Die Gesamtkosten für das Projekt wurden auf 104 Mio. CHF budgetiert wobei der Bund gut ein Drittel der Kosten übernimmt. Das heutige Schadenpotential für ein dreihundertjährliches Ereignis beträgt ca. 350 Mio. CHF. Das Kosten – Nutzen Verhältnis kann als gut bezeichnet werden.

Um die Sicherheit der Bevölkerung bereits heute zu verbessern, wurden ein Frühwarnsystem und ein Notfalldispositiv realisiert, das beim Hochwasser vom August 2007 bereits seine Bewährungsprobe bestanden hat.

Abstimmung der Interessen

Nicht alle Probleme können im Rahmen eines Wasserbauprojekts gelöst werden. Verschiedene Begleitplanungen helfen, das Projekt Linth 2000 auf weitere Sektorpolitiken in der Linthebene abzustimmen. Die Planungen sind partizipativ, das heisst, dass die betroffenen lokalen Behörden und die Bevölkerung im Planungsprozess integriert sind.

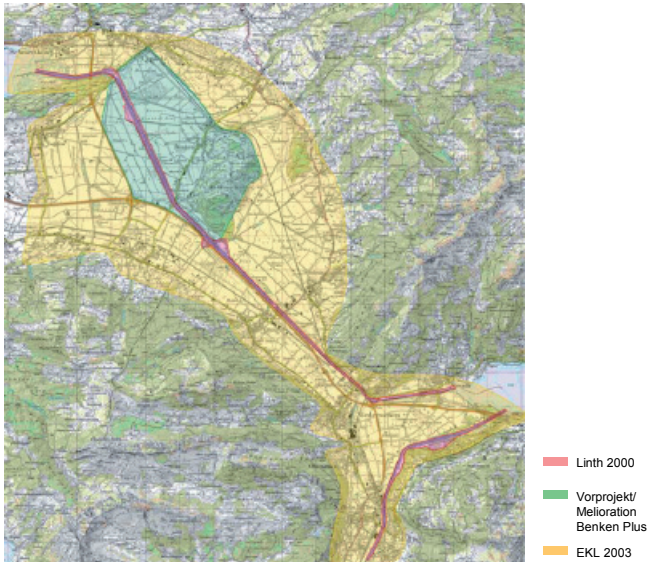


Abb. 11: Räumliche Ausdehnung der drei Begleitplanungen.

Fig. 11: Spatial extent of the accompanying planning.

Das **Entwicklungskonzept Linthebene (EKL)** soll die Voraussetzungen dafür schaffen, dass die Wirkungen des Projekts Linth 2000 – Hochwasserschutz und Erhalt bzw. Aufwertung der Lebensräume – ausserhalb des Linth 2000-Projektperimeters unterstützt und ergänzt werden. Zudem soll es sicherstellen, dass die künftigen raumwirksamen Aktivitäten in der Region auf die Ziele von Linth 2000 abgestimmt sind und alle mit der Linthsanierung erreichten Verbesserungen auch längerfristig Bestand haben.

Das EKL befasst sich mit folgenden fünf Themengebieten:

- Landwirtschaft;
- Ökologie;
- Siedlungsentwicklung;
- Entwässerung;
- Erholung und Freizeit.

Ziel ist eine aufeinander abgestimmte Massnahmenplanung. Für jedes der fünf Teilprojekte werden Massnahmenkonzepte erarbeitet. Ein Synthesebericht wird die Massnahmen bündeln und das weitere Vorgehen aufzeigen.

Die Erkenntnisse aus dem Entwicklungskonzept Linthebene werden in die kantonalen Richtpläne übernommen. Dadurch kann z.B. ein weiterer Anstieg des Schutzanspruches an das Linthwerk verhindert werden (weitere Zunahme des Schadenpotenzials). Für das Linthwerk ist zudem sehr wichtig, dass die bei einem Extremereignis gefluteten Notentlastungsräume (Überlastfall) langfristig gesichert werden.

Für die Schnittstellen zwischen Landwirtschaft und Linthsanierung (Landerwerb, Landumlegung, Entwässerung usw.) wurde in einem Gebiet von rund 1000 ha eine **landwirtschaftliche Planung** durchgeführt (Landwirtschaftliches Vorprojekt Benken Plus). In diesem Vorprojekt hat das Linthwerk zusammen mit dem angrenzenden Meliorationswerk und den Gemeinden die verschiedenen Anliegen und Bedürfnisse im Planungsgebiet aufeinander abgestimmt und einer gesamtheitlichen Lösung zugeführt. Der grosse Landerwerb für die Sanierung der Linthdämme und das komplexe hydraulische System der unteren Linthebene (Linthkanal fliesst über natürlichem Terrain) machten eine solche Planung notwendig.

Mit der landwirtschaftlichen Planung konnten auch Strukturverbesserungsmassnahmen für die Landwirtschaft und grossflächige ökologische Aufwertungen aufgezeigt werden. Die Projektgrundlagen sind schliesslich sehr wertvoll für das ganze Landumlegeverfahren der Linthsanierung.

Im Bereich der Flussmündungen wurde zusammen mit den Kantonen je ein **Nutzungs- und Schutzkonzept** erarbeitet.

Restrisiko minimieren

Mit der Sanierung des Linthwerks muss die festgelegte Ausbauwassermenge vollständig und schadlos abgeleitet werden. Auch Extremhochwasser müssen so beherrscht werden, dass es zu keinem vollständigen Versagen des Systems kommt.

Beim Linthwerk wird für die Dimensionierungswassermenge ein hundertjährliches Hochwasser gewählt ($HQ_{100} 360 \text{ m}^3/\text{s}$). Dammhöhen und Brücken werden auf diese Wassermenge ausgelegt. Es muss aber naturgemäss davon ausgegangen werden, dass es immer ein Hochwasser mit einem grösseren Abfluss gibt. Bei einem solchen extremen Hochwasser ($EHQ 500 \text{ m}^3/\text{s}$) werden Schäden akzeptiert, das System darf aber nicht kollabieren; das Extremereignis (Überlastfall) muss kontrolliert ablaufen.

Die Berücksichtigung dieser Projektvorgabe erlaubt - bis zu einem gewissen Punkt - mögliche Veränderungen bei der Hochwasserwahrscheinlichkeit.

Bei einem Überlaufen der Dämme kann es zur Erosion der Dämme mit anschliessendem Dammbbruch kommen, nahezu das ganze Gerinne würde auslaufen und grosse Teile der Linthebene würden überflutet. Zudem wäre das System bis zum Abklingen des Hochwassers nicht mehr beherrschbar, da die Dammbresche erst nach Tagen geschlossen werden kann.

Theoretisch können die Dämme so konzipiert werden, dass sie einer Überströmung standhalten. Diese Lösung ist aber sehr teuer und beansprucht mehr Land (flacher Damm) und/oder wertvolle Materialressourcen (Erosionsschutz). Die Wasserbauphilosophie des Bundes sieht daher eine andere Massnahme für die Beherrschung des Überlastfalles vor: Wenn immer möglich soll das Mehrwasser (Differenz zwischen Dimensionierungswassermenge und Extremhochwasser) über Notentlastungen aus dem Gerinne in Entlastungsräume und/oder –

korridore abgeleitet werden. Mit einer Entlastung kann ein unkontrolliertes Überlaufen der Dämme verhindert werden.



Abb. 12: Beispiel eines Dammbrechens am Alpenrhein beim Hochwasser 1927. Weil der Damm brach, floss praktisch der ganze Alpenrhein aus.

Fig. 12: Example for a dam break at the Alpenrhein during the flood 1927, leading to a complete diversion of the river.

Am Linthkanal ist eine derartige Entlastung oberhalb der eigentlichen Dammschleife möglich. Die Mehrwassermenge wird in eine Geländekammer abgeleitet, im Kanal verbleibt ein bordvoller Abfluss ($HQ_{300} 420 \text{ m}^3/\text{s}$). Die Ausleitung erfolgt über eine regulierte Entlastung mit einem Klappwehr. Die regulierte Entlastung ermöglicht eine spätere Entlastung aus dem Hautgerinne. Dadurch wird auch die zu entlastende Wassermenge deutlich reduziert.



© swisstopo 2006

Abb. 13: Konzept Überlastfall beim Linthkanal: Ableiten der Mehrwassermenge oberhalb Flussabschnitt mit beidseits freistehenden Dämmen.

Fig. 13: The concept of overstraining the system of the Canal Linth: Diversion of water volume above the capacity limit of the canal above a river section with free-standing levees.

Anders präsentiert sich die Situation beim Escherkanal. Unterhalb der Siedlungen wurde der rechtsseitige Damm bereits während dem Bau, d.h. vor bald 200 Jahren, rund 0.25 m tiefer ausgeführt. Dadurch kann zusätzliches Wasser in die Geländekammer zwischen Kanal und Berghang in Richtung Walensee entwässern. Im Siedlungsgebiet hingegen kann die Überlastfallproblematik nicht isoliert für den Escherkanal gelöst werden. Hier müssen Massnahmen oberhalb des Projektperimeters, an der Glarner Linth, gesucht werden.

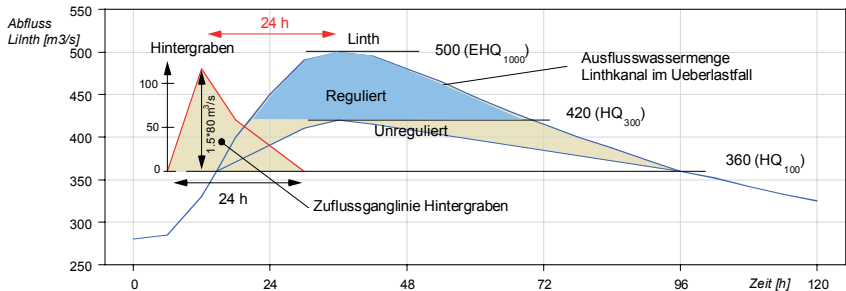


Abb. 14: Abflussganglinie Linthkanal. Hellblau hinterlegt ist das Abflussvolumen, welches entlastet wird. Bei einem Dammbuch würde das gesamte Volumen unkontrolliert ausfliessen.

Fig. 14: Hydrograph of the Canal Linth. In blue: flood volume above the channel capacity spilled over as flood diversion. In case of a dam break, the total volume would flow out without any control.

Notfall planen

Bis zum Abschluss der Linthsanierung muss bei einem Hochwasserereignis mit einem Dammbuch gerechnet werden. Eine Notfallplanung ist daher zwingend erforderlich.

Die Notfallplanung wurde von einer eigens eingesetzten Arbeitsgruppe unter der Leitung des Linthingenieurs erarbeitet. Die Erkenntnisse aus der laufenden Planung und die verschiedenen Hochwasser führen dazu, dass die Notfallplanung immer wieder angepasst werden muss.

Der Notfallschutz an der Linth regelt die Zusammenarbeit und die Kompetenzen im Ereignisfall sowohl auf Seiten des Linthwerks als auch der beteiligten Kantone. Das **Notfallschutzkonzept** ist von der Linthkommission und den Kantonsregierungen genehmigt.

Der Einsatz der verschiedenen Organe (Werkschutz und Bevölkerungsschutz) ist in konkreten **Einsatzdokumentationen** geregelt. Der Werkschutz konzentriert sich auf das Halten des Linthwerk, der Bevölkerungsschutz kommt im Falle einer Überschwemmung zum Einsatz.

Technische Basis der Notfallplanung ist das Dokument **Grundlagen und Gefahrenbeurteilung**. In diesem Dokument werden die aktuellen Erkenntnisse über das Linthwerk zusammengestellt.

Die Notfallplanung schliesst neben dem aktuellen Werkzustand (Zustand heute) auch die künftigen Bauphasen während der Realisierung von Linth 2000 (Bauzustand) und die Beherrschung des Überlastfalls (Zustand nach Realisierung Linth 2000) ein.



Abb. 15: Schema Notfallplanung Linthwerk

Fig. 15: Schematic of the emergency planning of the Linthwerk.

Betroffene zu Beteiligten machen

Ein Projekt dieser Grössenordnung stellt enorme Anforderungen an die Projektierenden. Mannigfaltige Interessen gilt es abzuwägen und tragfähige Lösungen zu finden. Nicht nur rein technische Aspekte stehen im Vordergrund, sondern auch psychologische. Dem Risikodialog mit der betroffenen Bevölkerung muss besondere Beachtung geschenkt werden. Nur wenn die Bevölkerung vom Nutzen des Projekts überzeugt ist, kann es auch realisiert werden. Das Projekt „Linth 2000“ stellt einen massvollen Kompromiss zwischen den Forderungen nach Sicherheit, Ökologie, Wirtschaftlichkeit, Nutzung, Denkmalschutz und Naherholung dar.

Es wurde ein partizipativer Planungsprozess gewählt. Verschiedene Interessengruppen (Gemeinden, Umwelt und Landwirtschaft) und die Verwaltungen der betroffenen Kantone und des Bundes wurden in einer Begleitkommission zusammengefasst. Über das Massnahmenkonzept und das Vorprojekt führte das Linthwerk zudem jeweils ein breit abgestütztes Vernehmlassungsverfahren durch.

Bei der Evaluation der Sanierungsvarianten galt es auch die verschiedenen Interessen Dritter abzuwägen, wie z.B. zwischen dem Naturschutz und der Denkmalpflege.

Weiterführende Informationen:

www.linthwerk.ch

HOCHWASSERSCHUTZ KÖTSCHACH/MAUTHEN

VERGLEICH VON SOHLSTABILISIERUNGSMASSNAHMEN IN DER GAIL

FLOOD PROTECTION KÖTSCHACH/MAUTHEN

COMPARISON OF STREAMBED STABILIZATIONS IN THE RIVER GAIL

Thomas Krassnitzer¹, Ursula Stephan²

ZUSAMMENFASSUNG

In einem physikalischen Modellversuch wurden drei verschiedene Sohlsicherungsmaßnahmen für einen sensiblen Flussabschnitt durch ein Ortsgebiet untersucht, die einerseits einem hohen spezifischen Bemessungsabfluss standhalten müssen, andererseits die Hochwassersicherheit im Ortsgebiet nicht verschlechtern dürfen. Die untersuchten Maßnahmen - Sohlschwellen, offenes Deckwerk und aufgelöste Sohlrampe - erwiesen sich durchwegs als standsicher und ausführbar. In Hinblick auf eine spätere Umsetzung im Projektgebiet wurde jedoch die Variante Sohlschwellen aufgrund der Unsicherheit des zukünftigen Geschiebedargebots und der damit verbundenen möglichen großen Kolkiefen als nachteilig erachtet. Das offene Deckwerk hingegen wurde vor allem aufgrund seiner hohen Toleranz gegenüber einem variablen Geschiebedargebot und seiner vergleichsweise einfachen Umsetzbarkeit für diesen sensiblen Streckenabschnitt als am besten geeignet eingestuft. Um jedoch den gegenwärtig sehr monotonen Flussabschnitt ökologisch zu beleben, wird künftig eine Kombination aus offenem Deckwerk und einer aufgelösten Sohlrampe zum Einsatz kommen.

Keywords: Hochwasserschutz, Modellversuch, Offenes Deckwerk

ABSTRACT

In a physical model- experiment 3 different types of streambed stabilizations were tested for a sensitive part of the river Gail through a populated area. On one hand these types have to be stable at a very high unit discharge, on the other hand flood safety in this area must be guaranteed. The tested methods- River bottom sills, Open bed covering and Structured block ramps- all turned out as stable and practicable. In terms of realizing the project, the stabilization with River bottom sills turned out as not practical because of the uncertain amount of bed load in this area, combined with possibly high scour depths in the streambed. On the opposite Open bed covering has a high tolerance on variable bed loads and is comparatively easy to realize in this sensitive part of the river Gail, so that it was classified to

1 Projektleitung Modellversuch, DonauConsult Zottl&Erber ZT-GmbH, Klopstockgasse 34, 1170 Wien, Österreich, (Tel.: +43-1-4808010-33; Fax: +43-1-4808010-10; email: t.krassnitzer@donauconsult.at)

2 Projektleitung Modellversuch, Institut für Wasserbau und hydrometrische Prüfung, Severingasse 7, 1090 Wien, Österreich, (Tel.: +43-1-4026802-18; email: ursula.stephan@baw.at)

be the most convenient solution. But to ecologically revitalize the very straight and monotonously part of the river, it is planned to combine Open bed covering with Structured block ramps.

Keywords: Flood protection, Physical model experiment, Open bed covering

EINLEITUNG

Die Gail ist der größte rechte Nebenfluss der Drau. Sie entspringt am Nordhang der Karnischen Alpen (Osttirol/Österreich) und mündet östlich von Villach (Kärnten/Österreich) in die Drau. Sie durchfließt mit einer Gesamtlänge von 122 km das Tilliacher Tal, das Lesachtal sowie das Gailtal. Besonders im Oberen Gailtal war der Fluss ursprünglich stark verzweigt. Damals war das Gailtal durch weite Auen und feuchte Wiesen, aber auch häufige Überschwemmungen geprägt. 1875 begann die Gailregulierung, die bis in die 1970er Jahre reichte. Die Gail wurde begradigt und der Talboden entwässert. Durch die Regulierung wurde Ackerland gewonnen, jedoch vielen Arten der Lebensraum genommen. Seit den 1980er Jahren werden jedoch wieder Renaturierungsmaßnahmen z.B. durch Aufweitung des Flussschlauches durchgeführt (Honsig-Erlenburg und Petutschnig, 2002), wodurch sich die Vielfalt der Lebensräume und somit auch die Artenvielfalt wieder erhöhen können. Historisch reichte die Forellenregion lediglich bis Kötschach-Mauthen. Die durchgeführten Flussregulierungen an der Gail bedingten eine weitere Ausdehnung der Forellenregion stromab bis nach Hermagor.

Das Projektgebiet der Gail befindet sich in der Gemeinde Kötschach-Mauthen (km 78,5) im Gailtal. Das Gewässerbetreuungskonzept (Donau Consult, 1996) wies für diesen Abschnitt einen nicht ausreichenden Hochwasserschutz sowie eine mangelnde Sohlstabilität aus. Zudem fließt die Gail im Bereich Kötschach-Mauthen in einem hart regulierten Gerinne mit mehreren für Fische unüberwindlichen Sohlstufen. Die Anforderungen an eine Sanierungsmaßnahme im Projektgebiet reichen daher von der Verbesserung des Hochwasserschutzes sowie der Sohlstabilität bis hin zur Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit nach bestmöglichen ökologischen Gesichtspunkten. Zur Wiederherstellung der Fischdurchgängigkeit im Projektgebiet kommen nur ausgewählte Sohlsicherungsmaßnahmen wie Sohlschwellen, offenes Deckwerk oder eine aufgelöste Sohlrampe in Frage, die der Fischmigration kein Hindernis entgegensetzen. Um die verschiedenen Varianten der Sohlstabilisierung bei gleichzeitiger Überprüfung der Abflusskapazität untersuchen zu können, entschied man sich für einen physikalischen Modellversuch, wobei zwei Gründe ausschlaggebend waren:



Abb1: Projektgebiet, Kötschach- Mauthen, Gail

Fig1: Project area, Kötschach- Mauthen, Gail

- Beim Projektgebiet handelt es sich um einen sensiblen Streckenabschnitt durch ein Ortsgebiet mit einem hohen Schutzbedürfnis.
- Die Projektstrecke zeichnet sich durch ein vergleichsweise hohes Gefälle und einen hohen spezifischen Bemessungsabfluss aus, die beide außerhalb bisheriger Anwendungsbereiche von Bemessungsansätzen für die gewählten Varianten liegen, sodass keinerlei Erfahrungen über die Gültigkeit der Bemessungsansätze vorliegen.

Der Modellversuch diente somit auch einer Ausweitung des Gültigkeitsbereiches bisher vorliegender Bemessungsansätze vor allem für offene Deckwerke (Knauss, 1995; Hartlieb, 1999) sowie aufgelöste Sohlrampen (Vogel, 2002; Semadeni et al., 2004).

PHYSIKALISCHES MODELL - GRUNDLAGEN UND MODELLTECHNISCHE RANDBEDINGUNGEN

Um morphologische Sohlveränderungen in einem physikalischen Modell untersuchen zu können, ist ein Modell mit beweglicher Sohle erforderlich, das die Nachbildung des Deckschichtbildungsprozesses sowie von Anlandungs- und Erosionsprozessen ermöglicht. Es wurde ein Modell mit einer Länge von 20 m und einer Breite von 2 m im Maßstab von 1:30 errichtet, welches einen charakteristischen Streckenabschnitt von 600 m Länge im Ortsgebiet von Kötschach-Mauthen darstellte. Der Modellsand wurde in Anlehnung an eine aus mehreren Geschiebeprobungen im Projektabschnitt (Donau Consult, 2004) gewonnene Sieblinie ausgewählt (Abbildung 2), wobei eine möglichst gute Übereinstimmung des d_m bzw. d_{90} in Modell und Natur maßgeblich für die Auswahl war ($d_{m,N}/d_{m,M} = 68/76$ mm, $d_{90,N}/d_{90,M} = 196/199$ mm (Naturmaße)).

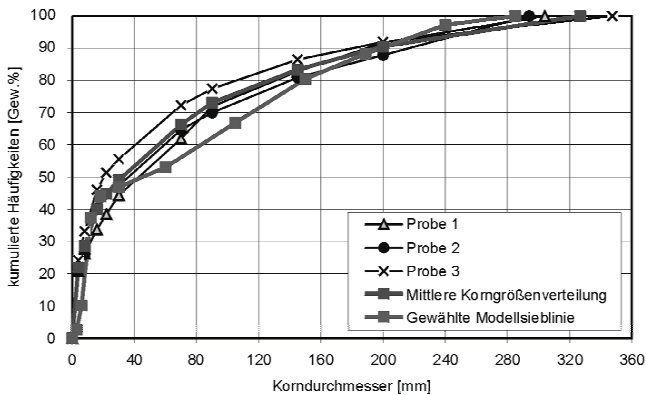


Abb2: Kornsummenkurven

Fig2: Grain-size distribution curve

Der gegenwärtige Gerinneabschnitt weist ein mittleres Gefälle von 7,6 ‰ zwischen den Sohlstufen auf. Nach Entfernung der Sohlstufen erhöht sich dieses auf rund 1 ‰. Die aktuelle Sohlbreite beträgt 18 m. Diese wird jedoch gemäß der Planung auf 20 m aufgeweitet. Die für das physikalische Modell maßgeblichen geometrischen sowie hydraulischen Größen sind in Tabelle 1 zusammengefasst:

Tab. 1: Charakteristische geometrische und hydraulische Größen in Natur und Modell
 Tab. 1: Characteristic geometrical and hydraulic quantities in nature and in the model

Maßstabsfaktor	Dimension	Natur	Modell
		1	30
Länge	[m]	600	20
Sohlbreite	[m]	20	0.67
Böschungshöhe	[m]	5	0.17
Gefälle	[‰]	1	1
MQ	[m³/s] bzw. [l/s]	11.5	2.3
HQ1	[m³/s] bzw. [l/s]	100	20.3
HQ5	[m³/s] bzw. [l/s]	175	35.5
HQ10	[m³/s] bzw. [l/s]	235	47.7
HQ30	[m³/s] bzw. [l/s]	440	89.3
HQ100	[m³/s] bzw. [l/s]	600	121.7
spezifischer Bemessungsabfluss	[m³/s·m]	30	0.18

Alle Versuchsreihen wurden mit stationärem Durchfluss gefahren, wobei als Basis für die Versuchsdauern der einzelnen Durchflüsse die Hochwasserganglinie 1966 des Pegels Mauthen herangezogen wurde. Die Hochwasserwelle, die einen maximalen Abfluss von 500 m³/s aufweist, wurde dafür auf einen Abfluss von 600 m³/s entsprechend dem HQ100 skaliert (siehe Abbildung 3) und die Versuchsdauern gemäß der Dauern der entsprechenden Durchflüsse in der Ganglinie festgelegt.

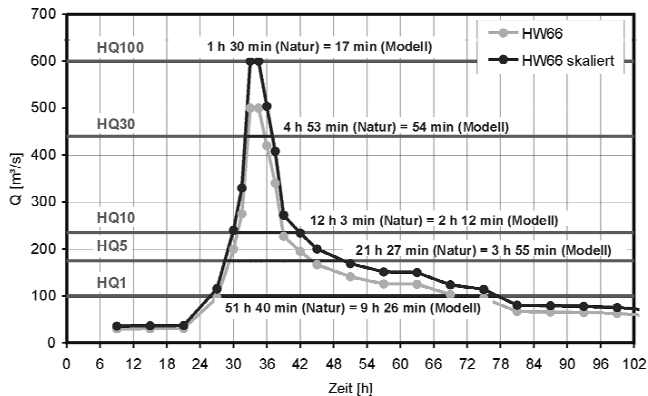


Abb3: Maßgebliche Abflussganglinie

Fig3: Representative hydrograph

Die Versuche wurden sowohl mit als auch ohne Geschiebezufuhr durchgeführt - letzteres vor allem um die jeweilige Sohlsicherungsmaßnahme unter extremen Bedingungen zu untersuchen. Die Sohllagen wurden zu jedem Versuchsbeginn und -ende mit einer Lasersonde vermessen, um die Sohlveränderungen zu bilanzieren. Unterstützt wurden die Sohlbilanzen durch Trocknung und anschließender Wägung des während eines Versuches aus der Strecke ausgetragenen Geschiebes. Die Wasserspiegellagen wurden ebenso zu Versuchsbeginn und -ende mit einer Ultraschallsonde gemessen.

VARIANTEN ZUR SOHLSTABILISIERUNG

Bei den zur Sohlstabilisierung ausgewählten Varianten handelte es sich um Sohlschwellen aus Bruchstein, ein offenes Deckwerk und eine aufgelöste Sohlrampe, die hinsichtlich ihrer wasserbautechnischen Machbarkeit und ihrer wirtschaftlichen Effizienz bei unterschiedlichen Strömungszuständen untersucht wurden.

Dimensionierung Sohlschwellen

Zur Stabilisierung von Fließgewässern besteht die Möglichkeit, die Sohle durch Sohlschwellen zu fixieren. Die Schwellen können z.B. aus Holz oder Bruchsteinen ausgeführt werden. Im vorliegenden Fall wurde die Ausführung breiter Schwellen durch Bruchsteine gewählt (siehe Abbildung 4). Um verschiedene Bauweisen für die Sohlschwellen zu überprüfen, wurden im Modell verschiedene Schwellenarten eingebaut. Die Schwellen waren einlagig, zweilagig, mit und ohne Spundwandsicherung an Schwellenfront bzw. Schwellenende und mit Steinsicherung an der Schwellenfront ausgeführt. (Abbildung 5).

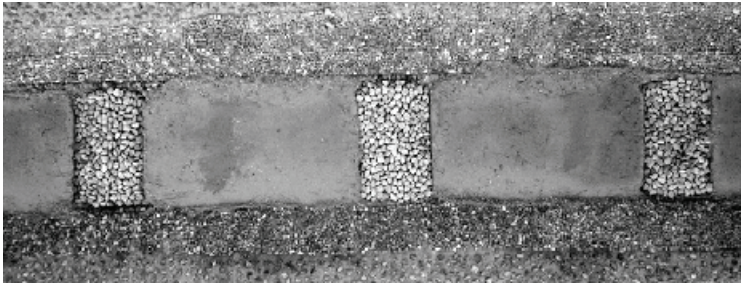


Abb4: Sohlschwellen

Fig4: Bottom sills

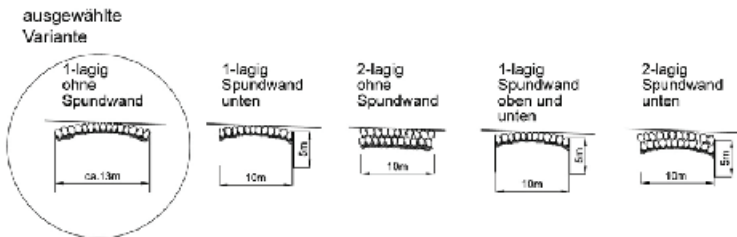


Abb5: Schematische Darstellung der untersuchten Sohlschwellentypen

Fig5: Schematic representation of tested types of bottom sills

Jede einzelne Schwelle bewirkt eine Umlenkung der Strömung zur Sohle hin, wodurch sich bei mangelnder Geschiebezufuhr massive Kolkwanen zwischen den Schwellen ausbilden können. Im schlechtesten Fall können diese Kolke Ausmaße annehmen, die die Stabilität der angrenzenden Böschungen gefährden. Die Kolke, die einerseits vom vorhandenen Sohlmaterial und andererseits vom Abstand der Schwellen abhängen, stellen somit eine limitierende Größe dar. Der Abstand der Sohlschwellen beträgt hier 40 m. Die Dimensionierung der Größe der Schwellensteine wurde auf Basis von Sohlschubspannungen vorgenommen. Die Sohlschubspannung wurde anhand der Bedingung $\tau = \rho_w \cdot g \cdot R_s \cdot I$ berechnet und einer kritischen Sohlschubspannung Θ_{cr} gegenübergestellt.

$$\Theta = \frac{\tau}{\rho_w \cdot g \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot d_s} = \frac{R_s \cdot I}{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \cdot d_s} \leq \Theta_{cr}$$

Aus diesem Ansatz wurde für das Bemessungshochwasser eine Schwellensteingröße von $d_s = 0,75 - 0,80$ m abgeleitet, die beim Bemessungshochwasser gerade nicht transportiert wird.

Dimensionierung offenes Deckwerk

Als zweite Variante wurde die Sohlsicherung durch ein offenes Deckwerk untersucht. Offene Deckwerke stellen eine naturnahe Lösung zur Sohlstabilisierung dar und zeichnen sich dadurch aus, dass auf die bestehende Flusssohle größere Steine mit bestimmter

Belegungsdichte, jedoch nicht flächendeckend aufgelegt werden. Dadurch bleibt ein großer Teil der ursprünglichen Sohle frei. Dennoch wird, bei richtiger Dimensionierung, der Sedimentaustrag fast vollständig unterbunden, weil jeder Stein mit seinem Strömungsschatten den dahinter liegenden Bereich der Sohle schützt. Maßgeblich für eine optimale Wirksamkeit des offenen Deckwerks sind vor allem die Steingröße der aufgelegten Deckwerksteine sowie ihre Belegungsichte (Abbildung 6).

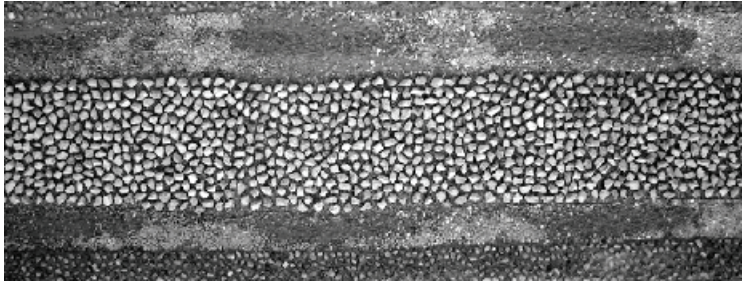


Abb6: Offenes Deckwerk

Fig6: Open bed covering

Die Bemessung des Deckwerks kann anhand verschiedener Berechnungsansätze erfolgen (z.B. Knauss, 1995; Hartlieb, 1999). Die an der Gail im Untersuchungsabschnitt vorhandenen hydraulischen Bedingungen (hohe spezifischer Abfluss, großes Gefälle, siehe Tabelle 1) überschreiten jedoch den Gültigkeitsbereich dieser Berechnungsansätze, sodass die Anwendung der Bemessungsformeln auf keine sinnvollen Vorgaben führt und auf einen alternativen Ansatz zurückgegriffen werden muss. Die Bemessung erfolgte - analog zur Dimensionierung der Schwellensteine - auf Basis von Sohlschubspannungen, die einer kritischen Sohlschubspannung gegenüber gestellt werden. Die Deckwerksteine wurden so dimensioniert, dass sie beim Bemessungsabfluss nicht bewegt werden. Aus diesem Ansatz ergab sich die rechnerische minimale Steingröße zu $d_S = 0,74$ m, wobei im Modell Steingrößen zwischen 0,75 und 0,95 m verwendet wurden.

Die Belegungsichte der Sohle wurde bei den Vorversuchen ausgehend von 40 % sukzessive auf 30 % reduziert, bis ein deutlicher Anstieg des Geschiebeaustrags aus der untersuchten Strecke zu verzeichnen war. Die optimierte Belegungsichte wurde mit 35 % fixiert.

Dimensionierung aufgelöste Sohlrampe

Als dritte Variante wurde eine aufgelöste Sohlrampe untersucht. In Österreich beschränken sich Ausführungsbeispiele in der Regel auf kleinere Bemessungsabflüsse mit kleinen spezifischen Belastungen bis $12 \text{ m}^3/\text{s}\cdot\text{m}$. Lediglich in Modellversuchen wurden spezifische Bauwerksbelastungen von $21 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ (Semadeni et al., 2004) oder $23 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ (Hengl, 2005) für aufgelöste Rampen getestet, die dennoch weit unter der vorliegenden spezifischen Bauwerksbelastung von $30 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ liegen.

Die Stabilität der Riegelsteine wird über eine Gleichgewichtsbedingung aus Strömungskraft P , Gewichtskraftkomponente H und Reibungskraft R über die Bedingung $P + H - R \leq 0$ definiert. Bei der Bemessung der Steingröße wird davon ausgegangen, dass nur ein Teil des Steines angeströmt wird und damit hydraulisch wirksam ist. Allerdings ist der Parameter der angeströmten Steinfläche in der Bemessung eine sehr sensible Größe, die im Zuge der

Versuche optimiert wurde. Aus dieser Optimierung ergab sich schließlich eine Riegelsteingröße von 4,5 bis 5,5 t, die einer angeströmten Fläche von rund 35 % entspricht. Die Becken zwischen den Riegeln wurden mit einer Sohlssicherung ausgelegt, die aus vollflächig verlegten Steinen mit einem mittleren Gewicht von rund 850 kg bestand

In das physikalische Modell wurde somit schließlich ein Prototyp einer aufgelösten Rampe mit einer Neigung von 1:25, einer Höhe von 3,6 m und einer Rampenlänge von 90 m eingebaut. Die Länge der mit einer leichten Gegensteigung versehenen Nachbettstrecke betrug $1,5 \cdot LR = 135 \text{ m}$ (Abbildung 7 und Abbildung 8). Das Nachbett wurde mit einer Sohlrollierung geschützt, die ebenfalls aus Steinen eines mittleren Gewichts von im Mittel 850 kg aufgebaut war. In den ersten 45 m unterhalb des Rampenfußes wurde der Nachbettschutz vollflächig aufgebracht, in den restlichen 90 m wurde ein offenes Deckwerk mit einer Belegungsichte von 40 % ausgeführt.

Abb7: Schematische Darstellung der aufgelösten Sohlrampe

Fig7: Schematic representation of a structured block ramp

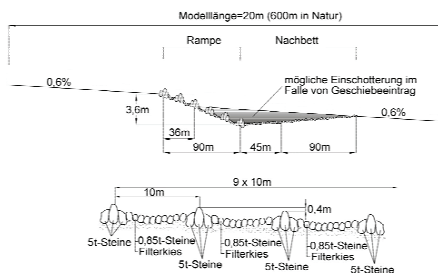


Abb8: Aufgelöste Sohlrampe

Fig8: Structured block ramp



ERGEBNISSE UND DISKUSSION

Alle drei Varianten erwiesen sich aufgrund der im Modellversuch optimierten Lösungen als standsicher und ausführbar. Für eine Umsetzung in der Natur sind jedoch noch weitere Randbedingungen zu berücksichtigen.

Stabilität und Sohlentwicklung

Bei den Sohlswellen entwickelten sich für Reinwasserversuche, je nach Ereignis und Geschiebetrieb, Kolkiefen von bis zu 2,0 m. Diese verfüllten sich jedoch größtenteils wieder während den Versuchen mit Geschiebezugabe (volle Transportkapazität). Solange die

Schwellen nicht versagten, blieb das Sohlniveau an den durch Schwellen gesicherten Punkten im Längsprofil stabil. Die durch die Kolkung zwischen den Sohlschwellen auftretende massive Wellung bewirkte jedoch eine starke Beanspruchung der Schwellenfront, die daher eines gesonderten Schutzes bedurfte. Sobald sich ein oder mehrere Steine aus dem Verband gelöst hatten, führte dies in weiterer Folge zum Versagen der Schwelle. Für die Umsetzung in der Natur ist letztlich die maximale Kolktiefe für die Böschungssicherung maßgeblich und muss daher auch bis in diese Tiefe reichen, woraus ein großer Materialbedarf resultiert.

Beim offenen Deckwerk blieben die Deckwerkssteine während aller Versuche im Wesentlichen stabil. Bei den Abflüssen HQ30 und HQ100 gerieten einzelne Steine in Bewegung und verrutschten um wenige Natur-Dezimeter. Dabei bildeten sich relativ gleichmäßige Strukturen aus dichter bedeckten und weniger dicht bedeckten Stellen. Die Stabilität des gesamten Deckwerkes wurde dadurch nicht gefährdet. Auch Versuche mit bewusst gebildeten Fehlstellen ohne Steinauflage in der Größe von 6,7 x 7,8 m führten zu keinem Versagen des Deckwerks. Die mit 35 % festgesetzte Belegungsichte führte zu einem sehr geringen Geschiebeaustrag aus der Strecke, der maximal 1 % der nach Hunziker (1995) errechneten Transportkapazität betrug. Die Höhenlage der Flusssohle blieb daher stabil und das offene Deckwerk erwies sich somit als sehr tolerant gegenüber Geschiebedefizit. Bei den Versuchen mit Geschiebezugabe zeigte sich eine ebensolche Flexibilität der Sohlstabilisierungsmaßnahme gegenüber Geschiebezufuhr. Anfangs wurden die Hohlräume zwischen Deckwerkssteinen verfüllt. Bei Eintreten einer Sättigung wurde schließlich das gesamte Geschiebe über das Deckwerk transportiert und ein Gleichgewichtszustand stellte sich ein. Die Deckwerksteine verschwanden unter einer Geschiebeschicht, wurden jedoch bei nachfolgenden Reinwasserversuchen wieder frei gespült und so erneut sohlstützend wirksam.

Stabilität und Sohlentwicklung auf der aufgelösten Rampe wurden wiederum in Reinwasserversuchen sowie Versuchen mit Geschiebezufuhr untersucht. Die Riegelsteine blieben bei allen durchgeführten Versuchen, mit und ohne Geschiebezufuhr, stabil. Lediglich die Sicherung der Becken zeigte nach dem Bemessungshochwasser einzelne herausgelöste Steine, die jedoch zu keinem Versagen des Bauwerks führten und somit toleriert wurden.

Wasserspiegel und Rauheit

Bei der Variante Sohlschwellen ergaben sich aufgrund der Kolkbildung je nach Wasserführung unterschiedlich hohe und in der Anzahl varierende Wellenberge und -täler. Die Kolk- und Wellenbildung waren stark vom Geschiebeangebot abhängig, es bildeten sich jedoch bei maximalen Kolkiefen Wellenhöhen von bis zu 4 m aus. Zusätzlich verursachte eine steigende Kolktiefe auch einen Anstieg der gesamten Gerinnerrauheit, die wiederum zu generell höheren Fließtiefen führte, was in Hinblick auf Einhaltung der Hochwassersicherheit Berücksichtigung finden muss. Werden Deckwerkssteine zur Sohlsicherung auf eine bestehende Flusssohle aufgelegt, so steigt die mittlere Höhenlage der Sohle. Gleichzeitig bedeutet dies auch einen erheblichen Anstieg der Gerinnerrauheit und damit im Vergleich zum

Ausgangszustand höhere Wasserspiegellagen, die aber deutlich ruhiger und glatter ausgeprägt waren als z.B. bei den Versuchen mit Sohlschwellen. In der vorliegenden Untersuchung sank der Rauheitsbeiwert nach Strickler des gesamten Gerinnes beispielsweise beim HQ10 von 32 auf 22 m^{1/3}/s. Versuche mit Geschiebezufuhr führten allerdings durch die Einschotterung der Deckwerkssteine wieder zu einem Ansteigen des Rauheitsbeiwertes auf seinen Ausgangszustand ohne Belegung mit Deckwerkssteinen. Geschiebetrieb kann somit die durch Deckwerkssteine bedingte höhere Gerinnerrauheit teilweise kompensieren.

ERGEBNISSE UND AUSBLICK

Alle drei Varianten erwiesen sich sowohl als standsicher als auch ausführbar und können als Module zur Sohlssicherung gut miteinander kombiniert werden. In Hinblick auf die spätere Umsetzung im Projektgebiet wurde die Variante Sohlschwellen aufgrund der Unsicherheit des zukünftigen Geschiebedargebots und der damit verbundenen möglichen großen Kolkiefen als nachteilig erachtet. Eine Abfolge aufgelöster Sohlrampen ist vor allem in einem Ortsgebiet mit hohen Ansprüchen an den Hochwasserschutz schwierig umzusetzen, da die Rampenkronen meist über der Bestandssohlenlage liegen wird, damit die Hochwasserspiegellagen anhebt und Kompensationsmaßnahmen wie eine Flussbettaufweitung oder eine Erhöhung oder Errichtung eines Hochwasserschutzdammes bedingt. Das offene Deckwerk hingegen wurde vor allem aufgrund seiner hohen Toleranz gegenüber einem variablen Geschiebedargebot und seiner vergleichsweise einfachen Umsetzbarkeit für diesen sensiblen Streckenabschnitt als am besten geeignet eingestuft. Das offene Deckwerk wird in diesem Fall nicht direkt, wie üblich, auf die bestehende Sohle aufgebracht, sondern wird im Zuge der Profilerweiterung, die notwendig ist um zukünftig zu erwartende Hochwässer schadlos abzuführen, mit Steinoberkante schon auf die richtige Sohlhöhe eingebaut. Man verliert dadurch nichts an berechnetem Fliessquerschnitt. In den Randbereichen der Sohle ist es dann auch notwendig den Böschungsfuss dementsprechend sicher auszugestalten, um den, durch die großen Fließtiefen hervorgerufenen, Schleppspannungen entgegenzuhalten. Linksufrig verläuft aus Gründen der Zugänglichkeit auch ein Betreuungsweg, der auf Höhe des Wasserspiegels eines 30- jährlichen Ereignisses geführt wird.

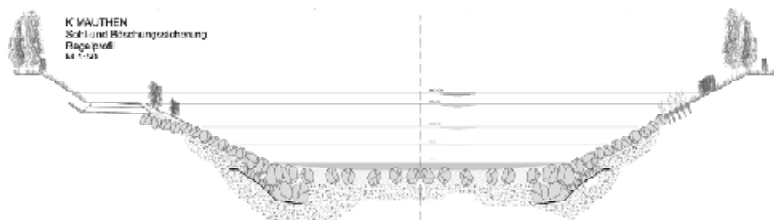


Abb9: Regelprofil, Offenes Deckwerk

Fig9: Standard shape, open bed covering

Um jedoch den gegenwärtig sehr monotonen Flussabschnitt ökologisch zu beleben, wird künftig eine Kombination aus offenem Deckwerk und einer aufgelösten Sohlrampe zum Einsatz kommen. Daraus werden sich in Kombination mit einer Variation der Gerinnebreite und neuer Uferstrukturen eine größere Strukturvielfalt und eine ökologische Aufwertung des Flusses ergeben. Zusätzlich werden durch Initiierung einer Tiefenrinne, die innerhalb der Flusssohle pendelt, Tiefenvarianzen erzeugt. In Kombination mit einer kürzlich entstandenen FAH an der oberen Grenze des Projektsgebietes sollte in Zukunft das longitudinale Kontinuum, zumindest bis in das angrenzende untere Lesachtal, wiederhergestellt sein.

ABKÜRZUNGEN

d90	[m]	Korndurchmesser bei 90% Siebdurchgang
dm	[m]	mittlerer Korndurchmesser
dm,S	[m]	mittlerer Steindurchmesser
dS	[m]	Steindurchmesser
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung
H	[N]	horizontale Gewichtskraftkomponente eines Steines auf geneigter Fläche
P	[N]	Strömungskraft, die auf einen Stein wirkt (treibende Kraft)
R	[N]	Reibungskraft eines Steins (stabilisierende Kraft)
RS	[m]	hydraulischer Radius der Sohle
Θ	[-]	dimensionslose Sohl Schubspannung
Θ _{cr}	[-]	dimensionslose kritische Sohl Schubspannung
ρ _S	[kg/m ³]	Steindichte
ρ _W	[kg/m ³]	Dichte Wasser
τ	[N/m ²]	Sohl Schubspannung

LITERATUR

DONAU CONSULT, Zottl& Erber (1996). GBK-Gail, Ist-Zustand, Wasserwirtschaftliche Bearbeitung

DONAU CONSULT, Zottl& Erber (2004). Geschiebeanalyse Gail

Hartlieb, A. (1999). Offene Deckwerke. Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der TU München. Band Nr. 85.

Hengl, M. (2005). Sanierung Untere Salzach - Übertragung Saalach-Modellversuche auf die Salzachrampen. Bericht des Instituts für Wasserbau und hydrometrische Prüfung. November 2005.

Honsig-Erlenburg W. und W. Petutschnig (Hrsg.) (2002). Die Gewässer des Gailtales. Naturwissenschaftlicher Verein für Kärnten, Klagenfurt 2002.

Hunziker, R. (1995). Fraktionsweiser Geschiebetransport. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. Band Nr. 138.

Knauss (1995): Von der Oberen zur Unteren Isar - Sohlensicherung an der Unteren Isar. Berichte der Versuchsanstalt Obernach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der TU München. Band Nr. 76

- Korger, H., Krouzecky, N. und M. Hengl (2004). Modelluntersuchung Modulrampe - Saalach. Endbericht. Insitut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie. TU Wien.
- LfU (2000). Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fließgewässern - Raue Rampen und Verbindungsgewässer. Landesanstalt für Umweltschutz. Baden-Württemberg. Nr. 63. Karlsruhe.
- Platzer, G. (2000). Dimensionierung muldenförmiger Blocksteinrampen. Teil 1: Bemessungsgrundlagen; Teil 2: Anwendung der Grundlagen. Schriftenreihe des BAW. Band 9.
- Raudkivi A. and R. Ettena (1982). Stability of Armour Layers in Rivers. Journal of the Hydraulics Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers (ASCE), Vol. 108, No. Hy 9. pp 1047-1057.
- Schauberger, W. (1973). Die räumliche Krümmung von Gefällsstufen und Sturzbettenschwellen. Österreichische Wasserwirtschaft 25. Heft 5/6. pp 120-124.
- Semadeni, N., Lange, D., Bezzola, G.R. (2004). Aufgelöste Blockrampen an der Emme. Turbulenzen in der Geomorphologie. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. Band Nr. 184. pp 207-214.
- Vogel, S. (2003). Ansätze zur Bemessung rauher Rampen in aufgelöster Bauweise. Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München. Band 88.
- Volkart, P. (1972): Die Stabilisierung von Flussläufen mittels einer Folge von Querschwellen. Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich. Band Nr. 6.
- Weinberger, P. (2000). Neubau des Käferhamer Wehres an der Saalach. Symposium "Betrieb und Überwachung wasserbaulicher Anlagen". Graz 2000. Schriftenreihe zur Wasserwirtschaft. Technische Universität Graz. Band 34. pp 327-336.
- Wibmer, K. (1998). Sanierung einer Steilstrecke der Salzach. Beiträge zum Symposium "Planung und Realisierung im Wasserbau - Vergleich von Zielstellungen mit den Ergebnissen". Berichte der Versuchsanstalt Oberrach und des Lehrstuhls für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft der TU München. Band 82. pp 175-186.

EIN FRÜHWARNSYSTEM FÜR DEN THUNERSEE

HYDRO-METEOROLOGISCHE INDIKATOREN FÜR DEN BETRIEB DES ENTLASTUNGSSTOLLENS IN THUN

AN EARLY WARNING SYSTEM FOR THE THUNERSEE HYDRO-METEOROLOGICAL INDICATORS FOR THE OPERATION OF THE CULVERT IN THUN

Peter Mani¹, Peter Schmocker², Erik Bollaert³, Martin Andres⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ereignisse vom Mai 1999 und August 2005 haben die Probleme des hydraulischen Systems Thunersee-Aare deutlich gezeigt. Die Ausflusskapazität aus dem Thunersee ist, bezogen auf die möglichen Zuflussvolumen zum Thunersee, ungenügend. Ein Grund dafür ist die Umleitung der Kander in den Thunersee, mit der im 18. Jh das Einzugsgebiet um rund 100 % vergrößert wurde. Um diese Situation zu verbessern, wird ein Entlastungsstollen gebaut. Mit diesem Stollen können knapp 100 m³/s Wasser mehr aus dem Thunersee abgeleitet werden. Eine massgebende Verbesserung der Situation bringt der Stollen jedoch nur, wenn er dazu eingesetzt wird, den See vor einem Ereignis abzusenken. Im Rahmen von umfangreichen Untersuchungen wurden Indikatoren für eine frühzeitige Hochwasserwarnung erarbeitet. Dabei wird zwischen Indikatoren, die die kurz- bis mittelfristige Disposition beschreiben und solchen, die ein beginnendes Ereignis anzeigen, unterschieden.

Keywords: Hochwasser, Frühwarnsystem, Hydro-Meteorologie

ABSTRACT

The flood events from May 1999 and August 2005 have clearly shown the problems of the hydraulic system Thunersee-Aare. Compared to the possible inflow volume, the outflow capacity of the Thunersee is insufficient. A reason for this is the reroute of the Kander into the Thunersee, which was made in the 18th century and increased the catchment area at around 100%. To improve this situation a culvert will be built. With this culvert about 100 m³/s additional water can be derived from the Thunersee. However, the culvert can only bring a significant improvement, if it is used to lower the water level of the lake before an event occurs. For this extensive investigations were carried out to derive indicators for an early flood warning. Thereby we distinguish between indicators, which describe a short to medium term disposition and such, which indicate the beginning of an event.

Keywords: Flood, early warning system, hydro-meteorology

1 geo7 AG, geowissenschaftliches Büro, Neufeldstrasse 5-9, 3012 Bern, Schweiz, (Tel. +41 (0)31 300 44 33, Fax: +41 (0)31 302 76 11, email: peter.mani@geo7.ch)

2 bhc Projektplanung, Mühlemattweg 7, CH-3752 Wimmis, (Tel. +41 (0)33 657 24 26, Fax: +41 (0)33 657 24 86, email: info@bhc-projektplanung.ch)

3 AquaVision Engineering, P.O. Box 73 EPFL, CH-1015 Lausanne, (Tel. +41 (0)21 691 45 13, email: erik.bollaert@aquavision-eng.ch)

4 Kissling + Zbinden AG, Ingenieure Planer USIC, Oberlandstrasse 15, 3700 Spiez, Schweiz, (Tel. +41 (0)33 650 71 71, Fax: +41 (0)33 650 71 72, email: martin.andres@kzag.ch)

AUSGANGSLAGE

Der Thunersee liegt im Einzugsgebiet der Aare im Berner Oberland (Abb. 1). Die wichtigsten Zuflüsse sind die Aare, die vorher den Brienersee durchfließt und die Kander, in die kurz vor der Einmündung in den See die Simme mündet. Die Kander wurde erst im Jahr 1714 in den Thunersee umgeleitet, wodurch sich die Einzugsgebietsfläche auf 2490 km² verdoppelte. Das Einzugsgebiet reicht von 557 m ü.M. bis in die Berner Hochalpen (Höchster Punkt: Finsteraarhorn, 4274 m ü.M.). Der Thunersee hat im Verhältnis zu seinem Einzugsgebiet eine sehr kleine Fläche (1.9 %) und nur wenig Spielraum zwischen der "normalen" Sommer-Seekote (557.80 m ü.M.) und der Hochwassergrenze von 558.30 m ü.M. Dies entspricht einem Rückhaltevolumen von lediglich 21 Mio. m³. Zudem ist der Ausfluss sehr seicht, wodurch die Ausflusskapazität stark eingeschränkt ist. Ein Zuflussüberschuss von 100 m³/s führt in einem Tag zu einem Seespiegelanstieg von 18 cm.

Der Thunersee wird über zwei Schleusen (Mühle- und Scherzligschleuse), die in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erbaut wurden, reguliert. Die Regulierung des Sees erfolgt heute anhand eines Linienreglementes. Dieses ordnet, abhängig von der Jahreszeit, einem bestimmten Seestand einen definierten Abfluss aus dem See zu. Ab einer Seekote von 558.0 m ü.M. werden die Schleusen vollständig geöffnet. Der Ausfluss aus dem See ist dann direkt von der Seekote abhängig.

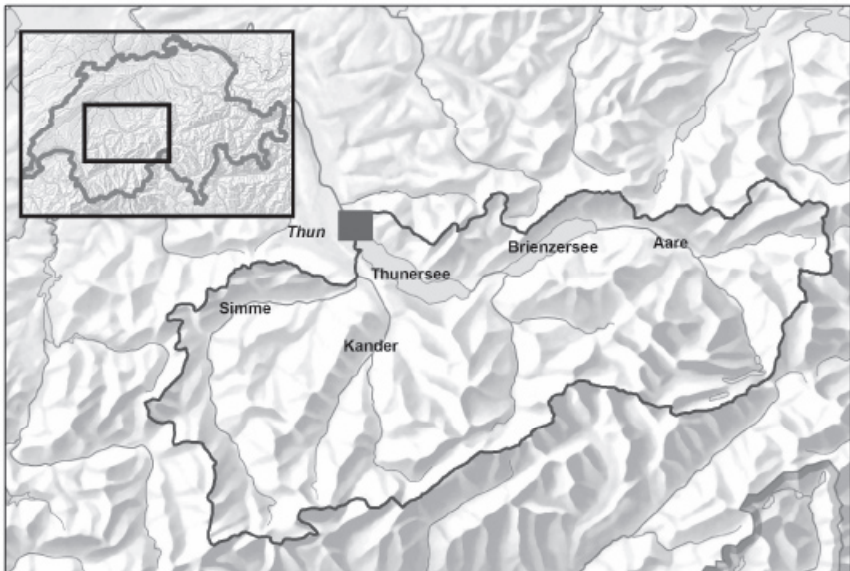


Abb. 1 Gebietsübersicht Thunersee-Einzugsgebiet

Fig. 1 Overview Thunersee catchment area

Die Hochwassergrenze des Thunersees liegt auf 558.3 m ü.M., wobei grössere Schäden erst ab einer Seekote von 558.6 m ü.M. auftreten. Dieser Wert wurde seit Messbeginn im Jahr 1905 viermal überschritten, wovon zweimal in den letzten acht Jahren (Abb. 2). Bei den beiden letzten Ereignissen in den Jahren 1999 und 2005 überstieg der Seespiegel die Hochwasser-

grenze um fast einen Meter. Der Charakter der beiden Hochwasserereignisse war jedoch sehr unterschiedlich.

- Beim Hochwasserereignis im Mai 1999 führte nach einem schneereichen Winter eine intensive Schneeschmelze zu einem langsamen aber stetigen Seespiegelanstieg bis auf eine Kote von 558.10 m ü.M. Auf diese Phase folgten mehrere Tage mit intensiveren, jedoch nicht aussergewöhnlichen Niederschlägen. Da jedoch die Abflussbereitschaft aufgrund der Vorgeschichte sehr hoch war, führten diese Niederschläge zu grossen Zuflüssen zum Thunersee und dort zu einem sehr raschen Seespiegelanstieg. Der Anstieg von 62 cm in drei Tagen war damals der zweithöchste Wert seit Messbeginn. Ein noch stärkerer Anstieg von 68 cm in drei Tagen war im Juni 1910, ebenfalls im Zusammenhang mit Schneeschmelze und Starkregen, registriert worden. Am 15. Mai erreichte der See mit einer Kote von 559.17 m ü.M. den Höchststand.
- Einen wesentlich anderen Verlauf nahm das Hochwasser vom August 2005. Vor dem Ereignis lag der Seespiegel auf einem normalen Niveau, dies trotz einer relativ feuchten Vorgeschichte. Grossräumige Starkniederschläge im ganzen Berner Oberland führten dann zu grossen Zuflüssen zum Thunersee und zu einem äusserst raschen Anstieg von 140 cm in zwei Tagen. Der See erreichte eine Kote von 559.25 m ü.M. Schon im Jahr zuvor wurde im Juni ein Anstieg von 70 cm in zwei Tagen registriert.

Wegen der geringen Ausflussskapazität des Thunersees dauerte es im Jahr 1999 12 Tage, bis der Seespiegel wieder unter die Hochwassergrenze absank, im Jahr 2005 waren es 5 Tage.

Neben diesen beiden grossen Hochwasserereignissen wurde die Hochwassergrenze auch in den Jahren 2002 und 2004 überschritten. Schon nach dem Ereignis vom Mai 1999 wurden von den Gemeinden rund um den Thunersee Massnahmen gefordert, um solche Ereignisse zu verhindern. Die weiteren Ereignisse haben diese Forderungen noch verstärkt.

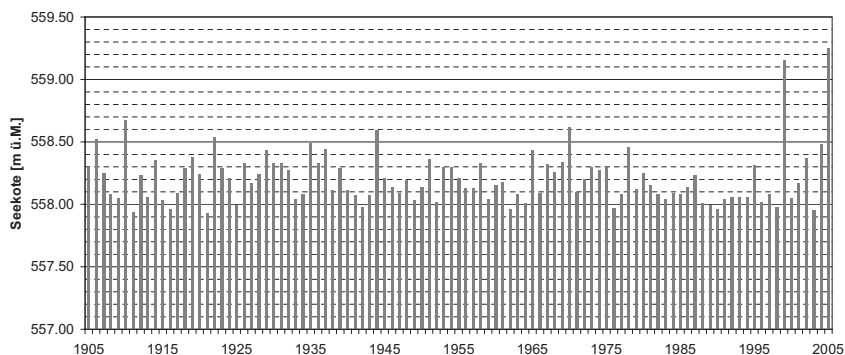


Abb. 2 Jahreshöchststände des Seepiegels Thunersee

Fig. 2 Annual peak sealevel of the Thunersee

DER ENTLASTUNGSSTOLLEN

Das Bauwerk

Die Evaluation verschiedener Massnahmenvarianten zeigte, dass nur ein langer Entlastungsstollen zwischen dem Thunersee und der Aare die Situation massgeblich verbessern kann.

Der Entlastungsstollen weist eine Länge von rund 1'210 m und einen nominalen Innendurchmesser von 5.5 m auf. Er führt vom Ende eines Schifffahrtskanals (in Verlängerung des Thu-

nersees) bis zur Aare unterhalb des Kraftwerks Thun. Das Bauwerk des Entlastungsstollens unterteilt sich in drei Abschnitte: das Einlaufbauwerk, den bergmännisch aufgefahrenen Stollen und das Auslaufbauwerk.

Die hydraulische Funktionsweise des Entlastungsstollens entspricht einem Düker. Dieser nützt das Wasserspiegelgefälle von rund 6 m zwischen der Aare unterhalb des Kraftwerks und dem Schifffahrtskanal. Durch eine Tafelschütze beim Auslauf kann die Durchflussmenge reguliert werden. Der Stollen ist damit immer unter Überdruck und Betriebsbeeinträchtigungen durch instationäre hydraulische Effekte (Luftetrug, Pulsationen etc.) sind nicht zu erwarten. Eine zweite Tafelschütze beim Einlaufbauwerk ist im Normalfall geöffnet. Sie dient als oberes Abschlussorgan zum Leeren des Stollens für den Unterhalt sowie als Notorgan, im Falle, dass sich die Regulierschütze nicht schliessen lässt. Es kann von einer nominalen Abflusskapazität des Stollens bei Vollöffnung der Schütze von 110 - 115 m³/s ausgegangen werden (je nach Wasserstand bzw. Wasserführung der Aare). Dabei wird eine Strömungsgeschwindigkeit im Stollen von bis ca. 4 m/s erreicht.

Anforderungen an den Betrieb

Mit Hilfe des Entlastungsstollens kann der Abfluss aus dem Thunersee mehr oder weniger unabhängig vom Seestand um 100 m³/s erhöht werden. Während des Ereignisses vom August 2005 lagen die Zuflüsse zeitweise 500 m³/s über dem Ausfluss. Das bedeutet, dass in solchen Fällen weiterhin mit einem raschen Seespiegelanstieg gerechnet werden muss. Der Entlastungsstollen kann seine optimale Schutzwirkung deshalb nur dann entfalten, wenn er frühzeitig eingesetzt wird, um vor einem Hochwasserereignis das Rückhaltevolumen im See zu vergrössern. Andererseits führt ein tieferer Seespiegel zu verschiedenen Beeinträchtigungen, beispielsweise bei der Personen- und Frachtschifffahrt auf dem Thunersee oder bei Feuchtbiotopen im Uferbereich. Weiter müssen auch die Schutzinteressen der Unterlieger berücksichtigt werden. Hier ist es vor allem die Stadt Bern, die schon unter den heutigen Bedingungen bei den beiden Hochwasserereignissen grosse Schäden zu verzeichnen hatte und nun befürchtet, dass mit dem Entlastungsstollen noch grössere Abflussmengen auftreten werden.

Um eine optimale Schutzwirkung des Stollens zu erreichen und die verschiedenen weiteren Ansprüche an den Betrieb des Entlastungsstollens zu berücksichtigen, wird ein Betriebsreglement für den Entlastungsstollen ausgearbeitet. Darin wird festgelegt, wann der Entlastungsstollen geöffnet werden soll und wann im Interesse der Unterlieger eine Drosselung des Ausflusses erfolgen soll. Ein zentrales Element für den Betrieb des Entlastungsstollens ist ein Frühwarnsystem, mit dem eine frühzeitige Absenkung des Seespiegels sichergestellt werden kann, ohne dass "ungerechtfertigte" Absenkungen erfolgen.

Für den Hochwasserschutz Thunersee sind drei Gefahrenstufen vorgesehen:

- Im Bereich GRÜN erfolgt die Regulierung des Sees aufgrund des bisher gültigen Regulierreglementes.
- Bei Gefahrenstufe ORANGE besteht eine Disposition für Hochwasser und der See wird vorsorglich auf eine Kote von 557.70 m ü.M. abgesenkt. Die Absenkung erfolgt wenn nötig mit dem Einsatz des Entlastungsstollens. Die Kote wird anschliessend gehalten.
- Die Gefahrenstufe ROT bedeutet eine weitere Zunahme des Hochwasserrisikos. In dieser Phase wird der Seespiegel um weitere 10 cm auf 557.60 m ü.M. abgesenkt und gehalten.

Neben den Regen-Gefahrenstufen sind zwei Schnee-Gefahrenstufen definiert. Diese werden aufgrund der Disposition für eine intensive Schneeschmelze festgelegt. Wird diese als hoch eingeschätzt, wird der See auf eine Kote von 557.45 m ü.M. abgesenkt.

Dieses Konzept hat zum Ziel, mittels eines frühzeitigen Einsatzes des Entlastungsstollens die maximale Hochwasserkote des Sees soweit zu senken, dass der nun tiefere Seepiegel mit Stollenbetrieb keinen höheren Abfluss bewirkt als der höhere Seepiegel ohne Stollen. Die Gefahrenstufen werden aufgrund von Indikatoren festgelegt.

INDIKATOREN FÜR DAS FRÜHWARNSYSTEM

Die Indikatoren sollen ein frühzeitiges Erkennen von möglichen Hochwasser-Situationen erkennen, dabei jedoch möglichst wenige ungerechtfertigte Alarme generieren. Für die Herleitung von Indikatoren für das Frühwarnsystem wurden meteorologische und hydrologische Messreihen analysiert und die Güte möglicher Indikatoren anhand von früheren Ereignissen und Szenarien überprüft. Grundsätzlich wird zwischen Indikatoren, die die kurz- bis mittelfristige Disposition beschreiben und Indikatoren für ein beginnendes Hochwasserereignis unterschieden. Im Folgenden werden die Indikatoren detaillierter beschrieben.

Indikatoren für kurz- bis mittelfristige Disposition

Ein wichtiger Indikator für die mittelfristige Disposition ist das Wasseräquivalent der Schneedecke im Einzugsgebiet. Aufgrund des grossen Flächenanteils im Einzugsgebiet des Thunersees ist vor allem die Höhenlage zwischen 1000 und 2000 m ü. M. von entscheidender Bedeutung. Liegen hier grosse Schneemengen, können bei einem raschen Temperaturanstieg grosse Flächen gleichzeitig unter Schmelzbedingungen gelangen, was zu einem entsprechend hohen Anfall an Schmelzwasser führt. Dies war beispielsweise im Mai 1999 der Fall.

Für die Herleitung der relevanten Grenzwerte wurden Schneehöhen und Wasseräquivalente ausgewertet. Für die Alarmauslösung soll das Wasseräquivalent verwendet werden. Zwar sind Schneehöhe und Wasseräquivalent in vielen Fällen recht stark korreliert, doch können gerade im Frühling intensive Schneefälle diesen Zusammenhang verfälschen, da das Wasseräquivalent des frisch gefallenen Schnees wesentlich geringer ist, als das von gut gesetztem Altschnee. Für die Analyse wurden die Daten von 6 Schneemess-Stationen ausgewertet. Die Wasseräquivalent-Datenreihen sind jedoch recht lückenhaft und reichen kaum über Ende März hinaus.

Für die Alarmierung ist es wichtig, dass möglichst frühzeitig verlässliche Werte zur Verfügung gestellt werden können. Die Auswertungen ergaben, dass erst Ende März verlässliche Angaben zur Wassermenge, die in der Schneedecke für die Schneeschmelze zur Verfügung steht, gemacht werden können. Zwischen Mitte und Ende März kann sich das Wasseräquivalent noch wesentlich verändern. Aufgrund dieser Tatsache wurde ein zweistufiges Verfahren festgelegt. Zuerst wird Mitte März die mittlere Schneehöhe von 9 Stationen im sensiblen Höhenbereich ermittelt. Übersteigt die mittlere Schneehöhe am 15. März den Grenzwert von 60 cm, wird Stufe zwei aktiviert. Dazu muss sichergestellt werden, dass Ende März die Wasseräquivalentsmessungen an den festgelegten Stationen durchgeführt werden und die Schneebedeckung im Berner Oberland aus Satellitenbildern ermittelt wird. Wenn über 60 % des Einzugsgebietes von Schnee bedeckt ist, und das Wasseräquivalent bei über 400 mm liegt, wird die Schnee-Gefahrenstufe ORANGE ausgelöst. Wenn über 60 % des Einzugsgebietes von Schnee bedeckt sind, und das mittlere Wasseräquivalent bei den definierten Stationen über 500 mm liegt, wird die Schnee-Gefahrenstufe ROT ausgelöst.

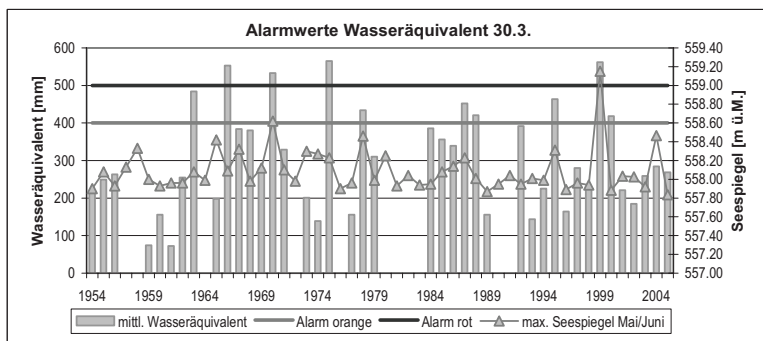


Abb. 3 Test des Indikators Wasseräquivalent der Schneedecke

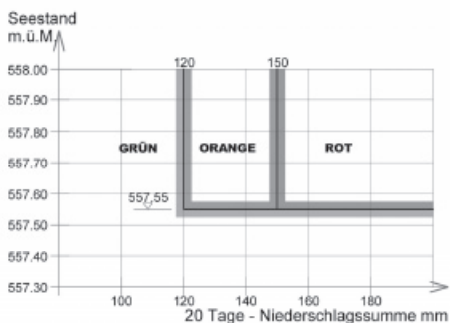
Fig. 3 Test of the indicator water equivalent of the snow cover

Ein weiterer wichtiger Einflussparameter für die kurz- und mittelfristige Disposition ist die Bodenfeuchte. Eine hohe Bodenfeuchte bewirkt bei Starkregenereignissen eine rasche und starke Abflussreaktion. Da eine grossräumig repräsentative Messung der Bodenfeuchte nach wie vor nicht oder dann nur mit sehr grossem Aufwand möglich ist, wurde aus den Niederschlagsdaten ein Indikator hergeleitet.

Tests haben gezeigt, dass eine 20-Tagesperiode die zuverlässigsten Alarmwerte ergibt. Längere Perioden führen zu einer späten Reaktion oder zu häufigeren Fehlalarmen, kürzere Perioden sind für die Bodensättigung in den meisten Fällen kaum relevant. Für die Stufe ORANGE wurde ein Schwellenwert von 120 mm, für die Stufe ROT ein Wert von 150 mm festgelegt (Abb. 4). Mit diesen Alarmwerten können in der Periode seit dem 1.1.1905 alle Ereignisse erfasst werden, bei denen der Seespiegel des Thunersees über 558.6 m ü.M. ansteigt.

Abb. 4 Indikator 20-Tagesniederschlag (Bodenfeuchte)

Fig. 4 Indicator 20 day sum of precipitation (soil moisture)



Indikatoren für beginnendes Ereignis

Für die Erfassung eines beginnenden Ereignisses werden räumlich und zeitlich gestaffelte Indikatoren verwendet (Abb. 5).

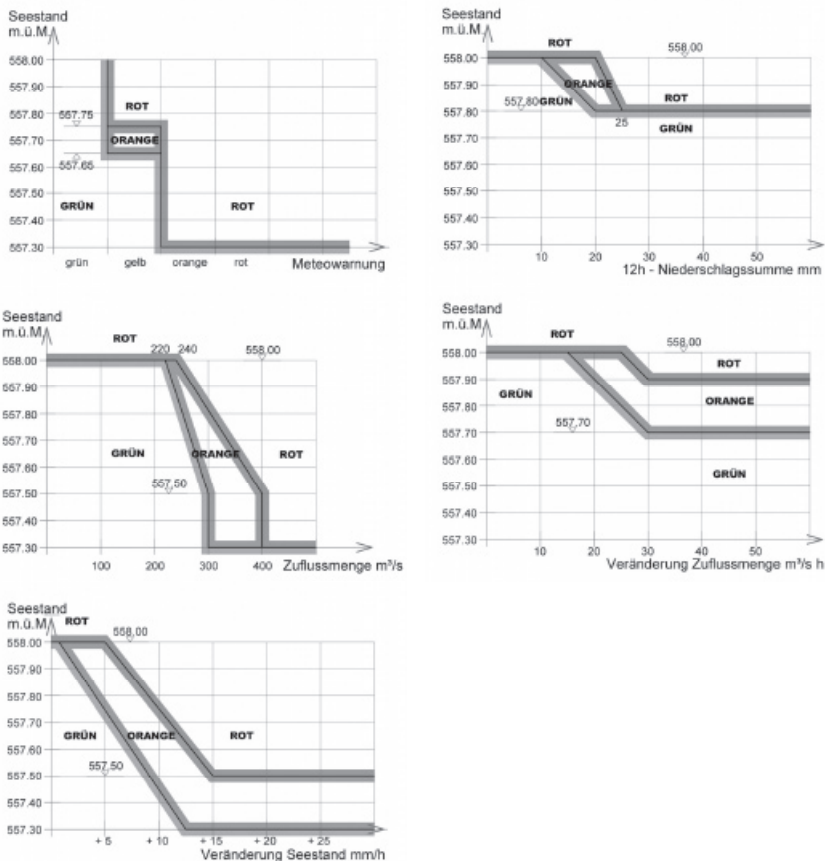


Abb. 5 Alarmfunktionen für die Niederschlags- und Abflussindikatoren

Fig. 5 Alarm functions for precipitation and discharge indicators

- Zuerst werden die Meteowarnungen von MeteoSchweiz bezüglich der zu erwartenden Niederschlagsmengen ausgewertet. Die Festlegung der Regen-Gefahrenstufe erfolgt in Abhängigkeit der Gefahrenstufe von MeteoSchweiz und dem aktuellen Seespiegel.
- Der Niederschlag im Einzugsgebiet bildet den zweiten Indikator. Dafür wird an 11, teilweise neu zu errichtenden Stationen, verteilt über das Berner Oberland, der Niederschlag stündlich erfasst und ausgewertet. Für die Festlegung der Grenzwerte wurde in einem ersten Schritt die geeignete Periodenlänge, über welche die Niederschlagssumme gebildet werden soll, gesucht. Analysiert wurden gleitende 24-, 12- und 6-Stunden-Niederschlagssummen. Das beste Ergebnis liefern die 12-Stundensummen. Die 24-Stundensummen reagieren zu träge. Bei einem hohen Schwellenwert ist der See bereits am Steigen, bei einem niedrigen werden häufig Fehlalarme ausgelöst. Bei der 6-Stundensumme können bereits gewitterartige Ereignisse zu einer Alarmauslösung führen. Solche Ereignisse führen

jedoch zu keinem starken Anstieg des Seespiegels. Für die 12-Stundensumme wurde eine Alarmwert-Funktion erstellt.

- Eine erste Einschätzung der Abflussreaktion lässt sich aus den Abflussmessungen in den höher gelegenen Einzugsgebieten vornehmen. Dazu werden die Messungen von 4 höher gelegenen Abfluss-Messstationen, für den Brienzersee an der Lütschine, für den Thunersee an der Kander, der Engstlige sowie der Simme ausgewertet.
- Unmittelbar an der Systemgrenze zum Thuner- und Brienzersee werden die Hauptzuflüsse ausgewertet. Ermittelt werden einerseits die Summe der Hauptzuflüsse (Aare, Kander, Simme, Lombach), andererseits die Steigerungsrate dieser Zuflüsse. Die Grenzwerte für die Auslösung der Gefahrenstufen wurden aus den Messdaten der letzten 6 Jahre abgeleitet.
- Der letzte Indikator bildet die Veränderung des Seespiegels pro Zeiteinheit. Dieses Kriterium wird auf alle Fälle später reagieren, als die Kriterien "Zuflussmenge" und "Steigerung Zuflussmenge". Es wird jedoch als "Backup-Kriterium" verwendet für den Fall, dass Messungen der Zuflüsse, beispielsweise durch Beschädigung von Messstellen, ausfallen sollten.

Je näher die Indikatoren am Thunersee liegen, umso kürzer wird die Reaktionszeit für die Seeabsenkung.

Herleitung von Indikator-Kombinationen

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Indikatoren zwar eine Hochwasserdisposition anzeigen, das Hochwasser dann aber nicht immer eintritt (Fehlalarm). Dies gilt es, wenn immer möglich, zu vermeiden. Die Sensitivität jedes Parameters wurde anhand der Datenreihen aus den Jahren 1999, 2003 und 2005 überprüft. Diese Analyse zeigte, dass die Sensitivität der verschiedenen Indikatoren saisonal unterschiedlich ist. Die Bodenfeuchte zum Beispiel bewirkt im Frühling zu oft einen Wechsel des Systems auf ROT, ohne dass dann ein Hochwasser eintritt (Abb. 6). Dazu braucht es zusätzlich ergiebige Niederschläge. Im Gegensatz dazu können mittlere Niederschlagsereignisse im Sommer bei hoher Bodenfeuchte zu Hochwasser führen. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurden die Indikatoren saisonal differenziert und Indikatorkombinationen definiert.

Überprüfung des Systems anhand vergangener Ereignisse

Die Überprüfung der Indikatoren anhand vergangener Ereignisse zeigt sehr gute Resultate. Bis auf eine Ausnahme, anfangs Juni 2004, ist es immer gelungen, in der Phase ROT den See auf 557.60 m ü.M. abzusenken. Vor allem durch den Indikator „Bodenfeuchte“ wäre beim Hochwasser August 2005 der See bereits 3 - 4 Tage vor den Starkniederschlägen abgesenkt worden. Ähnliches lässt sich zu den etwas kleineren Hochwassern vom Juli und August 2002 sagen. Beim Hochwasser vom Mai 1999 wäre der See wegen der Schneeschmelzdisposition gegen Ende April abgesenkt worden.

Zurzeit erarbeitet der Kanton Bern eine Studie zu möglichen Extremhochwassern. Das Indikatorensystem wird in nächster Zeit auch aufgrund der Resultate dieser Studie getestet (geo7 et al. 2007).

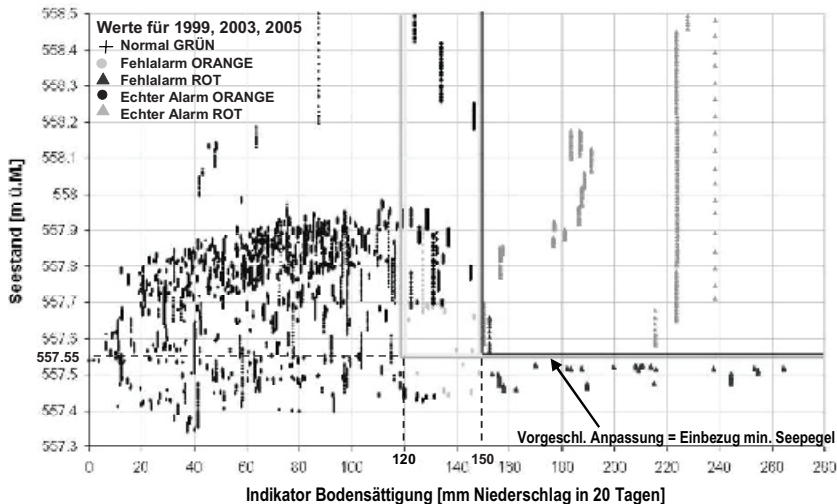


Abb. 6 Evaluation des Indikators Bodensättigung
 Fig. 6 Evaluation of the indicator soil moisture

Schutz Unterlieger

Bekanntlich darf eine Hochwasserschutzmassnahme das Risiko für die unterliegenden Gebiete nicht erhöhen. Um dies zu gewährleisten, enthält das Betriebsreglement einen speziellen Artikel. Der Artikel beschreibt, unter welchen Umständen der Stollen in Thun zu Gunsten der Unterlieger gedrosselt werden muss. Bei den grossen Hochwassern 1999 und 2005 hätte der Stollen einen um etwa 40 cm tieferen Seespiegel bewirkt. Dieser tiefere Seespiegel hätte bewirkt, dass der Abfluss durch die vollständig geöffneten Schleusen um etwa 100 m³/s tiefer gelegen hätte. Dies entspricht dem zusätzlichen Abfluss durch den Stollen. Der Gesamtabfluss hätte damit in der gleichen Grössenordnung gelegen, wie ohne Stollen. Vor und nach der Abflussspitze in Thun liegt der Abfluss mit Stollen allerdings höher als ohne Stollen. Tritt zu diesem Zeitpunkt im Zwischeneinzugsgebiet Thun-Bern ein Hochwasser auf, muss der Abfluss in Thun gedrosselt werden. Da die Hochwasser im Zwischeneinzugsgebiet nur kurze Zeit (einige Stunden) dauern, ist der Einfluss der Drosselung in Thun auf den See eher gering und kann toleriert werden. Für die Erfassung von Hochwasserereignissen aus dem Zwischeneinzugsgebiet wurden, soweit nicht bereits vorhanden, neue Abfluss-Messstationen an den Hauptzuflüssen gebaut. Weitergehende Untersuchungen zum Schutz der Unterlieger sind noch in Bearbeitung.

SCHLUSSBETRACHTUNG

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre im Berner Oberland führten zu neuen Herausforderungen bezüglich Hochwasserschutz am Thunersee. Mit technischen Massnahmen kann der Schutz verbessert werden. Für eine Optimierung der Schutzwirkung sind jedoch zusätzlich organisatorische Massnahmen notwendig. Mit dem neuen Betriebsreglement für den Entlastungsstollen soll dies erreicht werden. Das Frühwarnsystem stellt jedoch hohe Anforderungen an Technik und Organisation und es wird sicher notwendig sein, zumindest in der Anfangs-

phase das System weiter zu optimieren. Die laufende Evaluation der Indikatoren kann auch dazu beitragen, das Prozessverständnis weiter zu vertiefen, was gerade im Hinblick auf die zu erwartenden Veränderungen im Klimasystem von zentraler Bedeutung sein kann.

LITERATUR

geo7 AG, IUB, Hunziker, Zarn & Partner, Emch + Berger AG (2007): „Extremhochwasser im Einzugsgebiet der Aare“. Bericht zuhanden des Tiefbauamtes und des Wasserwirtschaftsamtes des Kantons Bern.

RISIKOABSCHÄTZUNG FÜR EINEN HYPOTHETISCHEN TALSPERRENBRUCH

RISK ESTIMATION FOR THE HYPOTHETICAL BREACH OF DAMS

Reinhard Pohl, Antje Bornschein¹

ZUSAMMENFASSUNG

Natürlichen und künstlichen Sperren, die Seen oder Speicher begrenzen, ist das wenn auch sehr kleine Risiko eines Versagens immanent. Um auf den Fall eines Unglücks vorbereitet zu sein, sind die Eigentümer und Betreiber von gefährlichen Anlagen, wozu auch Talsperren gehören, in der Pflicht, den zuständigen Behörden Informationen über mögliche Folgen eines Versagens bereitzustellen. Im Folgenden soll näher auf Erfahrungen bei der Erarbeitung derartiger Informationen für den unwahrscheinlichen aber möglichen Fall eines Talsperrenbruchs eingegangen werden.

Keywords: Talsperrenversagen, Risiko, Überflutung, Schwallwellen

ABSTRACT

Natural and artificial barrages impounding lakes or reservoirs possess a residual risk of potential failure however this might be very low. To be prepared in the case of any incident the owners and operators of hazardous plants (including dams) are in charge of forwarding information about the possible consequences of any thinkable failure to the authorities. Experiences referring to the elaboration of the required information for the improbable but possible case of dam failure are presented in the following.

Keywords: dam, failure, risk, mitigation, surge

EINFÜHRUNG

Die Öffentlichkeit und insbesondere die Bevölkerung, die unterhalb einer Talsperre ansässig ist, hat vielfach einen eher kritischen Blick auf diese Ingenieurbauwerke und das von ihnen ausgehende Gefahrenpotenzial. Statistisch gesehen ist die Wahrscheinlichkeit, bei einem Talsperrenbruch zu Schaden zu kommen, sehr viel geringer, als z. B. die Wahrscheinlichkeit in einen Verkehrsunfall verwickelt zu werden. Jedoch ist es ein verständliche Forderung, auch über den unwahrscheinlichen Fall des Talsperrenversagens und seine Folgen ausreichend informiert zu werden und mögliche Risiken auf ein gesellschaftlich vertretbares Maß zu reduzieren. Gleichzeitig ermöglichen Untersuchungen über mögliche Unfallschäden eine Früherkennung, das Ergreifen erforderlicher Gegenmaßnahmen und eine zielgerichtete Hilfe

¹ apl. Prof. habil. Dr.-Ing. R. Pohl und Dr.-Ing. A. Bornschein, Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, 01062 Dresden, Deutschland (Tel.: +48-351-463; Fax: +48-351-463-; email: reinhard.pohl@tu-dresden.de)

im Schadensfall. Vor diesem Hintergrund ist auch die Untersuchung der Ausbreitung von Flutwellen durch einen hypothetischen Talsperrenbruch zu sehen.

Seit dem 11. September 2001 ist ein schon fast vergessener Aspekt wieder ins Blickfeld der Öffentlichkeit getreten: terroristische Anschläge und kriegerische Handlungen, die die absichtliche Zerstörung von Bauwerken und technischen Einrichtungen mit großem Schadenspotenzial zum Ziel haben. Die Drohung, eine bestehende Talsperre zu sprengen, war z. B. aus den von unübersichtlichen bürgerkriegsähnlichen Kämpfen geplagten Ländern Afrikas zu hören.

Flutwellen, die durch den Bruch von Talsperren ausgelöst werden, sind seit langer Zeit Gegenstand von wissenschaftlichen Untersuchungen. Diese Forschungen erfuhren nach Schadensfällen (z.B. dem Bruch der Staumauer Malpasset, Frankreich) stets einen gewissen zeitweiligen Aufschwung. Dennoch gibt es bis heute noch nicht vollständig erforschte Probleme wie z.B. den zeitlichen Verlauf des Bruchverhaltens von Dämmen und Mauern sowie die Ausbreitung des Schwallkopfes auf trockener Sohle.

In Deutschland wurde lange Zeit die Frage möglicher Risiken von Stauanlagen im Kreis von Fachleuten nur ungerne und zurückhaltend erörtert. Die vorherrschende Meinung, dass Talsperren „nach menschlichem Ermessen sicher“ sind, ist natürlich richtig, wenn man das hinter der Formulierung „menschliches Ermessen“ verborgene Restrisiko erkennt. Falsch wäre es, eine 100-prozentige Sicherheit zu erwarten. Mit den beiden Hochwasserbemessungsfällen und dem Hinweis auf das Restrisiko im Zusammenhang mit dem Sicherheitsfreibord wurde mit der 2004 erschienenen Stauanlagennorm DIN 19700 ein erster Schritt zu einer risikobasierten Betrachtung und Bemessung von Stauanlagen gegangen.

GESETZLICHE GRUNDLAGEN IN DEUTSCHLAND

In Deutschland liegt die Verantwortlichkeit für den Brand- und Katastrophenschutz in den Händen der Bundesländer und der Gemeinden. Die in der letzten Dekade überarbeiteten Brand- und Katastrophenschutzgesetzen der deutschen Bundesländer enthalten nun alle Regelungen zur Auskunftspflicht der Besitzer bzw. Betreiber von gefährlichen Anlagen. Sie sind darin verpflichtet, den Betroffenen sowie den Katastrophenschutzbehörden Informationen bezüglich der Risiken zu erteilen, die von ihren Anlagen ausgehen könnten. Die allgemeine Rechtsauffassung scheint sich dahingehend zu entwickeln, dass unter dem Begriff „gefährliche Anlage“ nicht nur kerntechnische oder Chemieanlagen sondern auch Talsperren, große Deiche und Staustufen zu verstehen sind.

Es entspricht bereits jetzt der geübten Praxis, dass Betreiber von Stauanlagen sowohl auf Anforderung der Behörden als auch auf eigene Initiative hin für ihre Anlagen Risikountersuchungen durchführen lassen. Dazu gehören die Erarbeitung hypothetische Bruchszenerarien, die Abschätzung der Breschenentwicklung und des Ausflusses in Abhängigkeit von der Zeit und die Berechnung der Wellenausbreitung unterhalb der Talsperre. In Tabelle 1 sind die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen für die Auskunftspflicht der Eigentümer und Betreiber in den deutschen Bundesländern zusammengestellt.

Tab. 1: Gesetzliche Grundlagen für die Auskunftspflicht von Eigentümern und Betreibern risikoreicher Anlagen in Deutschland.

Tab. 1: Liability on information of dam owners in the law of the federal states in Germany.

Bundesland	Gesetz	Paragraf
Niedersachsen	Niedersächsisches Katastrophenschutzgesetz (NKatSG) vom 14. 2. 2002 (Nds. GVBl. S. 73) geändert durch Artikel 6 vom 16.9.2004 (Nds. GVBl. S. 362, 365)	§ 7 (2)
Berlin	Berliner Gesetz über die Gefahrenabwehr bei Katastrophen (Katastrophenschutzgesetz - KatSG) vom 11.2.1999 (GVBl. S. 78)	§ 6 (1)
Sachsen-Anhalt	Katastrophenschutzgesetz des Landes Sachsen-Anhalt (KatSG-LSA) vom 5.2.2002	Abschn. 2, § 5 (2)
Sachsen	Gesetz zur Neuordnung des Brandschutzes, Rettungsdienstes und Katastrophenschutzes im Freistaat Sachsen vom 24.6.2004 (SächsGVBl. S. 245) Sächsisches Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz (SächsBRKG)	§ 57 (1)
Nordrhein-Westfalen	Gesetz über den Feuerschutz und die Hilfeleistung (FSHG) NRW vom 10.2.1998	§ 24 (1), (2)
Thüringen	Thüringer Brand- und Katastrophenschutzgesetz ThBKG vom 25.3.1999 (GVBl. 1999 S. 227; 2000 S. 419; 24.10.2001 S. 274)	§ 6a, § 33
Schleswig-Holstein	Gesetz über den Katastrophenschutz in Schleswig-Holstein (Landes-katastrophenschutzgesetz - LKatSG - i.d.F.d.B. vom 10. 12. 2000	§ 28 (1)
Hessen	Hessisches Gesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz (HBKG) vom 17.12.1998 GVBl. I S. 530	§ 47
Baden-Württemberg	Gesetz über den Katastrophenschutz LKatSG – Landeskatastrophenschutzgesetz - Baden-Württemberg – vom 22.11.1999 (GBl. 1999 S. 625; 11.3.2004 S. 112; 7.3.2006 S. 6006)	§2 (1) 1
Bayern	BayKSG - Bayerisches Katastrophenschutzgesetz vom 24.7.1996 (GVBl. 1996 S. 282; 1999 S.130; 24.4.2001 S. 140)	Art.3(1)1. Art.8(2)
Rheinland-Pfalz	Landesgesetz über den Brandschutz, die Allgemeine Hilfe und den Katastrophenschutz LBKG - Brand- und Katastrophenschutzgesetz - Rheinland-Pfalz – vom 2.11.1981 (GVBl. 1981 S. 247; 2000 S.578; 2001 S. 29; 5.4.2005 S. 10405) Gl.-Nr.: 213-50	§32 (3)
Saarland	Gesetz Nr. 1095 über den Katastrophenschutz im Saarland (Landes-katastrophenschutzgesetz - LKatSG - Saarland) vom 31.1.1979, geändert durch Artikel 4 Abs. 43 des Gesetzes vom 7.11.2001 (Amtsbl. S.2168), zuletzt geändert durch Art. 1 Abs. 36 des Gesetzes vom 15.11.2006 (Amtsbl. S. 481).	§5a 2
Brandenburg	Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz des Landes Brandenburg BbgBKG - Brandenburgisches Brand- und Katastrophenschutzgesetz vom 24.5.2004 (GVBl. Nr. 9 vom 24.5.2004 S. 197)	§§ 37-40

Die Risikountersuchungen zielen auf die Erstellung sogenannter Gefahrenkarten ab, die in leicht verständlicher und übersichtlicher Form die Folgen eines Talsperrenbruches darstellen. Für den Notfall sind Gefahrenkarten eine wichtige Arbeitsgrundlage der Katastrophenschutzbehörden, da sie über das Schadensgebiet, möglich Rettungswege und zeitliche Entwicklungen, wie z. B. das Trockenfallen des Überflutungsgebietes, Auskunft geben. Zur Gestaltung der Gefahrenkarten existieren jedoch in Deutschland keine verbindlichen Regeln. Hier legen die Betreiber oft selbst den Umfang und die Form der Darstellung fest.

ERSTELLUNG EINES BRUCHSZENARIOS

Wird eine bestehende Stauanlage untersucht, so besteht der erste Schritt in der Risikobetrachtung im Finden hypothetischer Bruchszenarios. Der zeitliche Ablauf eines Sperrenbruchs hängt im Wesentlichen von der Art des Absperrbauwerkes ab. Der große Bereich möglicher Bruchszenarios für reale Stauanlagen wird auf der einen Seite begrenzt von dem plötzlichen und vollständigen Bruch einer Bogenstaumauer und auf der anderen Seite von dem allmählichen mehrere Stunden andauernden Erosionsprozess bei Erddämmen. Eine gute Kenntnis historischer Unglücksfälle bei Talsperren kann helfen, realistische Szenarios auszuwählen.

Die Breschenbildung selbst kann durch unterschiedliche Ursachen ausgelöst werden, wobei die verschiedenen Ursachen jedoch zu ähnlichen Breschenformen führen können. In Tabelle 2 ist eine Zusammenstellung für Staumauern zu finden. Der Bruch eines Staudammes kann durch innere Erosion (piping) oder durch das Überströmen des Dammes (overtopping) ausgelöst werden. Seltener als Ursache zu finden sind eine Beschädigung der Böschungen oder des Dammkörpers wie sie z.B. bei einem Erdbeben oder durch Setzungsfließbrutschungen verursacht werden.

Tab. 2: Mögliche Bruchursachen bei Staumauern und resultierend Bruchformen.

Tab. 2: Possible causes of dam failures and corresponding shapes of breaches.

	Bruchursache	Mögliches Bruchformen
1	Keine ausreichende Gleitsicherheit	1 gesamte Mauer „weggeschoben“ 2 einzelne Mauerfelder „weggeschoben“ (z.B. TS Austin) 3 einzelne Mauerteile, z.B. „Pfropfen“ in der Talmitte (wie bei Talsperre Puentes)
2	Keine ausreichende Kippsicherheit	1 gesamte Mauer umgekippt 2 einzelne Mauerfelder umgekippt (z.B. Talsperre San Francis)
3	Keine ausreichende Festigkeit der Widerlager bei Bogenstaumauern	1 Mauer öffnet sich wie eine Tür (z.B. Talsperre Malpasset) 2 Mauer insgesamt herausgedrückt
4	Sprengung bei kriegerischen Handlungen oder terroristischen Anschlägen (z.B. Eder, Möhne, Dnjeprostroj, Hwachon)	1 halbkreisförmige oder trapezförmige Bresche abhängig von der Sprengwirkung (z.B. Edertalsperre, Möhnetalsperre) 2 Schadensbilder wie bei 1 bis 3 möglich

Aus den Szenarios für die Bruchursachen können dann mögliche Breschengrößen und die Breschenbildungsdauer abgeleitet werden. Beide Größen beeinflussen maßgeblich die resultierende Ausflussganglinie. Die Bestimmung basiert auf historischen oder experimentell gefunden empirischen Zusammenhängen. Zum Teil werden auch physikalisch basierten Verfahren angewendet. In Tabelle 3 sind Erfahrungswerte zu Breschengrößen und Bruchdauer für die verschiedene Typen von Absperrbauwerken zusammengestellt. Um der den Werten innewohnenden Unsicherheit Rechnung zu tragen, werden Sensitivitätsanalyse hinsichtlich verschiedener Breschenparameter (Breite, Tiefe, Entwicklungsdauer) empfohlen.

Für Erddämme wurden in neuerer Zeit die Möglichkeiten, mit numerische Verfahren auf der Grundlage von Stofftransportgleichungen die Breschenbildung zu berechnen, enorm erweitert. Jedoch sind hier immer noch insbesondere beim maximalen Ausfluss aus einer Bresche Abweichungen zwischen den errechneten und den in der Natur bzw. im Experiment ermittelten Werten zwischen 30 und 50 % zu finden (IMPACT 2005).

Steinschüttdämme scheinen ein von Erddämmen deutlichen zu unterscheidendes Bruchverhalten zu haben. Zwar halten sie einer Über- bzw. Durchströmung deutlich länger stand. Der eigentliche Bruch geht dann jedoch viel schneller von sich, so dass größere maximale Abflüsse auftreten.

Problematisch ist die Abschätzung, wenn unbekannt ist, welchen Einfluss Einbauten im Dammkörper, z.B. ein undurchlässiger Kern, bzw. eine Oberflächendichtung auf der Wasserseite auf den Bruchvorgang haben. Es gibt experimentelle Untersuchungen zu Erddämmen, nach denen ein Damm mit einem Dichtungskern schneller erodiert als ein homogener Damm. Erklären lässt sich dieses Phänomen dadurch, dass der erosionsstabilere Kern eine Art Überfallkante bildet, hinter der eine erhöhte Turbulenz auftritt und damit eine verstärkte Erosion stattfindet. Welche Auswirkungen Außenhautdichtungen auf den Bruchvorgang haben, ist noch nicht untersucht worden.

Tab. 3: Erfahrungswerte für Breschenparameter und Bruchdauer verschiedener Absperrbauwerke.

Tab. 3: Breach parameters and breach formation time for different types of dams.

	Erddamm	Gewichtsstaumauer	Bogenstaumauer
Breschenbreite	0,5 bis 4 mal Dammhöhe	Vielfaches der Blockgröße, meist 2 bis 3 zentrale Blöcke	gesamte Breite
Seitenneigung der Bresche	im Bereich von vertikal bis 45°	vertikal	Neigung der Talseitenwände
Versagenszeit	0,5 bis 4 h	0,1 bis 0,5 h	nahezu plötzlich
Stauspiegel beim Versagen	0,3 bis 1,5 m über Dammkrone	3 bis 15 m über Mauerkrone	3 bis 15 m über Mauerkrone

Der Bruch einer Staumauer wird als plötzliches Versagen beschrieben. Seit dem 19. Jahrhundert immer wieder Anlass zu theoretischen Betrachtungen und experimentellen Untersuchungen. Die Bresche unterliegt nach dem Bruch keinen weiteren zeitlichen Veränderungen mehr. Die minimale Zeit für einen hypothetischen Bruch einer gemauerten Sperre kann abgeschätzt werden, wenn der freie Fall eines Körpers betrachtet wird und ist damit abhängig von der Höhe der Staumauer.

Für ein aus einem Damm und einem anschließenden Massivbauwerk (mit Hochwasserentlastungsanlage) bestehendes Absperrbauwerk wurden die in Tabelle 4 aufgeführten Lastfälle und Bruchszenerarien entwickelt. In diesem Fall war insbesondere die Erdbebensicherheit nicht im ausreichenden Maße gegeben. Eine schnelle Absenkung des Stauspiegels wird trotz Absenkbeschränkung betrachtet, da sie aufgrund einer Fehlbedienung eintreten könnte.

Den einzelnen Bruchszenerarien wurden Auftretenswahrscheinlichkeiten zugeordnet, die sich als Produkt aus der aus der Wahrscheinlichkeit des Eintretens der Belastung und der Wahrscheinlichkeit, dass unter der Belastung aus tatsächlich zum Bruch kommt, ergaben. Die Auftretenswahrscheinlichkeit wurden in der weiteren Betrachtung dazu verwendet, die resultierenden Abflussganglinien zu systematisieren (vgl. Abbildung 1).

Tab. 4: Mögliche Bruchszszenarien für ein kombiniertes Absperrbauwerk (Damm und Mauer).
Tab. 4: Possible dam breach scenarios (earth dam and masonry dam combined).

Lastfall	Bauwerksteil	Geführte Nachweise	Versagensmechanismus	Gesamtwahrscheinlichkeit
Betriebs- erdbeben $T_n = 100$	wasserseitige Dammböschung oben wasserseitige Dammböschung (unten und insgesamt) wasserseitige Flügelmauer luftseitige Dammböschung (oben und unten) gesamte luftseitige Dammböschung	Oberflächiges Abrutschen Böschungsbruch Kippen, Gleiten in der Sohlfuge Oberflächiges Abrutschen Böschungsbruch	Kräfteumlagerung in den Stützkörpern durch Abrutschen der Böschungen; dynamische Belastung führen zunächst zu Undichtigkeiten der Dichtung, später Sickerrohrenbildung mit weiterer Erosion, Kippen der Dichtwand, Breschenbildung. Erosionsbeginn im Anschlussbereich der Dichtwand an das Massivbauwerk vermutet;	10^{-3}
Bemessungs- erdbeben $T_n = 5000$	luftseitige Dammböschung Flügelmauer wasserseitige Dammböschung oben wasserseitige Dammböschung, (unten und insgesamt) wasserseitige Flügelmauer luftseitige Dammböschung (oben und unten) gesamte luftseitige Dammböschung luftseitige Flügelmauer wasserseitige Dammböschung	Kippen, Gleiten in der Sohlfuge Oberflächiges Abrutschen Abrutschen Kippen, Gleiten in der Sohlfuge Oberflächiges Abrutschen Böschungsbruch Kippen, Gleiten in der Sohlfuge Spreizsicherheit	trapezförmige Bresche im Anschluss an die HWE Wie oben, aber wegen geringerer berechneter Sicherheitsbeiwerte Bresche doppelt so groß (Schätzung) und Breschenbildung doppelt so schnell (Schätzung)	10^{-4}
schnelle Stauspiegel-senkung	wasserseitige Flügelmauer	Kippen, Gleiten in der Sohlfuge	Umkippen der Flügelmauern mit Beschädigung des Dichtungsanschlusses, Sickerrohrenbildung, weiter wie bei Betriebserdbeben	10^{-4}
Wasserdruck	luftseitiger Dammkörper	Böschungsbruch	Versagen der Dichtung (Beginn im Anschlussbereich) bedarf wahrscheinlich eines Initials	10^{-4}
Extremhochwasser	Damm	Überströmung	Dammbruch nach rückschreitender Erosion	$5 \cdot 10^{-5}$
Extremhochwasser mit Verklau-sung der HWE	Massivbauwerk (HWE)	Kippen	klaffende Sohlfuge am Massivbauwerk, plötzlicher Bruch, große Bresche	$5 \cdot 10^{-6}$
terroristischer Anschlag	Massivbauwerk (HWE)	Sprengung, Kippen, Gleiten	plötzlicher Bruch, große Bresche	10^{-6}

ERMITTLUNG EINER AUSFLUSSGANGLINIE

Für die Ermittlung der Ausflussganglinie ist zu Beginn festzulegen, welcher Anfangswasserstand im Reservoir in dem betrachteten Fall wahrscheinlich ist. Dieser ist eine maßgebliche Größe für die Bestimmung des maximalen Ausflusses. Für das in Tabelle 4 beschriebene Beispiel wurden davon ausgegangen, das in den meisten Fällen ein Vollstau der Talsperre zu berücksichtigen ist. Nur bei einem eintretenden Extremhochwasser mit Überströmung des Absperrbauwerkes ergibt sich der Anfangswasserstand als bordvoll zusätzlich der Überströmungshöhe.

Der maximale Ausfluss bei einem plötzlichen Bruch einer Staumauer kann unter Zugrundelegung der Lösung von Ritter 1897 bestimmt werden. Deren Herleitung liegt ein unendlich langen Kanal rechteckigen Querschnitts, Reibungsfreiheit und eine horizontale Sohle zugrunde. Da dieser Wert jedoch in verschiedene Untersuchungen experimentell weitgehend bestätigt werden konnte (vgl. eine Zusammenstellung in Bornschein 2006), kann er auch auf reale Bruchszenerarien mit einem plötzlichen Bruch und einer näherungsweise rechteckförmigen Bresche als maximal möglicher Ausfluss übertragen werden.

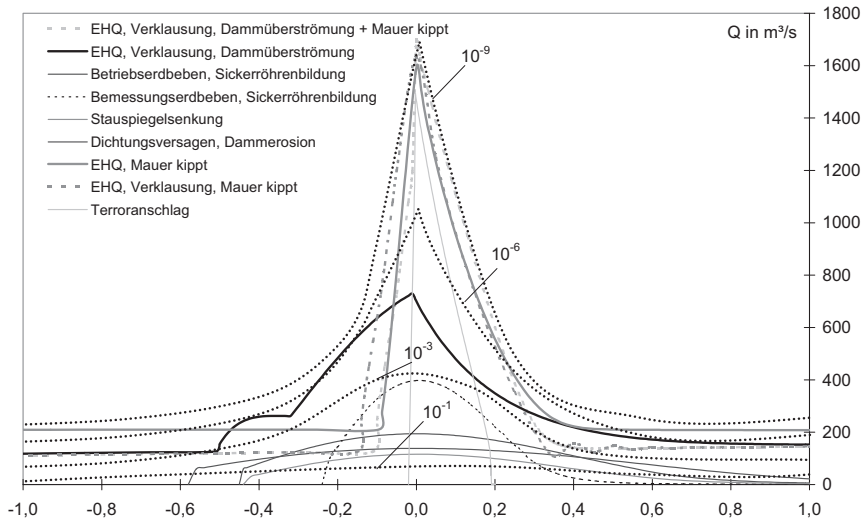


Abb 1: Ausflussganglinien für die Bruchszenerarien in Tabelle 4 und vereinfachte Ganglinien (.....), die x-Achse bildet die Zeit in Stunden ab.

Fig 1: Dam break outflow hydrographs referring to table 4 and simplified hydrographs (.....), x-axis shows time in hours.

Für Staudämme ist das plötzliche und vollständige Versagen des Sperrbauwerkes ein eher untypischer Fall. Vielmehr ist der Bruch eines Staudammes als Prozess aufzufassen, bei dem die Bresche durch das auslaufende Wasser vergrößert wird. Durch den nach der Bildung der Initialbresche beginnenden Entleerungsvorgang des Stauroumes kommt es in Abhängigkeit vom Ausfluss und der Schleppkraft des Wassers zu einer rückschreitenden Erosion des

Dammes. Somit hängt der Vorgang der Breschenbildung entscheidend von der Erosionsstabilität des Dammmaterials und den Eigenschaften der Strömung ab.

Sind die endgültige Breschengröße und die Breschenbildungsdauer abgeschätzt, kann die Ausflussganglinie auch auf der Grundlage des Abflusses über ein breitre Kroniges Wehr berechnet werden. Die Wehrbreite entspricht dann der unteren Breschenbreite. Hierzu werden weitere Parameter wie Einschnürungsbeiwerte, das Öffnungsgesetz für die Bresche (z. B. die stark vereinfachende Annahme einer gleichmäßigen Vertiefung und Verbreiterung der Bresche) u. a. benötigt.

In Abbildung 1 sind die für die Beispielsperre in Tabelle 4 berechneten Abflussganglinien dargestellt. Dabei wurden die Ganglinien entlang der x-Achse so verschoben, dass der Abflussscheitel immer bei $t = 0$ liegt. Für die weitere Flutwellenberechnung wurden die Ganglinien entsprechend den Eintrittswahrscheinlichkeiten zusammengefasst und vereinfacht. In der Abbildung sind diese vereinfachten Ganglinien gepunktet dargestellt. Zugeordnet ist die Wahrscheinlichkeit, mit der dieser Abfluss vom größten Ereignis pro Jahr erreicht oder überschritten wird.

WELLENAUSBREITUNG

Im Gegensatz zu Hochwasserwellen, die aufgrund von Starkniederschlägen oder Schneeschmelzen entstehen, breiten sich Talsperrenbruchwellen oft bedeutend schneller aus und haben höhere maximale Fluthöhen. Dies sind zwei Besonderheiten, die auch die numerische Simulation dieser Phänomene erschweren. Besonders stark gefährdet sind nach Talsperrenbrüchen die in unmittelbarer Nähe unterhalb des Absperrbauwerkes gelegenen Siedlungen, Industrie u. a., da nur ein geringer zeitlicher Spielraum für Warnung und Evakuierung bleibt. Von historischen Talsperrenkatastrophen sind Ausbreitungsgeschwindigkeiten der Flutwellen zwischen 5 und 65 km/h überliefert.

Die bei Talsperrenbruchwellen verwendeten ein- oder zweidimensionalen numerischen Berechnungsmodelle basieren auf den de-Saint-Venant-Gleichungen. Für deren Herleitung wurde vereinfachend angenommen, dass die Oberflächenkrümmung vernachlässigt werden kann. Gerade an der Wellenfront scheint diese Annahme die realen Verhältnisse nicht widerzuspiegeln. Jedoch haben Vergleiche von Messergebnissen und Berechnungen ergeben, dass die de-Saint-Venant-Gleichungen zwar nicht die Form der Wellenfront abbilden können, die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Front jedoch korrekt berechnet werden kann (Bornschein 2006).

Die Untersuchungen der CADAM 2000 haben bei Vergleichsrechnungen zur Flutwellenausbreitung nach dem Bruch der Bogenstaumauer Malpasset gezeigt, dass bei Verwendung des gleichen Strickler-Beiwertes eindimensionale Programme schnellere Flutwellen berechnen als zweidimensionale Programme. Die Ursache liegt in den Verlusten, die beim Abfluss durch stark mäandrierende Täler entstehen und die zu einer Abbremsung der Wellenfront führen. Diese werden in eindimensionalen Programmen nicht berücksichtigt. Deshalb erscheint die Wahl eines kleineren Strickler-Beiwertes für mäandrierende Täler gerechtfertigt. Somit wird eine über den Ausbreitungsweg gemittelte Berücksichtigung der Abbremsung der Flutwelle durch Abflussprozesse in Talkurven erreicht.

Die Auswahl geeigneter Strickler-Beiwerte für das zu betrachtende Tal hat maßgeblichen Einfluss auf die berechnete Größe der überfluteten Gebiete. So wird bei einem niedrigen

Strickler-Beiwert (hohe Rauheit der Talsohle) die Welle stärker abgebremst und dabei abgeflacht. Dadurch verringert sich der Scheiteldurchfluss deutlich. Gleichzeitig ist bei einem niedrigeren Strickler-Beiwert auch der zu einem Durchfluss zugehörige Wasserstand höher. Der Einfluss dieser beiden gegenteiligen Effekte auf das berechnete Überflutungsgebiet sollte mit Hilfe einer Sensitivitätsanalyse hinsichtlich des Rauheitsbeiwertes abgegrenzt werden.

Für die Ermittlung der einzugebenden Talquerschnitte sind oft Landkarten mit einem Maßstab von 1:25 000 ausreichend (Molinaro 1991). Da diese Aussage auf Untersuchungen basiert, die schon fast 20 Jahre alt sind und die heutige Rechentechnik eine deutlich detailliertere Abbildung der Talgeometrie ermöglicht, sollten hier auch höher aufgelöste Karten zum Einsatz kommen. Für die genauere Untersuchung von Siedlungsgebieten, die im Allgemeinen mit zweidimensionalen numerischen Modellen erfolgt, ist auf jeden Fall ein Geländemodell mit hoher Auflösung zu verwenden, auch wenn die Beschreibung jedes einzelnen Hauses bzw. der Straßen noch immer nicht möglich ist.

Gesetzliche Vorschriften zur Dammbrechwellenberechnung sind in einigen Ländern sehr ausführlich festgeschrieben. In Frankreich z. B. werden die Werte für die Flutwellenausbreitung mit Sicherheitsfaktoren beaufschlagt. Die maximale Flutwellenhöhe wird um 15 % erhöht und die Ankunftszeit um 15 % reduziert. Diese Korrekturen leiten sich von Sensitivitätsanalysen und praktischen Erwägungen ab. In den anderen Ländern, in denen Flutwellenuntersuchungen gesetzlich vorgeschrieben sind, werden solche Korrekturen nicht angewendet. (Molinaro 1991)

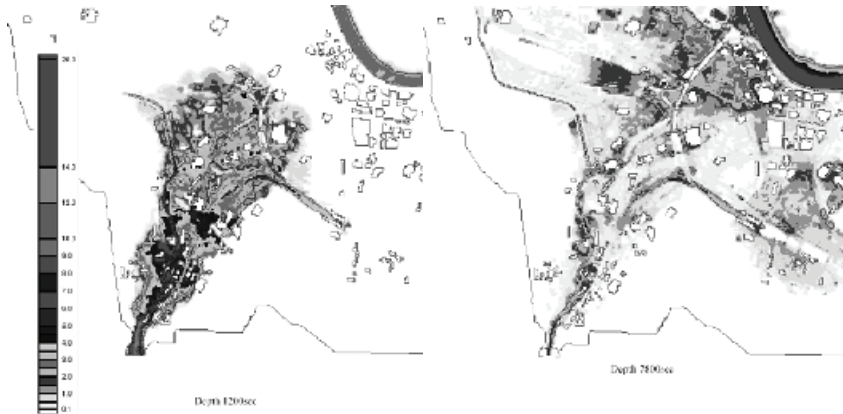


Abb 2: Ausbreitung einer Talsperrenbruchwelle in einem städtischen Gebiet (links 1,5 Stunden und rechts 3,3 Stunden nach dem Bruch der Sperre).

Fig 2: Surge wave propagation in an urban area (on the left side 1.5 hours and on the right side 3.3 hours after the dam break)

In Abbildung 2 ist die mit einem zweidimensionalen numerisch-hydraulischen Programm berechnete Ausbreitung einer Talsperrenbruchwelle in einem Stadtgebiet zu sehen. Das verwendete Geländemodell beschreibt den Verlauf der Geländeoberfläche ohne Gebäude. Bei derartig hohen potentiellen Durchflüssen kann diese generalisierende Betrachtung vorgenommen werden, da auch höhere Geländebereiche sowie kleinere Häuser überflutet werden könnten. Die Bebauung, die für die Strömung einen erhöhten Widerstand darstellt,

wird über einen sehr niedrigen Rauheitsbeiwert nach Strickler (im vorliegenden Fall $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) einbezogen und somit gemittelt über das gesamte Überflutungsgebiet berücksichtigt. Nur größere Gebäude sind im Geländemodell berücksichtigt (weiße Flächen).

Für die Berechnung wurde weiterhin eine feste Sohle unterstellt, was ebenfalls eine Näherungslösung darstellt. Vielmehr ist zu erwarten, dass das Wasser bereits Feststoffe (Geschiebe, Bauschutt, Gebäudeteile, Holz, Straßen- und Schienenfahrzeuge, Container u.s.w.) mitführt, diese eventuell ablagert und an anderer Stelle wieder aufnimmt. Durch Zerstörung von Gebäuden, Dämmen und Verkehrswegen kann es zu unvorhersehbaren Änderungen der Fließquerschnitte kommen, so dass die Anwendung von probabilistischen Geländemodellen erwogen werden könnte.

Eine starke Rauheit führt zu einem Abbremsen einer Flutwelle und damit einer geringeren Fließgeschwindigkeit und gleichzeitig zu einem erhöhten Wasserstand. In einem komplexen Straßensystem einer Stadt ergeben sich dagegen erhöhte Fließgeschwindigkeiten in den bevorzugten Strömungspfaden wie Straßen und Eisenbahngleise und geringere Fließgeschwindigkeiten innerhalb dichter Bebauung. Dadurch kann die Welle einige Punkte im Stadtgebiet auch eher erreichen als berechnet. Detailliertere Aussagen dazu könnten erst nach eingehenderen und bedeutend aufwändigeren zwei- und dreidimensionalen Untersuchungen gemacht werden.

Für erste Abschätzungen könnte man zugrunde legen, dass ähnlich wie in porösen Medien das Verhältnis von Filter- zu Abstandsgeschwindigkeit von einem Verbauungsgrad des Fließquerschnittes abgeleitet werden kann. Man könnte überschlägich davon ausgehen, dass die mit dem freien Querschnitt bei $k_{\text{St}} = 15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ berechnete Geschwindigkeit für den Abfluss zwischen einer zu 50 %, dauerhaft der Flutwelle widerstehenden Verbauung verdoppelt werden müsste.

GEFAHRENKARTEN UND FAZIT

Die Ergebnisse der Flutwellenberechnung werden für die Erstellung von Gefahrenkarten benötigt. Diese bilden die Arbeitsgrundlage für die Katastrophenschutzbehörden bei der Planung von Maßnahmen im Unglücksfall.

Neben der Darstellung des potentiellen Überflutungsgebietes können auch die maximal erreichten Wassertiefen dargestellt werden. Ergänzt werden sollte die Karte durch Angaben zum dargestellten Bruchszenario, zur Ankunftszeit der Welle, Ganglinien des Abflusses und des Wasserstandes und weiteren Angaben, die im Katastrophenfall wichtig sind. Wurden die Berechnungen mit zweidimensionalen Programmen durchgeführt ist auch die Darstellung der Fließgeschwindigkeit als Vektordarstellung möglich. Neben der Darstellung als GIS-Projekt sollten die Karten immer auch als Papierausdruck vorhanden sein. So können die Daten zum einem über den elektronischen Weg via Internet zur Verfügung gestellt, sind aber auf der anderen Seite auch bei einem Netzausfall erhältlich. In der Abbildung 3 ist ein Detail einer Gefahrenkarte dargestellt.

Für die Ausweisung von Intensitäten in Sondergefahrenkarten wird bei dynamischen Belastungen das Produkt aus örtlicher Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit verwendet. Werden Risikokarten erstellt, kommt die Auftretenswahrscheinlichkeit hinzu. So wird zwar bei einem Talsperrenbruch eine hohe Intensität erreicht, durch die geringe Auftretenswahrscheinlichkeit ergibt sich insgesamt jedoch ein nur geringes Risiko.

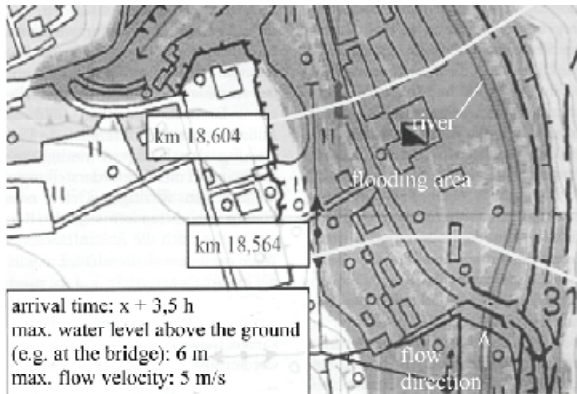


Abb 3: Detail einer Sondergefahrenkarte.
Fig 3: Details of an hazard map.

Für die Untersuchung eines Bruchszenarios mit anschließender Berechnung der Wellenausbreitung sind Annahmen hinsichtlich zahlreiche unscharfe Eingangsgrößen zu treffen. Somit stellt eine Gefahrenkarte immer nur ein bestimmtes Szenario dar, dem auch eine bestimmte Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet werden kann.

Eine weitere Möglichkeit für zukünftige Flutwellenuntersuchungen könnte die Anwendung statistischer Methoden sein. Als Ergebnis könnten dann in den Ereigniskarten Überschreitungslinien für bestimmte Wasserstände dargestellt werden.

LITERATUR

- Bollrich, G. u.a. (1989): „Technische Hydromechanik“ Band 2. Verlag für Bauwesen, Berlin
- Bornschein, A. (2006):“Die Ausbreitung von Schwallwellen auf trockener Sohle unter besonderer Berücksichtigung der Wellenfront“, Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 33, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, TU Dresden
- CADAM (2000):“Concerted Action on Dambreak Modelling”, European CADAM project, CD-ROM
- IMPACT (2005):“Investigation of extreme flood processes and uncertainty”, final technical report, www.impact-project.net
- Molinaro, P. (1991):“Dam-Break Wave Analysis – A State of the Art“, in: Computer Methods in Water Resources II, Vol. 2 Computational Hydraulics and Hydrology, Springer Verlag, S. 77-87
- Pohl, R. (1998): „Talsperrenkatastrophen in fünf Jahrtausenden. - Nur Zufälle?“ - Vortragsmanuskript mit weiteren Literaturhinweisen, Bildungsakademie für die Wasserwirtschaft, Essen
- Pohl, R. (2004): „Historische Hochwasser aus dem Erzgebirge“ Dresdner Wasserbauliche Mitteilung, Heft 28, TU Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, ISSN 0949-5061, ISBN 3-86005-428-7

OUTFLOW ANGLE FOR SIDE WEIRS IN A CHANNEL WITH MOBILE BED AT FLOOD DISCHARGES

Burkhard Rosier¹, Jean-Louis Boillat² and Anton J. Schleiss³

ABSTRACT

In flood protection engineering, side weirs or overflow dams are used to divert water in a controlled way into flood plains as soon as the discharge capacity of the channel is reached. Due to the lateral loss of water the sediment transport capacity in the main-channel is reduced yielding to aggradation and the formation of a local sediment deposit in the downstream weir alignment. The reduced cross section generates backwater effects through contraction and expansion losses. Accompanied with supplementary roughness induced by bed forms the side overflow increases in an uncontrolled way, since the extent of the morphological bed changes is not known a priori.

Designing side weirs, an appropriate knowledge of the lateral outflow angle plays an important role, e. g for the determination of the side weir discharge coefficient. Based on an extensive flume study, an expression for the outflow angle is developed and compared with approaches from literature. The simple and explicit structure of the relationship incorporating channel, weir and flow parameters allows the sound application in engineering practice.

Keywords: Side weir, bed morphology, local deposition, overflow angle, flood protection.

INTRODUCTION

Side overflows are free overflow regulation and diversion devices commonly encountered in hydraulic engineering. They are set into the side of a channel, river or dam allowing to spill a part of the discharge over their crest when the surface of the flow in the main-channel or reservoir exceeds a certain level.

In river engineering usually mobile bed conditions are present and significant morphological bed changes might be induced by the side overflow device. Commonly, the lateral loss of water takes place on a rather short stretch. Consequently, the main-channel discharge and thus the bottom shear stress and the sediment transport capacity in the main-channel are suddenly reduced. As a result aggradation and the formation of a local sediment deposit near the weir or dam alignment can occur. The increase of the mean bed elevation generates backwater effects. In addition, the local sedimentary deposit induces both, horizontal and vertical energy losses through contraction and expansion phenomena. Furthermore, the mobile bed surface might be covered with alluvial bed forms increasing the overall flow resistance compared to

1 Research associate, Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), Swiss Federal Institute of Technology (EPFL), EPFL-ENAC-ICARE-LCH, GC A3 504, Bâtiment GC, Station 18, 1015 Lausanne, Switzerland (Tel.: +41-21-693-6338, Fax: +41-21-693-2264; email: burkhard.rosier@epfl.ch)

2 Senior research associate, LCH-EPFL (email: jean-louis.boillat@epfl.ch)

3 Professor and director, LCH-EPFL (email: anton.schleiss@epfl.ch)

plane bed conditions. As a consequence, the upstream water level and the pressure head above the side overflow device rise and the spill discharge as well. Hence, the design discharge to be diverted over the weir is increased in an unforeseen way by this flow-sediment transport interaction.

The flow over a side weir is a typical case of spatially varied flow with decreasing discharge and has been subject to numerous investigations (e. g. Subramanya & Awasthy, 1972 and Hager, 1987). Usually, the main design objective is to estimate the total overflow discharge. Therefore, the focus of research is laid on the determination of an appropriate discharge coefficient. All contributions have in common that a fixed channel bottom is assumed, since most studies refer to irrigation or drainage engineering. Especially in natural rivers a mobile bed is present and for the purpose of flood control management its morphological behaviour has to be taken into account.

Due to the lack of knowledge regarding the interaction of a side overflow with bed-load and bed morphology in a channel systematic flume experiments have been performed. Investigating the morphological phenomena like aggradation and local sediment deposition one point of interest is the behavior of the lateral outflow angle under mobile bed conditions. This topic is of considerable importance, since in the determination of the side weir discharge coefficient, and hence the side overflow intensity, the lateral outflow angle might play a significant role (Subramanya & Awasthy, 1972).

Moreover, the hydraulic stresses exerted from the overflow on the side overflow structure itself, e. g. a weir, the body of an overflow dam or the flow-side bank protection layer (concrete, blocs, vegetation or other), especially in the overflow region (crest region), depend, amongst other parameters, on the orientation of the approaching flow relative to the weir, and hence on the lateral outflow angle.

THEORETICAL CONSIDERATIONS

Assuming a constant specific energy (E) along a channel ($S_0 - S_f = 0$ with S_0 bottom slope and S_f friction slope, Fig. 1a), the discharge over a side weir per unit length (q_D) is given by (e. g. Subramanya & Awasthy, 1972):

$$q_D = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2g} (y - w_D)^{3/2} \quad (1)$$

with C_D side weir discharge coefficient known as the De Marchi coefficient (C_M), g acceleration due to gravity, y flow depth and w_D side weir crest height. Eq. 1 represents the general equation of weirs.

Considering an elemental length dx of the side weir in the plan view (Fig. 1c) and using Eq. 1, the outflow through this elemental length is:

$$Q_D = q_D dx = \frac{2}{3} C_D \sqrt{2g} dx y^{3/2} \quad (2)$$

Therefore, $w_D = 0$. This flow can also be considered as a deflected jet and as such the effective width of the jet normal to the velocity vector would be (Fig 1c):

$$dx_D = dx \sin \phi_D \quad (3)$$

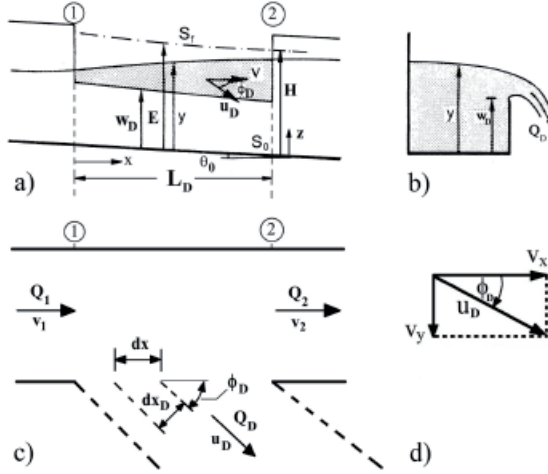


Fig. 1: Definition sketch of geometrical and hydraulic main-channel and side weir parameters: a) longitudinal section, b) cross section, c) plan view and d) definition of the lateral outflow angle ϕ_D . a) and b) are taken from Sinniger & Hager (1989), modified

Consequently, Eq. 2 can be written as:

$$Q_D = \frac{2}{3} C_D^* \sqrt{2g} dx \sin \phi_D \quad (4)$$

with C_D^* constant coefficient representing the coefficient of contraction.

Side weirs are structures in which flow conditions vary gradually. Therefore, the head losses due to wall friction and lateral outflow are small and approximately potential flow conditions with a nearly uniform velocity distribution may be assumed (Hager, 1987). Accordingly, the average channel velocity (v) and the axial component of the lateral outflow velocity ($u_D \cos \phi_D$) are equal; $v = u_D \cos \phi_D$ (Favre, 1933). Expressing $\cos \phi_D = (1 - \sin^2 \phi_D)^{1/2}$ then yields:

$$\sin \phi_D = \sqrt{1 - \left(\frac{v}{u_D}\right)^2} \quad (5)$$

As the flow situation is similar to that of a flow over a brink in a channel drop (Subramanya & Awasthy, 1972), it might be assumed that the critical depth corresponding to q_D occurs at the plane of the side weir of zero height, such that the critical velocity (v_c) is given by:

$$\frac{v_c^2}{2g} = \frac{1}{3} E = \frac{1}{3} \left(y_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) \quad (6)$$

Substituting $v_c = u_D$ and noting $Fr_1^2 = v_1^2 / (g y_1)$:

$$\sin \phi_D = \sqrt{1 - \frac{3Fr_1^2}{2 + Fr_1^2}} \quad (7)$$

Thus, from Eqs 2, 4 and 7 follows:

$$C_D = C_D^* \sqrt{1 - \frac{3F\eta^2}{2 + F\eta^2}} \quad (8)$$

The value of C_D^* can be chosen as 0.611 as it represents the contraction coefficient due to an efflux from a construction with $F\eta \rightarrow 0$ (Subramanya & Awasthy, 1972).

Finally, the side weir discharge coefficient according to Subramanya & Awasthy (1972) reads:

$$C_D = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3F\eta^2}{2 + F\eta^2}} \quad (9)$$

From these theoretical considerations it can be concluded that the lateral outflow angel (ϕ , Eq. 7) is directly implemented in the side weir discharge coefficient according to Subramanya & Awasthy (1972) (Eq. 9), and hence plays a substantial role in the determination of the side overflow discharge according to Eq. 1.

The lateral outflow angle is also implicitly incorporated in the derivation of the side weir discharge coefficient according to Hager (1987).

EXPERIMENTS

The experiments were conducted in a rectangular 30 m long, 2.0 m wide, and 1.5 m deep glass-sided main flume (Fig. 2). The main flume was subdivided longitudinally into two separate channels. The first one, being 1.5 m wide, represents the actual testing facility with the mobile bed ($d_{50} = 0.72$ mm) and the side weir. The second one, 0.47 m wide, constitutes a lateral channel enabling to evacuate the diverted discharge.

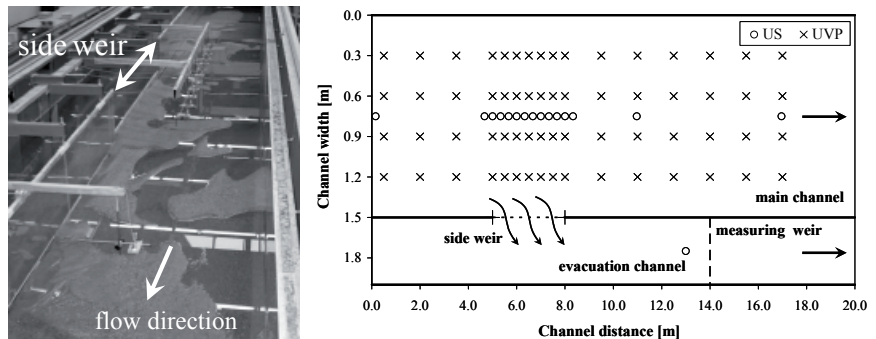


Fig. 2: Left: Laboratory setup with main-channel, mobile bed, side weir and evacuation channel. Right: Disposition of water level (US) and velocity (UVP) measuring sections

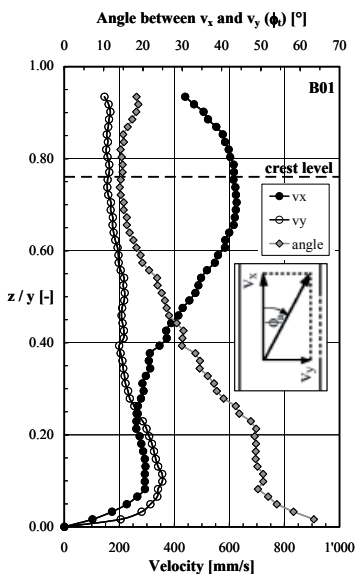
Starting from an initially flat bed, sediment was fed at the upstream end of the flume. The sediment supply was adjusted during the tests in order to maintain both, uniform flow and equilibrium transport conditions in the approach channel upstream of the weir. The water depth was recorded by the use of 15 ultrasonic gauges (US). The 2D velocity field was

measured with an Ultrasonic Doppler Velocity Profiler (UVP). The final bed topography was determined using digital photogrammetry (Rosier et al., 2004).

With respect to geometric and hydraulic conditions, the initial (!) bottom slope (S_0) varied between 0.1 and 0.4 ‰, the upstream discharge (Q_1) comprised a range of 0.098 to 0.222 m³/s. The initial (!) crest height (w_D) was fixed to 0.10 m. Regarding the crest length (L_D), values of 3.00 m (test series B), 6.00 m (test series C) and two times 2.50 m (= 5.00 m) (test series D) were tested.

MEASURED OUTFLOW ANGLES

Lateral outflow angles, defined as $\tan \phi_D = v_y / v_x$ with v_x flow velocity in longitudinal direction (channel axis) and v_y flow velocity in transverse direction (see Fig. 1d and insert in Figs 3 and 4 for definition), have been determined using the flow velocities (v_x , v_y) for the entire overflow water depth. In general this has been the part between $z / y = 0.75$ and 1.00 or approximately the upper 1/4 of the total flow depth (y).



In Fig. 3 typical velocity profiles close to the side overflow are presented. The UVP-probes used for the determination of $\tan \phi_D$ are located at $y_B = 1.20$ m, thus not on the crest of the side weir but 0.30 m towards the channel centre line (Fig. 2, right). In Tab. 1 measured outflow angles for the three test series are presented.

A typical streamwise evolution of the outflow angle is depicted in Fig. 4. It can be seen that up- and downstream of the weir the angle is close to zero. In the weir alignment the outflow angle increases towards its maximum located at $x_{\phi_D, \max} = 7.00$ m or $2/3 L_D$ (L_D weir crest length) before decreasing towards the downstream weir corner. With respect to the entire data set (test series B, C and D), the location of the maximum outflow angle is represented by the ratios $x_{\phi_D, \max} / L_D = 0.72$ (test series B), 0.80 (test series C) and 0.78 (test series D). This means that the location of the maximum outflow angle is shifted towards the downstream weir corner with increasing weir length.

Fig. 3: 2D-velocity distribution and torsion angle ϕ_i between v_x and v_y close to the side overflow for experiment B01. The torsion angle in the overflow region above the crest level corresponds to the lateral overflow angle ϕ_D . The streamwise location of the profiles is at $x = 8.00$ m (downstream weir corner, see Fig. 1, right), the lateralwise position at $y_B = 1.20$ m. The flow depth at $y_B = 1.20$ m has been $y = 12.5$ cm, the mean flow depth for the entire cross section $y = 14.8$ cm

The average location of the maximum outflow angle starting from the beginning of the weir might be expressed by the relation:

$$\frac{x_{\phi_D, \max}}{L_D} = 0.76 \approx 3/4 \quad \text{or} \quad x_{\phi_D, \max} \approx 3/4 L_D \quad (10)$$

The location of the maximum outflow angle is close to the location of the maximum elevation of the local sedimentary deposit forming in the weir reach.

Tab. 1: Measured lateral outflow angles ϕ_D along the weir crest

Test series	Minimum ϕ_D [°]	Maximum ϕ_D [°]	Mean ϕ_D [°]
B	-4	24	7
C	-1	4	2
D	-5	17	4
average	-3	15	4

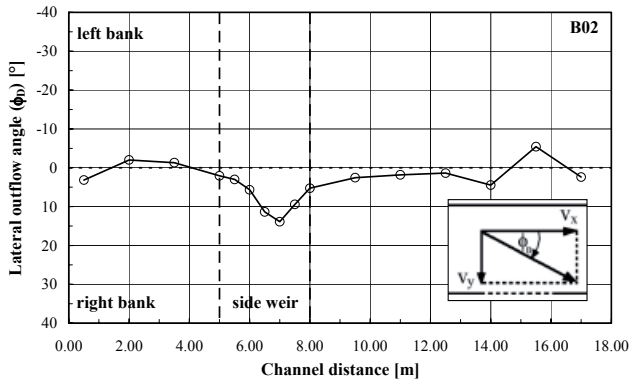


Fig. 4: Example of the streamwise evolution of the lateral outflow angle ϕ_D (plan view). The location of the side weir is on the right bank

MEASURED VERSUS PREDICTED OUTFLOW ANGLES FROM LITERATURE

To compare measured outflow angles from the present investigation with relations from literature the approaches by Subramanya & Awasthy (1972) and Hager (1987) are considered.

Using the approach Froude number at the upstream weir corner (F_{r1}), Subramanya & Awasthy (1972) propose the following expression for the deflection angle (ϕ_D) (see also Eq. 7, repeated here):

$$\sin \phi_D = \sqrt{1 - \frac{3F_{r1}^2}{2 + F_{r1}^2}} \quad (11)$$

Introducing the following dimensionless variables:

$$N = \frac{y_1}{E_1} \quad \text{and} \quad M = \frac{w_D}{E_1} \quad (12)$$

with N relative flow depth, M relative weir height, y_1 flow depth at the upstream weir corner, E_1 specific energy at the upstream weir corner and w_D weir height, the lateral outflow angle for a prismatic, nearly horizontal side weir is given by Hager (1987):

$$\sin \phi_D = \sqrt{\frac{N - M}{3 - 2N - M}} \quad (13)$$

In Tab. 2 mean outflow angles resulting from the two approaches described above are summarized and compared with measured outflow angles from the present study.

Tab. 2: Comparison of measured lateral outflow angles ϕ_D with two approaches from literature

Author	Minimum ϕ_D [°]	Maximum ϕ_D [°]	Mean ϕ_D [°]
Subramanya & Awasthy (1972)	10	48	33
Hager (1987)	17	30	25
present study	-3	15	4

Tab. 2 indicates that measured deflection angles from the present study are significantly smaller than those computed by approaches from literature. Regarding the approach of Subramanya & Awasthy (1972) measured angles only amount to $4/33 = 12\%$ of computed values. For Hager (1987) this ratio is $4/25 = 16\%$. Moreover, Hager (1987) stated measured values in the range of $\phi_D = 26^\circ \div 50^\circ$.

The difference between computed and measured angles is mainly due to different geometric and hydraulic boundary conditions, e. g. different L_D/B - and y_1/L_D -ratios, horizontal bottom slope, non-movable bed and restricted outflow conditions, weirs of zero height ($w_D = 0.00$ m), weirs with dead end ($Q_D = Q_1$, downstream main-channel discharge $Q_2 = 0.00$ m³/s) and different Froude numbers (Fr_1). With respect to measured Froude numbers comparatively high values are observed ($0.50 \leq Fr_1 \leq 1.00$, mean Froude number $Fr_1 = 0.79$). This means the longitudinal velocity component is much greater than the lateral one ($v_x \gg v_y$), resulting in small lateral outflow angles.

For $Q_D/Q_1 < 0.50$, being the case for the present study, El-Khashab & Smith (1976) reported that a considerable part of the approach flow remains in the main channel and that there is a strong forward velocity which has a dominant effect on flow conditions. Moreover, as stated above, the UVP-probes used for the determination of ϕ_D are located at $y_B = 1.20$ m, thus not on the crest of the side weir but 0.30 m towards the channel centre line.

DEVELOPMENT OF A NEW APPROACH FOR LATERAL OUTFLOW ANGLES

Since the two approaches from literature do not properly reflect the results of the present study, a new and more appropriate relation for mean outflow angles at high discharges and (implicitly!) mobile bed conditions is developed.

Within this context the outflow angle is supposed to be a function of channel and side weir geometry as well as flow conditions. To account for flow conditions the Froude number (Fr_1)

is expected to represent an adequate parameter. Finally, the outflow angle is assumed to depend on a product of power relationships of the type:

$$\sin \phi_D = f(x_i) = f\left(x_1^\alpha x_2^\beta x_3^\gamma x_4^\delta x_5^\varepsilon\right) \quad (14)$$

Using dimensional analysis, the coefficients x_1 through x_5 were found to be $x_1 = Q_1$, $x_2 = g$, $x_3 = B$, $x_4 = L_D$ and $x_5 = Fr_1$. The exponents α to ε were determined to be $\alpha = 1$, $\beta = -1/2$, $\gamma = -1/2$, $\delta = -2$ and $\varepsilon = -1$. Hence, Eq. 14 reads:

$$\sin \phi_D = f(x) = f\left(Q_1 \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{1}{\sqrt{B}} \frac{1}{L_D^2} \frac{1}{Fr_1}\right) \quad (15)$$

Finally, by curve fitting, a linear relationship has been identified:

$$\sin \phi_D = f(x) = 16.91 x + 0.02 \quad (16)$$

Resuming, the following expression for the determination of lateral outflow angles at high discharges and (implicitly) mobile bed conditions is proposed:

$$\sin \phi_D = f(x) = 16.91 \left(\frac{Q_1}{\sqrt{g} B L_D^2} \frac{1}{Fr_1} \right) + 0.02 \quad (17)$$

Note that the term $Q_1/((g B)^{1/2} L_D^2)$ is defined like a Froude number. The R^2 -value of Eq. 17 is 0.75.

With $Q_1 = v_1 B y_1$ and $Fr_1 = v_1/(g y_1)^{1/2}$ Eq. 17 might be expressed as:

$$\sin \phi_D = f(x) = 16.91 \left[\left(\frac{B}{L_D} \right)^{1/2} \left(\frac{y_1}{L_D} \right)^{3/2} \right] + 0.02 \quad (18)$$

Since the ratio y_1/L_D in Eq. 18 is raised to the power of 3/2, the influence of flow conditions (y_1) is of greater importance than the channel geometry (B), raised to the power of 1/2.

With respect to extreme values for $x = 0.00$, e. g. a long weir crest (L_D) and B and $y_1 = \text{constant}$, Eq. 18 yields $\sin \phi_D = 0.02$ representing a rather negligible outflow angle of $\phi_D = 1.15^\circ$. For great x -values the maximum of $\sin \phi_D$ is given by 1.00 ($\phi_D = 90^\circ$). This condition is achieved for $x = 0.06$. Consequently, the (theoretical) application range of Eq. 18 is $0.00 \leq x \leq 0.06$ and $0.02 \leq f(x) \leq 1.00$ (valid for $0.25 \leq B/L_D \leq 0.50$ and $0.014 \leq y_1/L_D \leq 0.049$).

Eq. 17 (or Eq. 18) has been developed on the basis of measured outflow angles at $y_B = 1.20$ m, thus not immediately at the weir but 0.30 m towards the channel center line (Fig. 2, right). To estimate the outflow angle near the weir a logarithmic or linear extrapolation procedure is suggested. The choice of a logarithmic or linear extrapolation depends on the shape of the spanwise velocity distribution in the x - y -plane (plan view). Hence, computed angles according to Eq. 17 (or Eq. 18) might be increased by a factor of 1.33 (logarithmic) or 1.52 (linear) to obtain the outflow angle near the weir ($y_B \approx 1.50$ m):

$$\text{logarithmic extrapolation: } 1.33 \quad (19)$$

$$\text{linear extrapolation: } 1.52$$

In contrast to the approaches of Subramanya & Awasthy (1972) and Hager (1987) an advantage of Eq. 17 (or Eq. 18) is the explicit appearance of the channel geometry (B), the side weir geometry (L_D) and flow conditions (Q_1, Fr_1, y_1). In Eq. 11 only flow variables (Fr_1) occur, whereas in Eqs 12 and 13 only flow conditions (y_1, E_1) and weir geometry (w_D) interfere.

DISCUSSION OF RESULTS AND APPLICATION RANGE

As it has been mentioned before rather elevated discharges as encountered in high flood seasons have been studied. Therefore, comparatively high Froude numbers have been observed ($0.50 \leq Fr_1 \leq 1.00$, mean Froude number $Fr_1 = 0.79$). This means the longitudinal velocity component is much greater than the lateral one, resulting in small lateral outflow angles. For Q_D/Q_1 - ratios < 0.50 (Q_D spill discharge), a considerable part of the approach flow remains in the main channel and there is a strong forward velocity which has a dominant effect on flow conditions. In the present study the ratio of Q_D/Q_1 varied between 0.06 and 0.37 with a mean value of 0.21.

The effects of sediment aggradation, local sediment deposition in the weir reach and the formation of bed forms are implicitly included in the new expression, since it is based upon final values at the end of the experiments when dynamic equilibrium conditions were achieved.

As being usual for experimental investigations the application range of the proposed relation is given by the experimental boundary conditions under which the approach has been developed. Regarding the main-channel and weir geometry, the application limits can be derived from the bottom slope varying between $0.1 \% \leq S_0 \leq 0.4 \%$ and the ratio of side weir crest length to main-channel width being $2.00 \leq L_D/B \leq 4.00$. As far as the properties of the mobile bed material are concerned the relative roughness y_1/d_{90} ranged from 40 to 70 (y_1 flow depth, d_{90} grain size for which 90 % of the sediment is finer by weight). The flow regime has always been subcritical with Froude numbers $0.50 \leq Fr_1 \leq 1.00$. The ratio of overflow to approach discharge was in the range of $0.06 \leq Q_D/Q_1 \leq 0.37$.

CONCLUSIONS

The interaction of a side weir overflow with bed-load transport and bed morphology in a channel has been studied experimentally. Due to the lateral loss of water in the main-channel the sediment transport capacity decreases and aggradation and local sediment deposition occurs in the downstream weir alignment. As a consequence, the flow depth in the main-channel as well as on the weir increases and the side overflow discharge as well. Since side overflow devices such as side weirs or overflow dams on rivers usually enter into operation in flood situations, the approach discharges studied have been rather high and elevated subcritical Froude numbers have been observed.

The morphological phenomena taking place have a considerable impact on the overflow conditions. In this context the lateral outflow angle plays an important role, since the overflow angle might be incorporated in the determination of the side weir discharge coefficient, thus influencing the intensity of the side overflow.

The experiments revealed that existing approaches from literature for the determination of the lateral outflow angle do not seem to be appropriate for the boundary conditions of the present

study. The substantial difference of the present investigation is the presence of mobile bed conditions and rather high discharges. Therefore, a new approach based on a systematic flume study has been developed. The main input variables are referring to parameters from main-channel and side weir geometry as well as flow conditions. The input variables and the application range are given by dimensionless ratios, thus facilitating the transfer from the experimental boundary conditions to prototype conditions and the use in engineering practice.

REFERENCES

- El-Khashab, A., Smith, K. V. H. (1976): „Experimental investigation of flow over side weirs“. *Journal of the Hydraulics Division*, 102 (9): 1255-1268.
- Favre, H. (1933): „Contribution à l'étude des courants liquides“. Rascher et Cie, Zurich.
- Hager, W. H. (1987): „Lateral outflow over side weirs“. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113 (4): 491-504.
- Rosier, B., Boillat, J.-L., Schleiss, A. J. (2004): „Mapping of bed morphology for lateral overflow using digital photogrammetry“. 2nd International Conference on Scour and Erosion – ICSE 2, Singapore, Singapore.
- Sinniger, R. O., Hager, W. H. (1989): „Constructions hydrauliques“. *Traité de Génie Civil*, Vol. 15, Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Switzerland.
- Subramanya, K., Awasthy, S. C. (1972): „Spatially varied flow over side weirs“. *Journal of the Hydraulics Division*, 98 (1): 1-10.

**EIGENDYNAMISCHE FLUSSMORPHOLOGISCHE PROZESSE IN
ZUSAMMENHANG MIT FLUSSAUFWERTUNGEN ALS
PRAXISBEISPIEL FÜR DEN MODERNEN WASSERBAU**

**SELF FORMING RIVER PROCESSES IN THE CONTEXT OF RIVER
WIDENING AS A MEASURE EXAMPLE OF MODERN WATER
MANAGEMENT**

Stephan Schober¹, Erik Formann², Herbert Mandler,³ Helmut Habersack⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Jahrzehntelang wurden Österreichs Flüsse nach technischen Gesichtspunkten gestaltet. Die ökologischen Aspekte eines Fließgewässers wurden dabei selten mitbedacht. Die Konsequenzen sind monotone Fließgewässer, die nicht mehr imstande sind ihre ökologischen Funktionen für das Gewässer erfüllen zu können. Die technischen Möglichkeiten wurden überschätzt und fehlende Rückhalteräume für Hochwässer unterschätzt. Mit dem Wissen um den Einfluss der Ökologie zeigt an Hand eines praktischen Beispiels das dargestellte Projekt, wie Hochwasserschutz, Gewässerstabilisierung und ökologische Ziele gemeinsam umgesetzt werden können. Das Grundkonzept der Maßnahmen besteht aus der Überlegung, durch Erhöhung der wirksamen Sohlbreite bei Aufweitungsmaßnahmen einerseits die existierende Sohleintiefung zu minimieren, andererseits eine Verstärkung der morphologischen Dynamik infolge des Entstehens von Sohlformen und Bänken zu erreichen und auch den Hochwasserschutz zu verbessern. Der Uferschutz wurde mit Hilfe „verdeckter Bühnen“ gewährleistet, welche im Hinterland gesetzt wurden. Die bisherigen Ergebnisse eines umfangreichen Monitorings zeigen eine extrem hohe flussmorphologische Dynamik dieses Abschnittes durch Erosions- und Sedimentationsprozesse sowie Laufverlagerungen, wobei die Wirksamkeit der eingesetzten Maßnahmen einer Qualitätssicherung unterzogen wurde.

Keywords: Rückbaumaßnahme, Monitoring, Hydrodynamische Modellierung

ABSTRACT

For decades, Austria's rivers have been manipulated and regulated with a focus on technology rather than ecology. The consequences are monotonous rivers and streams, unable to perform

¹ Government of Carinthia, Department of Water Management, Mießtalerstraße 1, 9020 Klagenfurt, Austria (phone: +43 050536-31808 Fax: +43 050536-31828; e-mail: stephan.schober@ktn.gv.at)

² Department of Water – Atmosphere – Environment, BOKU- University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Muthgasse 18, 1180 Wien, Austria (e-mail: erik.formann@boku.ac.at)

³ Government of Carinthia, Department of Water Management, Lutherstraße 6-8, A-9800 SPITAL/DRAU, Austria (phone: +43 050536-62335, Fax: +43 050536-62312; e-mail: herbert.mandler@ktn.gv.at)

⁴ Department of Water – Atmosphere – Environment, BOKU- University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Muthgasse 18, 1180 Wien, Austria (phone: +43-1-36006-5516; fax: +43-1-36006-5549; e-mail: helmut.habersack@boku.ac.at)

their vitally important natural functions. The emphasis lay in land reclamation (“10. Bundesland”), to create the basic conditions for intensive land use. The technical possibilities were overrated and missing retention area was underestimated. With the background of rising demand for an environmentally friendly concept of river protection and river stabilisation measures, the project on hand shows an exemplary practical way how economical plans for flood protection and river bed stabilisation in the alpine regions can be carried out and at the same time, high ecological demands fulfilled. Instead of inclines or water breaks as made in the past measures to widen the cross-section of the river bed, re-opening a left bank side arm of the river, using also bioengineering methods, have been carried out. The basic concept of the measure “river widening” consists to improve the ecological integrity of the river-ecosystem, to stop the riverbed degradation and to ensure flood protection. The bank protection” was ensured with the help of "covered groins", that were constructed outside the river to allow a certain side erosion but then to give protection. The past results of an extensive monitoring show extremely high river-morphologic dynamics of this section by erosion and sedimentation processes, whereby the effectiveness of the assigned measures could be demonstrated.

Keywords: Restoration measure, Monitoring, Hydrodynamic Modelling

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Seit der Wende vom 19. zum 20. Jahrhundert fließt die Drau in einem korrigierten bzw. regulierten Flussbett (Nachtnebel et al., 1992). Ziel der damaligen Regulierungsmaßnahmen war die rasche Geschiebeabfuhr zur Verbesserung des Hochwasserschutzes. Waren es früher eher Geschiebeüberschüsse, die Probleme bereiteten, so sind es in den letzten Jahrzehnten eher die Defizite an Geschiebe, die durch Eintiefungstendenzen Anlass zu Sorge bereiten (Habersack & Nachtnebel, 1998) (Abb. 1). Dabei spielt neben den zurückgehaltenen Geschiebeeinströßen in den Zubringern, auch die Unterbindung von Seitenerosion durch Uferregulierungen eine nicht zu vernachlässigende Rolle. Die Transportkapazität ist größer, als der Geschiebeeintrag, dadurch unterliegt die Flusssohle einem Erosionsprozess.

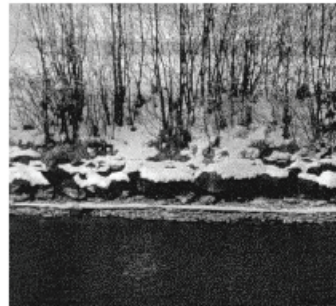


Abb1: Flussmorphologische Probleme im Zusammenhang mit Mangel und Überschuss an Feststoffen (a) Hochwasser an der Oberen Drau 1965 (b) Sohleneintiefung mit freierodiertem Böschungsfuß

Fig1: River-morphologic problems in connection with lack and surplus of suspended and bedload (A) flood of the upper Drau 1965 (B) erosion of the bed also free-eroded embankment foot

GRUNDLAGEN UND ZIELE

Im Rahmen eines ersten LIFE-Projekts wurden in drei Kernzonen große bauliche Revitalisierungsarbeiten gestartet. Neben Gewässeraufweitungen wurden Gehölzbestände angelegt, Auen neu geschaffen, verbaute Ufer restrukturiert, flussdynamische Prozesse wiederhergestellt und die Nebengewässer wieder verstärkt mit dem Hauptfluss vernetzt. Durch die Maßnahmen sollen einerseits die Eintiefungstendenzen reduziert werden und andererseits die ökologischen Randbedingungen verbessert werden sowie gleichzeitig ein entsprechender Hochwasserschutz gewährleistet werden. Ähnliche Maßnahmen werden nun in einem weiteren LIFE Projekt bei Obergottesfeld, Rosenheim und St. Peter Amlach fortgesetzt. Dabei sollen die bereits vorliegenden Ergebnisse der umgesetzten Maßnahmen als Grundlage dienen (Abb. 2).

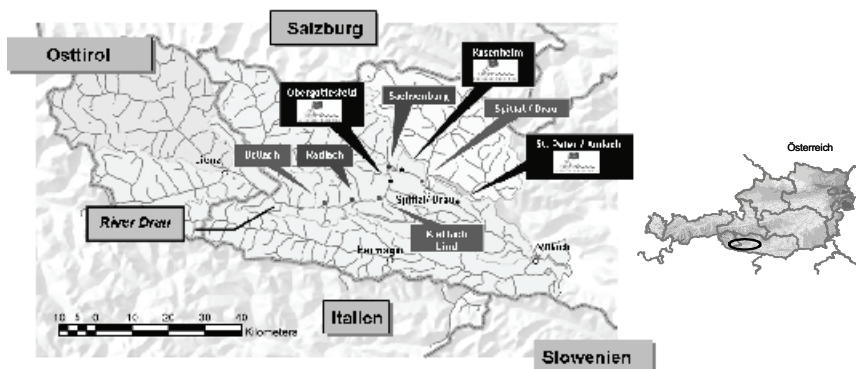


Abb2: Projektgebiete an der Obere Drau mit umgesetzten Maßnahmen

Fig2: Project area "Upper Drau" – measures

ÜBERGEORDNETE RANDBEDINGUNGEN IM PROJEKTSGEBIET

Jede flussbauliche Maßnahme auf lokaler oder Streckenebene wird u. a. von den übergeordneten Randbedingungen im Einzugsgebiet bestimmt (Habersack, 2000). Neben den allgemein bekannten übergeordneten Rahmenbedingungen (Klima, Vegetation, Geologie, etc. vgl. Mangelsdorf & Scheuermann, 1980) soll hier der Geschiebehaushalt und die Abflusssituation besondere Berücksichtigung finden.

Die für die Flussmorphologie relevanten Geschiebequellen für Projekte an der Oberen Drau liegen im Einzugsgebiet der Isel in Osttirol. Ihre Zubringer sind aber bereits durch Regulierungen und Ausschotterungsbecken (Funktion als „Puffer“ zwischen Überangebot und Mangel) anthropogen wesentlich beeinflusst. Defizite oder Überschüsse an Geschiebe sind bei den Planungen und bei der Wahl der flussbaulichen Maßnahmen im Allgemeinen und an der Drau im Speziellen zu berücksichtigen, da bei Geschiebedefiziten die Ausführung einer Gewässeraufweitung nicht zu einem dynamischen Gewässersystem, sondern wiederum zu einem vorherrschenden Gerinne mit Eintiefungstendenz führen kann (ASCE Task Committee, 1998, Hunzinger, 1998). Neben anthropogenen Veränderungen besitzen „Diskontinuitäten“, hervorgerufen durch z.B. geologische Einflüsse, Gefällsknicke oder Wildbachsperrern, Schlüsselfunktionen für den Sedimenttransport und müssen bei der Beurteilung flussmorphologischer Fragestellungen ebenso berücksichtigt werden. Der Einfluss solcher

Schlüsselstellen sowohl auf den Geschiebe- als auch den Schwebstofftransport muss als solcher im Detail erfasst (modelliert) werden (Schober, 2006).

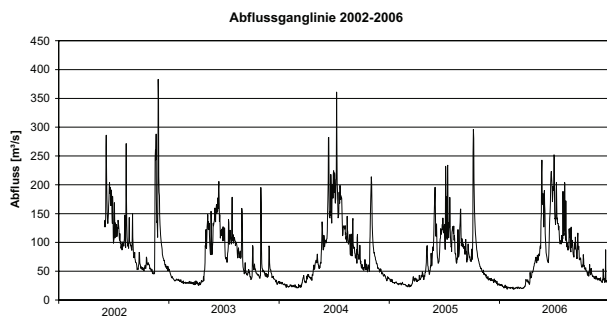


Abb3: Abflussganglinie am Pegel Sachsenburg seit der Baumsetzung der Maßnahme Kleblach - Lind von 2002 bis 2006

Fig3: Discharge hydrograph of the gauging station Sachsenburg for the periode of construction work by the measure Kleblach – Lind from 2002 to 2006

Der Abfluss ist eine weitere wesentliche Eingangsgröße für die Flussmorphologie und stellt eine weitere Randbedingung dar. Die hydrologischen Kenngrößen des Pegels Sachsenburg betragen bei Mittelwasser 73,8 m³/s, bei HQ₁ 320 m³/s, bei HQ₃₀ 790 m³/s und bei HQ₁₀₀ 1050 m³/s. Die Abflussganglinie (Abb. 3) dokumentiert die Abflusssituation seit Umsetzung der Maßnahme bei Kleblach Lind im Juni 2002. Dabei zeigt sich, dass während dieser Zeit relativ geringe Abflüsse aufgetreten sind und die Maßnahme noch keinem größerem Hochwasser ausgesetzt war. Die flussmorphologische Entwicklung ist daher im Kontext dieser geringen Abflusssituation zu sehen.

UMSETZUNG VON GEWÄSSERAUFWEITUNGEN AM BEISPIEL KLEBLACH - LIND

Im Bereich von Kleblach – Lind traten in den letzten Jahrzehnten überdurchschnittliche Eintiefungstendenzen auf. Im Gewässerbetreuungskonzept Obere Drau wurde eine Aufweitung in Kombination mit Anlage eines Nebengerinnes vorgeschlagen (Abb. 4). Dieser Vorschlag wurde in den Jahren 2002 und 2003 bei Kleblach - Lind durch eine Aufweitung im Mittel um 20 m umgesetzt. Die Anlage eines Seitenarmes im Bereich der historischen Verzweigungsstrecke, der Bau eines Amphibientümpels und die Verbreiterung des Gehölzstreifens zwischen den beiden bestehenden Totarmen waren weitere Schritte zur ökologischen Verbesserung des Gebietes. Auf einer ehemaligen Weidefläche bei Kleblach - Lind wurde linksufrig ein rund 600m langes Nebengerinne initiiert und dann eine eigendynamische Entwicklung zugelassen.

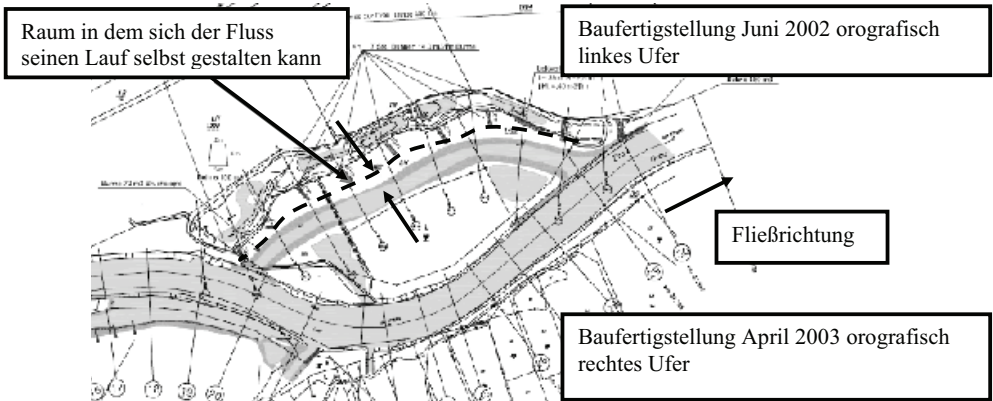


Abb4: Ausführungsplan der Maßnahme Kleblach - Lind
Fig4: Map of the measure Kleblach - Lind

In Aufweitungen sind vor allem die Ufer einer hohen hydraulischen Belastung ausgesetzt, während hohe Abflüsse punkto Abflusskapazität selten eine Gefährdung darstellen (Hunzinger, 2004). Als Uferschutz wurden daher punktuell versteckte Buhnen im Hinterland ausgeführt. Die Buhnen wurden als nicht durchlaufende Querbauten, die quer zur Streichlinie bzw. schräg zum Stromstrich liegen und in einer Tiefe von ca. 1m eingegraben. Die Planung erfolgte durch das Umweltbüro Klagenfurt (Petutschnig & Moser, 1998). Bei einer Buhnenlänge von 10 bis 20m wurde im Durchschnitt ein Buhnenabstand von 60m gewählt. Durch diese Wahl der Abstände wirken die Buhnen als Buhnengruppe nach Schöberl (1988) und gewährleisten den notwendigen Uferschutz. Als punktförmige Gerinnebegrenzung sollen sie eine unkontrollierte Seitenerosion ins Hinterland verhindern. Buhnen sind flexible Bauwerke, die sich durch Verlängerung oder Kürzung unproblematisch an eine veränderte Situation anpassen lassen. Zur Abschätzung der sich einstellenden Gewässerbreite und für die Situierung der Buhnen kann ein Verfahren nach Schmautz (2003) herangezogen werden.

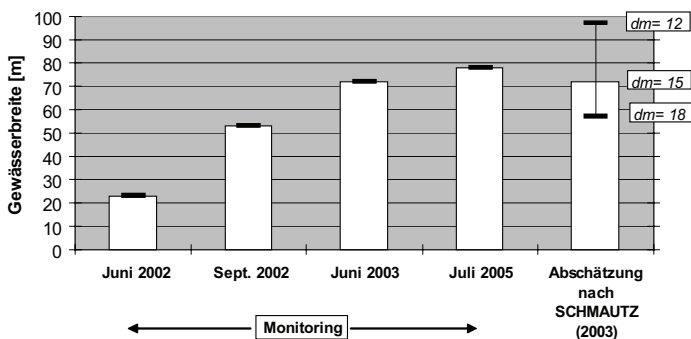


Abb5: Vergleich Messung – Abschätzung der zeitlichen Entwicklung der Gewässerbreite, Aufweitung Kleblach - Lind (dm [mm] maßgebender Korndurchmesser).
Fig5: Comparison between the measurement and the prediction of the restored river width in Kleblach Lind (dm (mm) characteristic grain size).

Dieses Verfahren beruht auf der Ermittlung der „Regime-Breite“ und der „Regime-Länge“ auf Basis des Korndurchmesser, des Breiten-Tiefen Verhältnisses, des Gefälles und der Skalierung. Abb. 5 zeigt die Breitenentwicklung im Bereich des neu geschaffenen Seitenarmes bei Kleblach - Lind verglichen mit den Abschätzungen nach Schmutz (Schober & Habersack, 2004). Diese Methode unterliegt jedoch Einschränkungen (nur für bewuchsfreie, kohäsionslose Ufer in einer geraden Gewässertrecke), hat sich aber für erste Abschätzungen als durchaus zweckmäßig erwiesen (geringer Datenaufwand).

ERGEBNISSE DES MONITORINGS

Anhand dieses Monitorings wurden die Auswirkungen der Maßnahmen aus flussmorphologischer Sicht über einen längeren Zeitraum von über drei Jahren verfolgt. Die Ergebnisse des flussmorphologischen Monitorings zeigen bisher, dass prinzipiell eine Erhöhung der Dynamik nach Baumsetzung zu erkennen ist (Abb. 6).

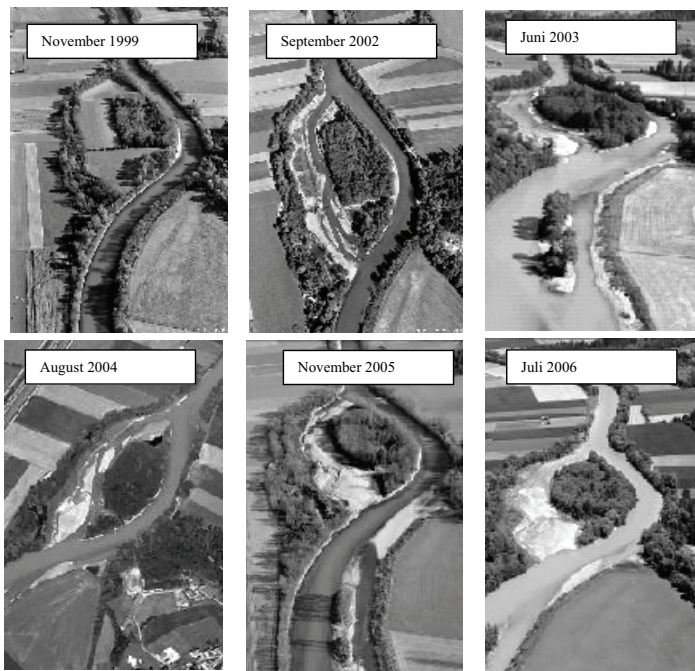


Abb6: Aufweitung Kleblach - Lind (a) Vor Umsetzung der Maßnahmen (1999) und (b) Nach Umsetzung der Maßnahmen (2002, 2003, 2004, 2005, 2006).

Fig6: River widening in Kleblach - Lind (a) before the restoration measures (1999) and (b) after the implementation of the restoration measures (2002, 2003, 2004, 2005, 2006).

Diese drückt sich in einer Steigerung der Breiten- und Tiefenvarianz aus aber insbesondere im Bereich Kleblach – Lind in einer dokumentierten, extrem hohen Dynamik des Abschnittes durch Erosions- und Sedimentationsprozesse, sowie Laufverlagerungen (Habersack et al., 2003). Die Initiierung neuer Seitenarme und Verbreiterungen im Hauptfluss, sowie die

vorhandenen Auwald-, Altarm- und Nebengewässersysteme leisten auch einen wichtigen Beitrag zur Retention bei Hochwasser. In den ersten 8 Monaten wurde der Beginn des Seitenarms aufgrund eines 1- jährlichen Hochwassers von 15 auf im Mittel 65 m eigendynamisch aufgeweitet (Formann, 2004). Maßgebende Prozesse waren die Seitenerosion und die darauf folgenden Anlandungen von Schotter, welche sich als charakteristische Kiesbänke ausbildeten. Die Massenbilanzierung für das Jahr 2003 bis 2004 ergab durchschnittliche Anlandungen von 0,10 m, was einer Mengenzunahme von ca. 3.000 m³ entspricht. Aufgrund der Studien von Hooke (1999) wird angenommen, dass die Anlandungsraten nicht linear verlaufen und es weiter zu Anlandungen, jedoch in viel geringerem Ausmaß kommen wird. Eine Stabilisierung wird erst in 4-8 Jahren nach der Umsetzung erwartet (Formann et al., 2007).

ERGEBNISSE DER NUMERISCHEN MODELIERUNG

Erscheinungsformen und Intensität der eigendynamischen Entwicklungen hängen wesentlich von der hydraulischen Belastung, der Art des Ufermaterials und der vorhandenen Vegetation ab (Schmautz, 2003). Daher ist das Ziel dieses Kapitels das Aufzeigen der Auswirkungen der morphologischen Veränderungen auf die Hydraulik am Beispiel der Aufweitung Kleblach - Lind. Dabei wurden besonders der Vergleich vor und nach den Umbaumaßnahmen und die sukzessiven Veränderungen analysiert. Die hydraulischen Verhältnisse wurden mit einem mehrdimensionalen Abflussmodell simuliert (CCHE2D©, „National Center for Computational Hydroscience and Engineering (NCCHE)“ der Universität von Mississippi, 2001). Die Analysen der Monitoringergebnisse haben gezeigt, dass sich als maßgebender dominanter Prozess die Seitenerosion darstellt. Dieser Prozess kann wiederum in eine Strömungserosion an der Böschung (fluvial erosion) und in einen Böschungsbruch (bank mass failure) unterteilt werden (Rodi, 1980; Thorne, 1982; Pizzuto, 1990; Hey, 1997).

Die Strömungserosion wird durch die kritische Sohlschubspannung beschrieben, welche von der Dichte des Sohlmaterials, der Korngrößen, und -verteilung, vom Ungleichförmigkeitsgrad, der Kornform, der Lagerungsdichte und des Turbulenzgrades der Strömung abhängig ist. (Eisenhauer, 2006). Weiters ist auch die Vegetation mit einzubeziehen. Der Einfluss der Vegetation findet jedoch in den derzeitigen Berechnungsansätzen keine bzw. nur unzureichende Berücksichtigung (Rinaldi & Darby, 2005). In dieser Studie, insbesondere in den Jahren 2002 bis 2004 hatte die Vegetation nur untergeordnete Bedeutung und wurde deshalb nicht berücksichtigt. Ab dem Jahr 2005 ist jedoch die Sukzession schon bedeutend fortgeschritten und muss daher in weiteren Analysen jedenfalls Eingang finden.

Die wirkende Schleppspannung an der Böschung τ_b kann über einen Proportionalitätsfaktor k_τ mit der Sohlschubspannung an der Sohle τ_s in Beziehung gesetzt werden (Lane, 1955, Mosselmann, 1992). Der Proportionalitätsfaktor k_τ wird großteils mit dem Wert 0,75 angesetzt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich dieser Wert mit abnehmender Neigung (bei 0°, $k_\tau=1$) erhöht und umgekehrt. Bei Böschungsneigungen mit 90° kann dieser Wert zwischen 0,25 und 0,5 schwanken. Die Böschungsneigungen des Seitenarms betragen großteils zwischen 80 und 90°. Diese Tatsache zeigt in Zusammenhang mit den Studien von Lane (1955) und Mosselmann (1992), dass neben der Strömungserosion auch dem Böschungsbruch eine bedeutete Rolle zuzuordnen ist.

Die Berechnung der Sohlschubspannung im numerischen Modell CCHE2D© (Jia & Wang, 2001) erfolgte nach dem Ansatz von Darcy – Weisbach. Der Darcy- Weisbach Koeffizient f_c wird in Abhängigkeit der Schubspannungsgeschwindigkeit u^* ermittelt. Die Berechnung der Sohlschubspannung stützt sich auf die logarithmische Geschwindigkeitsverteilung (depth

logarithmic law), wobei zwischen drei unterschiedlichen hydraulischen Zuständen unterschieden wird (rauer Bereich, glatter Bereich, Übergangsbereich). In Abb. 7 sind die Sohlschubspannungen bei $115 \text{ m}^3/\text{s}$ zu unterschiedlichen Zeitpunkten dargestellt. Flussbauliche Maßnahmen wurden orografisch linksufrig mit Juni 2002 und orografisch rechtsufrig im April 2003 abgeschlossen.

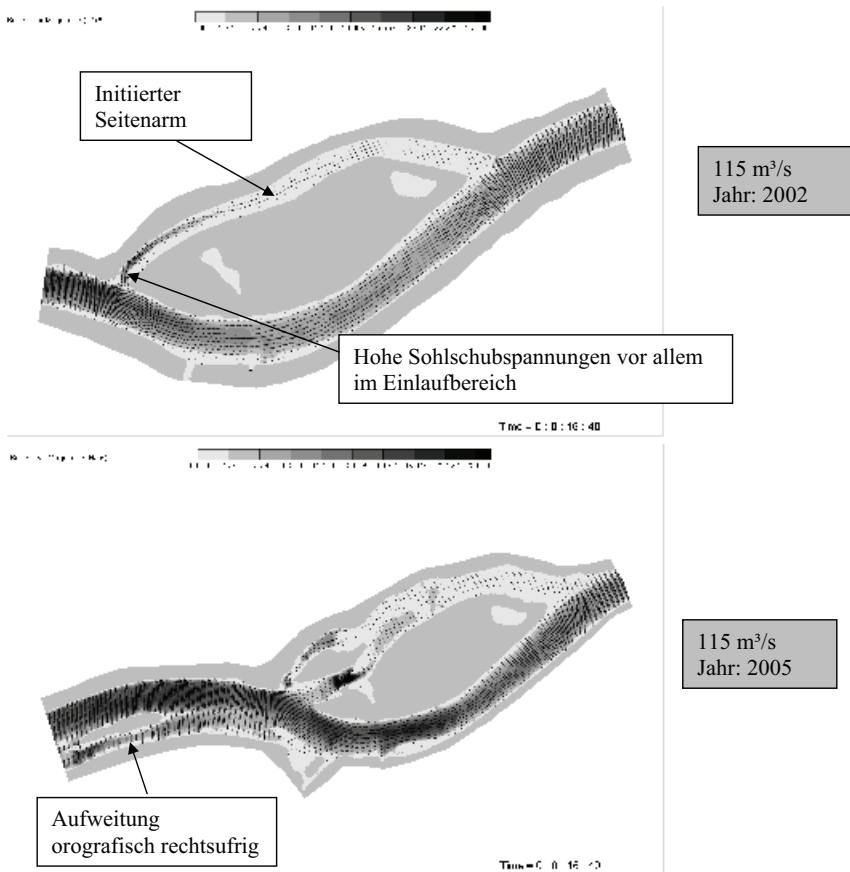


Abb7: Numerische Ergebnisse der Strömungsgeschwindigkeiten und der Sohlschubspannungen auf Basis des 2D Modells für 2003 (a) und 2005 (b).

Fig7: Numeric Results about the streamflow velocities and shear stresses on the basis of the 2D- model for the year 2003 (a) and 2005 (b).

Die Ergebnisse zeigen die morphologische Entwicklung am Beginn des Nebenarmes und deren Auswirkung auf die Sohlschubspannung. Wie das Ergebnis der numerischen Simulation für die morphologische Situation der geplanten und umgesetzten Maßnahme im Jahr 2002 ergab, werden am Beginn des Seitenarmes die ermittelten Grenzsohlschubspannungen wesentlich überschritten. Die beobachteten Erosionen und Laufverlagerungen bestätigen die Modellannahmen. Die massiven Schotterbankbildungen konnten im verwendeten

hydraulischen Modell nicht zufriedenstellend simuliert werden. Durch die Entstehung der Mittenbänke wird bei Nieder- und Mittelwasser die Strömung Richtung Ufer umgelenkt. Die hydraulische Belastung, wie im Modell für das Jahr 2005 erkennbar, wandert somit ebenso in Richtung der Ufer. Die Reduktion der Sohlschubspannungen durch die Aufweitung ist daher hauptsächlich im mittleren Bereich des Abflussquerschnitts zutreffend. Die Uferbereiche dagegen werden auch mit zunehmender Aufweitung der Strömungserosion ausgesetzt. Maßgebender Schutz vor weiterer Seitenerosion bietet nur eine Reduktion des Böschungswinkels und die Vegetation. Es ist zu berücksichtigen, dass die im Modell angewandte Strömungserosion nur im wasserbedeckten Bereich auftreten kann. Insbesondere bei kohäsiven Böschungen verursacht dies ein „Unterschneiden“ der Böschungen, was in weiterer Folge zum bereits erwähnten Böschungsbruch führt (Thorne 1982, ASCE Task Committee, 1998, Rinaldi & Darby 2005). Der Böschungsbruch selbst ist ein komplexer Prozess, da verschiedene hydrologische (Versickerungsrate, Porenwasserdruck, Wassergehalt, etc.) und geotechnische (Korngrößenverteilung, Kohäsion, Erosionsfähigkeit, etc.) Faktoren zu berücksichtigen sind. Es hat sich allerdings gezeigt, dass derart komplexe Vorgänge wie die eigendynamischen Entwicklungen des Seitenarmes bei Kleblach - Lind noch nicht mit einem hydrodynamischen Feststofftransportmodell erfasst werden können.

Um detaillierte Aussagen zum stattfindenden Böschungsbruch treffen zu können, wird seit dem Jahr 2006 ein spezielles Monitoring durchgeführt (Klösch, 2007). Diese Erkenntnisse sollen dann auf Softwareebene in numerischen Modellen umgesetzt werden, die auf diesem Wege weiterentwickelt und überprüft werden, um weiters bereits bei der Planung ein adäquates Instrument als Entscheidungsgrundlage zu erhalten.

DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Durch mehrjähriges Monitoring konnte belegt werden, dass durch die Aufweitungen der Drau eine Erhöhung der flussmorphologischen Dynamik und die Voraussetzung für eine Verminderung der örtlichen Sohleintiefung erreicht wurde. Insbesondere am Beginn konnte eine extrem hohe Dynamik des Abschnittes durch Erosions- und Sedimentationsprozesse, sowie Laufverlagerungen beobachtet werden. Grundvoraussetzung für eine bleibende flussmorphologische Dynamik sind übergeordnete Randbedingungen, wie der Geschiebehaushalt und die Abflusssituation (Hochwässer). Die bei Kleblach - Lind beobachtete massive seitliche Entwicklung ist im Wesentlichen auf strömungsinduzierte Erosion („Strömungserosion“) und gravitationsinduzierte Massenbewegung („Böschungsbruch“) zurückzuführen. Durch die versteckten Bühnen konnte die Fortsetzung der Böschungserosionen am linken Ufer gesteuert werden, ohne die strukturelle Vielfalt zu begrenzen. Als Abschätzung der sich einstellende Gewässerbite kann der Ansatz nach Schmutz (2003) mit Einschränkungen herangezogen werden. Die massive Ausbildung von Schotterbänken wurde jedoch unterschätzt. Daraus lässt sich die Notwendigkeit des Einsatzes von Feststofftransportmodellen ableiten. In diese müssen aber auch die komplexen Prozesse der Seitenerosion implementiert werden. Dazu ist aber die Vertiefung des Prozessverständnisses notwendig, welches auf Basis weiterer Feldstudien erfolgen soll.

Das Monitoring der Restrukturierungen zeigt, dass viel Positives gleichzeitig erreicht werden kann: Hochwasserschutz, Sohlstabilisierung, Erholungs-, Erlebnis- und Spielbereiche, sowie wertvolle neue Lebensräume für gefährdete Tier- und Pflanzenarten (Unfer et al., 2004).

Die im Rahmen dieser Arbeit und im Zuge des LIFE-Projektes „Auenverbund Obere Drau“ entwickelte Methodik hilft nun auch, die Vorgaben entsprechend der im WRG 2003 umgesetzten EU-Wasserrahmenrichtlinie bezüglich morphologischer Parameter effizienter zu erfassen und zu beurteilen.

LITERATUR

- ASCE Task Committee, 1998. River width adjustment. I: Processes and mechanics. Hydr. Engineering., ASCE 124(9).
- Eisenhauer, N., 2006. Hochwasserschutz, Umdruck zur Vorlesung Flussbau, Karlsruhe
- Formann, E., 2004. Morphologische Entwicklung flussbaulicher Maßnahmen an der Oberen Drau - Kleblach-Lind. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, 131; Wien.
- Formann, E., Habersack, H., Schober, St. 2007. Morphodynamic river processes and techniques for assessment of channel evolution in Alpine gravel bed rivers. *Geomorphology*. p. 340-355. Reduced-Complexity Geomorphological Modelling for River and Catchment Management. Edited by J. Brasington and K. Richards. Volume 90, Issues 3-4, doi:10.1016/j.geomorph.2006.10.029.
- Habersack, H. M., 2000. The river-scaling concept (RSC): a basis for ecological assessments, Habersack, H. M., Schober St., Formann E., Beheshti K. M., Daniczek M., Schellander M., 2003. Flussmorphologisches Monitoring im Rahmen des Life Projektes „Auenverbund Obere Drau“, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Habersack, H., Nachtnebel, H.-P., 1998a. Der Zustand der Oberen Drau aus abiotischer Sicht: Defizite, Nutzungen, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 1/2, Jg. 50, S. 9–19.
- Habersack, H., Nachtnebel, H.-P., 1998b. Planung und Konzeption flussbaulicher Maßnahmen zur Sohlsicherung und Verbesserung der gewässermorphologischen Strukturen, Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Heft 1/2, Jg. 50, S. 40–48.
- Hey, R.D., 1997. Channel response and channel forming discharge. *Rinal Rep.*, U.S. Army Res.Ofc. (London), Univ. of East Anglia, Norwich, U.K.
- Hooke, J.M., 1999. River channel adjustment to meander cutoffs on the River Bollin and River Dane, northwest England. *Geomorphology* 14. 235-253
- Hunzinger, L. M., 1998. Flussaufweitungen – Morphologie, Geschiebehauhalt und Grundsätze zur Bemessung, VAW Mitteilung 159 der ETH Zürich.
- Hunzinger, L. M., 2004. Flussaufweitungen: Möglichkeiten und Grenzen, «Wasser Energie Luft» 96. Jahrgang, 2004, Heft 9/10, CH-5401 Baden
- Jia, Wang, 2001. CCHE2D – Two Dimensional Hydrodynamic And Sediment Transport Model For Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed. Technical Report No. NCCHE–TR–2001-1. School of Engineering, University of Mississippi, National Center for Computational Hydroscience and Engineering. http://www.ncche.olemiss.edu/cche2d/cche2d_windows.html, am 10. Jänner 2003.
- Klösch, M., 2007. Ufererosion - Monitoring und Modellierung der Stabilität von Uferböschungen. Diplomarbeit am Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und konstruktiven Wasserbau. BOKU Wien.
- Lane, E. W. 1955. Design of stable channels. *Trans. ASCE*, 120, 1234 -1260.
- Mangelsdorf J., Scheuermann K., 1980: Flussmorphologie: Ein Leitfaden für Naturwissenschaftler und Ingenieure. München, Oldenburg.
- Mosselman, E., 1992. Mathematical Modelling of Morphological Processes in Rivers with Erodible Cohesive Banks. PhD Thesis, Technische Universität Delft, Delft, Netherlands.
- Nachtnebel, H.-P., Habersack, H. 1992. Gewässerbetreuungskonzept – Obere Drau, Arbeitspaket 7: Geschiebehauhalt, Wien.
- Petutschnig, Moser, 1998. Einreichprojekt Kleblacher Totarme, Klagenfurt.
- Pizzuto, J.E., 1990. Numerical simulation of gravel bed widening. *Water Resour. Res.*, 26. 1971-1980.

- Rinaldi, M., Darby, S. E., 2005. Advances in modelling river bank erosion processes. 6th Gravel Bed River Workshop. Austria 2005.
- Rodi, W., 1980. Turbulence models and their application in hydraulics. Int. Assn. for Hydr. Res. (IAHR), Delft, The Netherlands. 1-104
- Schmautz, M., 2003. Eigendynamische Aufweitung in einer geraden Gewässertrecke. Bericht des Lehrstuhls für Wasserbau und Wasserwirtschaft im Institut für Wasserwesen an der Technischen Universität München.
- Schober, St., Habersack, H. M., 2004. Auswirkungen wasserbaulicher Maßnahmen auf die Flussmorphologie und Ökologie am Beispiel der Oberen Drau, Beitrag zum Symposium vom 16. – 19. Juni 2004 in Wallgau, Oberbayern.
- Schober, St., 2006. Flussmorphologische Prozesse am Beispiel alpiner Einzugsgebiete, Verlag Gutmann Peterson, Wien.
- Schöberl F. 1988. Hydrologische Grenzbedingungen für die Beeinflussungsmöglichkeit des Bettmaterialtransportes alpiner Flussläufe durch instationäre Hochwasserwellen. 14. Konferenz der Donauländer über hydrologische Vorhersagen Kiew; Mittel. des hydrographischen Dienstes in Österreich, Heft Nr. 58.
- Thorne, C. R., 1982. Processes and mechanisms of river bank erosion. Gravel-bed rivers, R. D. Hey, J. C. Bathurst, and C. R. Thorne, eds., John Wiley & Sons, Inc., Chichester, U.K., 227-271.
- Unfer, G., Schmutz, S., Wiesner, Ch., Habersack, H.H., Formann, E., Komposch, Ch., Paill, W., 2004. The effects of hydropeaking on the success of river-restoration measures within the LIFE-project "Auenverbund Obere Drau". In: Diego Garcia de Jalon & Pilar Vizcaino Martinez: Fifth International Symposium on Ecohydraulics, 12.09.2004-17.09.2004, Madrid; Proceedings of the Fifth International Conference on Ecohydraulics - Aquatic Habitats: Analysis and Restoration, 1, 741-746; IAHR, Madrid; ISBN 90-805649-7-4.

INTEGRATED LAND USE PLANNING AND RIVER BASIN MANAGEMENT (ILUP)

Hubert Siegel¹, Anton Schabl²

ZUSAMMENFASSUNG

Der Schwerpunkt des Projekts “Integrated Land Use Planning and River Basin Management”/ILUP liegt in der ganzheitlichen Betrachtung der wasser-, land-, und forstwirtschaftlichen Behandlungsansätze in einem Einzugsgebiet, mit dem Ziel der naturräumlichen Risikominderung und der Kostenminimierung sowie der Integration der sozioökonomischen Rahmenbedingungen.

In den Themenbereichen Raumplanung, Hydrologie, Wildbach- und Lawinenschutz, Landwirtschaft, Jagd, Landnutzungsplanung, Naturschutz und Tourismus wurden Teilprojekte abgewickelt. Das Projekt ILUP war eines der Ersten, bei dem Fragestellungen flächendeckend im gesamten Einzugsgebiet behandelt wurden. Innerhalb des Projektrahmens von ILUP wurden neue Methoden erprobt, Strategien entwickelt und Pilotprojekte in ausgewählten Einzugsgebieten umgesetzt.

Keywords: Naturgefahren, Raumplanung, ländlicher Raum, Gefahrenkarten

ABSTRACT

The project “Integrated Land Use Planning and River Basin Management” /ILUP has a major approach in harmonisation of water management, agriculture, forestry and integration of socio-economic aspects.

Fields to be involved are spatial planning, hydrology, torrent and avalanche control, agriculture, hunting, land use planning, nature conservation, and tourism. ILUP is one of the first project integrating several programmes, since the issues dealt with the cover of the entire catchment.

Within the framework of the ILUP project exemplary new methods are being tested, strategies developed and pilot projects implemented in selected river basins.

Keywords: natural hazards, spatial planning, rural zones, hazard map

¹ Head of Subdivision IV4b Landscape Analysis and Risk Prevention, Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Marxergasse 2, A-1030 Vienna, Austria (Phone: +43 1 71100 7204; Fax: +43 1 71100 7399; email: hubert.siegel@lebensministerium.at)

² Managing Director of Schabl & Partner OEG, Vienna, Untere Viaduktgasse 53/5a, A-1030 Vienna, Austria (Phone: +43 1 503 7590; email: office@schabl.at; web: www.schabl.at)

BACKGROUND

Intensive agriculture, settlement and traffic and increasing human activities have affected very much the way of water from precipitation to river. The same is valid for the plain surfaces of river valleys, which are utilised intensively and thus compete directly with the space requirements of rivers and streams to discharge floods safely and to sustain a species-rich river- and alluvial forest eco-system.



Fig. 1: Landuse close the river Raab

Abb. 1: Landnutzung neben dem Flusslauf der Raab

Utilisation claims for the river basin are raised also from agriculture, recreation and leisure time, nature conservation etc.

The floods and damages of the last years showed, that sustainable flood protection can be achieved only by a combination of land management in the catchment area, provision of additional space for flood prevention and technological solutions and prediction models. Infrastructure planning, land use and the protection of resources demand an integrated approach due to the space limitations.

The problem statements at the foothills and the hill country related to the integrated management of water resources, risk management and natural landscape management are only sustainable solvable in an interdisciplinary way, as common strategies of the involved disciplines (Departments and authorities from the sector forest spatial planning, hydraulic engineering, torrent and avalanche control, agriculture, hunting, spatial planning, nature conservation, tourism etc.) are obligatory. This demands an intensive collaboration, clarifying the base data, harmonising the respective bodies, and coordination of the

joint developing operation strategies. In the risk areas e.g. in the Danube zone, the water management is important for the land use development. With a spatial planning and a land use steering approach the sectoral protective water management will be enhanced to an integrated river basin management.

From sectoral water management to Integrated River Basin Management (IRBM)

The goals of this project contain the drafting and implementation of an integrated strategy for the assessment of foothill and hill country, due to in terms of area evaluation and with regard to the natural hazard and use potential and the resultant conflicts as well as a prevention support (flooding, mudflows etc.) with transnational coordination (transferability of the evaluation approach).

Further part targets concern:

- Harmonisation and integration of existing sectoral appendage – implementation of an integrated river basin management as a new efficient planning tool
- Development of new methods for the detection of future risk scenarios and the effects of floods specially also considering the climate change
- Integration of the essential effects on the environment and aspects of the resource management

- Developing middle- and long-term concepts for land use and natural landscape management for sustainable development as well as for transnational cooperation
- Preparation of investments by roadmaps which are directly introduced in the practical decision-making of the community development
- Increasing the acceptance among the population for river basin management through new market and communication mechanisms, simultaneously setting river oriented impulses for the regional development

Sustainable flood protection in natural river basins can only succeed with a cross-sectoral approach and multisectoral cooperation. Modern market and communication mechanisms should make the concrete benefits of measures of river basin management, as like as creation of free space without or low damage potential along the rivers for flooding, clear to as many citizens as possible. Awareness with regard to the rivers and thus the acceptance of river basin management is to be enhanced and at the same time impulses are to be set for regional development. In the basin of Ybbs it has been done by environment teachers within a so called water school.

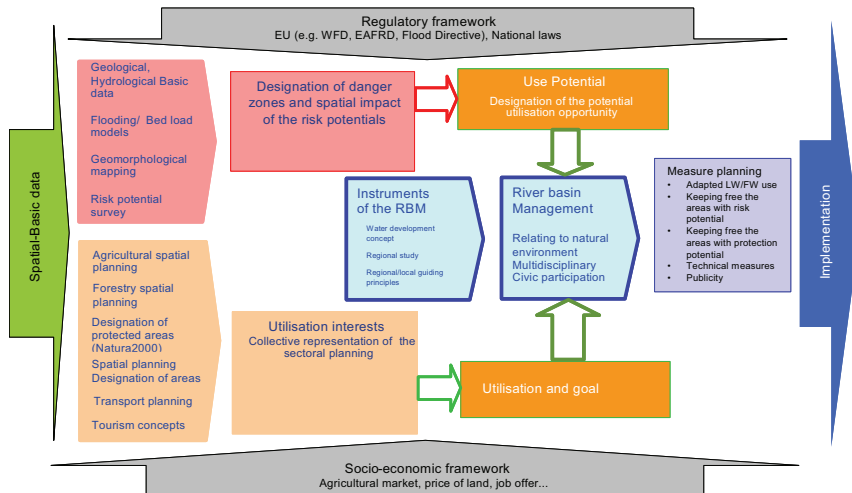


Fig. 2: Integrated river basin management flowchart
 Abb. 2: Integriertes Flussraummanagement Ablaufdiagramm

RIVERS NEED SPACE

People want to live, work and travel on good transportation lines, but space in the valleys is limited, also nearby the rivers. Flood protection, nature conservation, agriculture and also forestry – all this utilization forms need space.

- Development of new methods for early detection and reactivity to risks with special consideration for the climate change

- Concepts for land use and landscape management (minimising use conflicts) for a sustainable development and transnational cooperation
- Increasing the acceptance among population for river basin management through new market and communication mechanisms
- River related impulses for regional development

DEVELOPING AND TESTING

In several selected river basins an integrated approach of planning and land use optimisation has been tested. In numerous transnational conferences and workshops the partners have reported their experiences of assessing the national hazards, combining with the land use effects a spatial planning aspects.

As a result of the process, an integrated river basin management strategy according the new EU-Flood Directive has been derived exemplarily in the pilot basins. This should deliver further fundamental data for preparing new guidelines for functional aspects within the EAFRD-program beyond 2013.

This has to be realised with an integration of the stakeholders of the relevant areas.

National Approach Austria

The field of the spatial basic data (terrain model, orthophoto, satellite images, and geographical material) is widely covered; selective improvements and updates will be conducted by the regional public authorities in the partner countries.

These are important resources for the priority string of measures as well as the basis for the planning of the use potential. In the range of the sectoral spatial planning fields: agriculture, forestry, transport etc., mainly the agricultural land-use planning poses a problem for the natural hazard prevention purposes. The exclusive regulation by financial incentives from the agrarian aid is a too weak instrument for risk potential purposes. The adoption of the potential ways of agricultural utilisation, regarding the efficient IRBM, is an important element. A methodological approach for a functional assessment of the agricultural utilisation forms was developed in the scope of the project ILUP (WAGNER 2007). The major task of IRBM was restoring the balance of the utilisation interests taking into consideration the use potential which in turn derives from the risk potential.

National Approach Bavaria

In course of the project work's a new planning process was developed. This actual planning and implementation methodology can be described as a linear approach with main five steps from planning towards implementation.

This development was basically affected that the main problems in this line arise during the steps stakeholder participation, financing and spatial management.

Especially failures in the dialogue with different interest groups can endanger the necessary financial contribution or the availability of space for implementation. Therefore the need was seen to develop new methods of stakeholder participation: the integration of regional and socio-economic development aimed to start a planning process from the stakeholders perspective and integrate later on the objectives of water management authorities into a starting project. (DORNER 2007a)

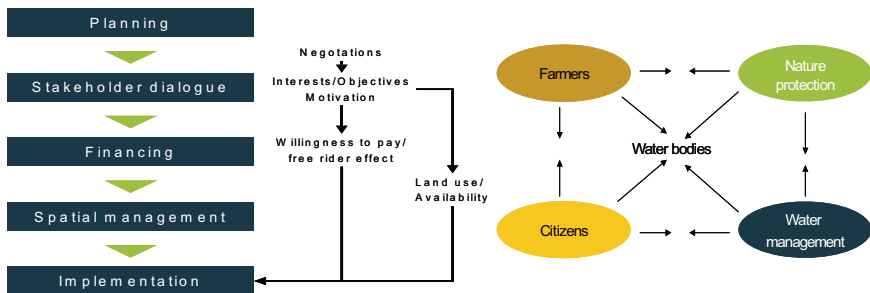


Fig. 3: Integrated River Basin Management, Planning process (DORNER 2007a)
 Abb. 3: Integriertes Flussraummanagement, Planungsprozess (DORNER 2007a)

As a developing, planning, and implementation method, IRBM is able to provide a flexible and updateable instrument to follow changing framing conditions.

This means for an dynamic approach for river basin management to integrate institutional learning and an updateable approach to follow trends, scientific achievements and political developments. Besides the new water management planning methodology, the interdisciplinary approach for river basin management also asks for a distinct process management. To achieve a maximum of synergies and avoid contradictory goals disciplinary plans need to be parallelized. In a next step intersectoral implementation projects can combine e.g. the strengths of different funding and implementation measures and achieve a maximum benefit from a societal and stakeholder perspective.

National approach Czech Republic

Common proposals of measures in landscape come from water, forest and agricultural management. They respected nature prevention demands and development of rural enterprise activities. The project team searched for such solution that involves a discussion of multi branches linked to landscape and by thus significantly lowers risk zones. The Pomoraví basin functioned as a pilot area for setting up of a new legislative in forestry, nature prevention, agriculture and spatial planning (TRANTINOVA 2007), and caused a new spatial planning directive of the Czech Republic

GOOD PRACTICE GUIDE

All over the partnership numerous subprojects have been developed and summarized in a Good Practice Guide:

- Integral, multidisciplinary, regional evaluation of the natural hazard and use potential
- Transferable water management system and Good Practice Guide
- Concerted planning and implementations of land-use optimisation
- Long term impact on the instruments of spatial planning (risk prevention) below a few distinctive examples.

Flood Hazard Maps

The Lower Rott was chosen as project area because of its wide flood plains on the one hand side, and the high values at risk in urban and industrial areas at the other side. The upstream detention reservoir Rottauensee has a flexible control strategy for small flood events up to a 20 year flood. Resulting variable flood plains for distinct flood events had to be taken into account, because resulting maps should also serve as an information instrument for the control of the reservoir.

Methodology: In Austria, Switzerland and several German Federal States experiences have already been made with flood hazard maps. These achievements had been picked up and evaluated for use in the Tertiary Hilly Landscape.

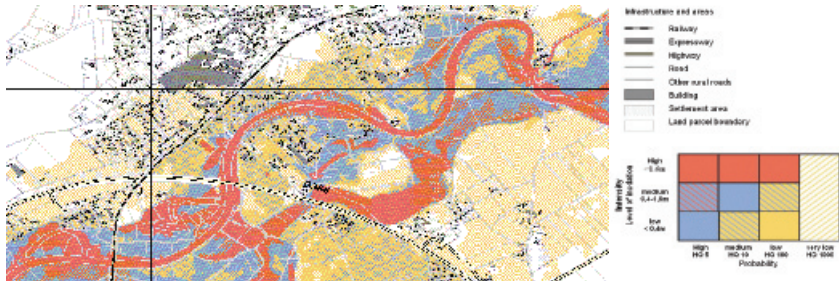


Fig. 4: Flood hazard maps (DORNER 2007b)

Abb. 4: Gefahrenkarte Hochwasser (DORNER 2007b)

Czech approach implemented in basin Pomoravi

At present time there are two applied approaches for realization of flood preventive measures:

- traditional technical process (used by State Water Management), i.e. building dams, dam removing from flows, spreading and deepening of stream channel, objects removing out of inundation area, application of protection mobile elements,
- approach (implemented in ILUP Pomoravi, phase E05) referring to technical line and space measures on water flow; those measures focus on system application of land consolidation (e.g. technical, bio-technical, organization and agri-technical measurements in the area of river basin) – they have also soil protection from erosion and flood protection effects above all in increasing landscape retention and its ecological stability (Trantinova 2007). Those different approaches support each other interactive very effectively.

Water regime in landscape (ILUP Pomoravi, phase E05) was divided in these parts:

- Evaluation of run-off and erosion situation in the area and retention water capacity of landscape
- Calculations and modelling of basic hydrological characteristics and erosion threaten soils and sediment runoff
- Proposals of complex prevention and organization of river basin
- Optimization of prevention and organization of river basin

Austrian Agrarian Spatial Planning

Four reference communities represent the different natural conditions and are subdivided into 19 functional units (homogenous in terms of agricultural production within themselves) which have been evaluated due to different major functions.

- **Function of Production** The function of production of food and raw materials is calculated from the shares of a given soil-evaluation for arable land and grassland in the digital soil-map 1:25.000.
- **Function of Protection** The function of hazard protection takes into account the share of official risk zones for hazards on agricultural areas.
- **Function of Resource Protection** The resource protection (risk of water and wind erosion and leaking pollutants into the groundwater source: soil map) is compared with the agricultural land use (indicator: share of grass and fallow land) to get evidence of a sustainable agriculture.

The view of different functional patterns of agricultural areas in the communities rises the awareness of a multifunctional agricultural landscape and shows strengths or deficits of agricultural areas in the evaluated terms. The result is one base for integrated regional planning decisions.

STAKEHOLDER INFORMATION AND PARTICIPATION

The central focal point of this project is the flood protection. To achieve understanding for the appropriate measures, the subject is designed with the methods of natural pedagogy as already mentioned.

Pupils at the age of 6-14 were chosen as target group, so that an additional multiplication effect over teachers and parents can be achieved. The complex knowledge shall be imparted to the pupils both on emotional and cognitive level.

Subsequent to the training, individual tours were held for the guided classes, harmonising with the level of education, in the period May-June 2006. Thereby, about 300 pupils in the basin of river Ybbs area could be reached. There was a positive feedback by teachers as well as by pupils.

This project received also a strong response by the media so that the sub-goal to raise a high profile in public could be achieved.

The positive experiences of the employees of the hydraulic engineering and of the addressed target audience resulted in a continuation of the project beyond ILUP. For 2007, an enlargement of the guiding area and the number of tours at the Ybbs, Url and Melk (bordering river basin) has been established.

The river pedagogical tours will be a fixed part of the department of hydraulic engineering. Accordingly, further new staff will be trained or rather the involved persons qualified.

To raise the high profile, information material (calendar, brochures etc.) and the setup of a homepage shall be broadened.

By the end of the project, new, interdisciplinary, and transnationally harmonised planning concepts and papers (e.g. integrated river basin management plans, cross-sectoral danger-preventing plans, transferable management systems with practical examples etc.) are available for the project regions in the partner countries. They will also be a basis for further sustainable development.

The expectations of the project partners were particularly high, since on the one hand, a new kind of “planning culture” was caused through the development of fundamentals. On the other hand, the assessment of the natural danger potential in the project regions and differentiated specifications for an optimisation of land use will be incorporated in all future space planning measures. Already now, extensive investment plans are available – in particular where public administration is responsible.

The pilot measures have demonstrated that the planning products developed in the framework of ILUP are practicable. Active countermeasures in relation to natural danger and floods are demanded not only, as apart of the project, but also increasingly by the population. More awareness of the problem will certainly result in an enforced problem awareness within the European Commission.

TRANSNATIONAL DIMENSION

Improvements in the catchment area of the Danube can only be reached by an integrated river basin management already in small catchments. The key to have success in this context are the new land-use strategies as well as the creation of new retention zones, a more intensive cooperation with agriculture, and primarily a much more intensive integration of both the new EU member countries and those Danube River Basin countries further east into the global idea of the ILUP project – the integral and transnationally harmonised water management. The proving of new land use strategies for flood plains, a close cooperation with new EU-member states or rather candidate countries and establishing the creation of additional retention areas require a transnational coordinated approach for reaching the goal of hazard reduction and risk prevention in a manageable time.

LITERATURE

Dorner, W et.al.2007 a: RBM – Process and Management. In: Final Results, Integrated Land Use Planning and River Basin Management (ILUP), INTERREG 3b CADSES Project. Austria; 2007. in press.

Dorner W., et.al 2007 b: Flood Hazard Maps, Deggendorf University of Applied Sciences – Water and Environment. In: Final Results, Integrated Land Use Planning and River Basin Management (ILUP), INTERREG 3b CADSES Project. Austria; 2007. in press.

Trantinova M. et.al. 2007: National approach – Czech. In: Final Results, Integrated Land Use Planning and River Basin Management (ILUP), INTERREG 3b CADSES Project. Austria; 2007. in press.

Wagner K. 2007: Landwirtschaftliche Grundlagen für eine integrierte Regionalplanung, am Beispiel des Ybbs-Einzugsgebietes. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Agrarwirtschaft Nr 98. Wien 2007.

HORA – AN AUSTRIAN PLATFORM FOR NATURAL HAZARDS AS A NEW WAY IN RISK COMMUNICATION

Heinz Stiefelmeyer¹, Thomas Hlatky²

ZUSAMMENFASSUNG

HORA ist ein bundesweites Risikozonierungssystem (www.hochwasserrisiko.at) für Naturkatastrophen mit den derzeitigen Schwerpunkten Hochwasser und Erdbeben. Dieses europaweit einzigartige PPP-Projekt wurde in Zusammenarbeit mit dem Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) und dem Verband der Versicherungsunternehmen Österreich (VVO) an mehr als 25.000 Flusskilometern in vier Jahren gemeinsam umgesetzt. Nutznießerinnen und Nutznießer dieser Kooperation sind die Bürgerinnen und Bürger, wenn es darum geht, wichtige Informationen zur Überflutungsgefahr beispielsweise des Eigenheims oder eines Industriebetriebes, einer Infrastruktureinrichtung etc. bereitzustellen.

Keywords: Naturgefahr, Öffentlichkeitsbeteiligung, Risikokommunikation, Prävention

ABSTRACT

The internet-based platform “HORA – Flood Risk Zoning Austria” is an Austria-wide risk zoning system for natural disasters, presently with the priorities of floods, earthquakes and hail (www.hochwasserrisiko.at). This project – also as a ppp-modell - is unique in Europe and, in the course of four years, has been jointly implemented by the Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (BMLFUW) and the Austrian Insurance Association (VVO) on more than 25.000 river kilometres. The beneficiaries of this cooperation are to be the citizens of this country when it comes to provide important information for example on the risk of flooding of one’s home or of an industrial enterprise or an infrastructure facility. So, in addition to obtaining easy and quick information about any risk of flood via a digital internet hazard map, which serves as a first risk assessment as well, this tool can also be used to optimise and set priorities in the required flood control at the municipal, provincial and federal levels.

Keywords: natural hazards, public participation, risk communication, prevention, awareness

¹ Dr. Heinz Stiefelmeyer, Head of Division flood protection, Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (BMLFUW), Marxergasse 2, 1030 Vienna, Austria, (Phone: +43/1/711-00/7138; e-mail: heinz.stiefelmeyer@lebensministerium.at)

² Dr. Thomas Hlatky, Grazer Wechselseitige Versicherung, Herrergasse 18-20, 8011 Graz, Austria (Phone: +43/316/8037/538; e-mail: thomas.hlatky@grawe.at)

INTRODUCTION

Following the devastating floods in 2002, Austria again had to cope with several major flood incidents in 2005 and 2006. The total losses for 2005 amounted to some 100 million euros in insurance claims and about 560 million euros in damage to the country's economy. These sums were not as extreme as the record figures of 2002, when approximately three billion euros of damage were inflicted on the Austrian economy, and about 400 million euros were paid out as the result of insurance claims. Nonetheless, the figures reveal the need for a comprehensive common solution to the problem of insurance provision in the light of such devastating events; a solution in which private insurance providers, policyholders and the state shall have to share the burden.

As a first step in this direction, the Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (BMLFUW) together with the association of Austrian insurance companies (VVO) has developed HORA, a nationwide zoning system for natural disasters with a special focus on the potential likelihood of flooding (see fig. 1). HORA contributes towards improving awareness of pertinent risks among the people, which also helps curtail potential losses in the future. The Internet access to HORA's digitalized risk map is free of charge.

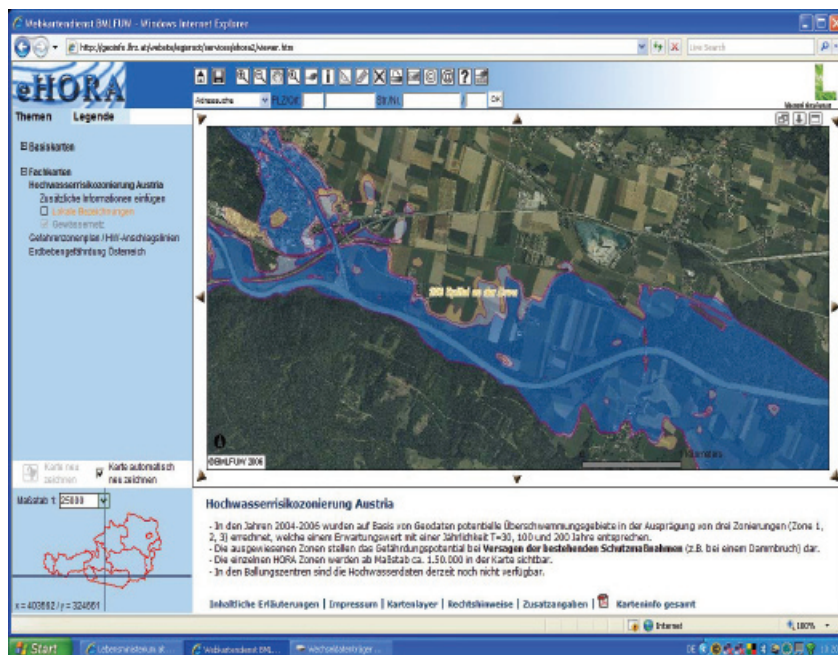


Fig. 1: Flood risk zoning Austria (HORA)

THE HORA MODEL

In the beginning the aim of HORA is to identify flood areas which provide information on 30-year, 100-year and 200-year flood events relative to the river network recorded on a scale of 1:500.000 with a total length of more than 25.000 km. To achieve this aim organisational and technical works had to be performed.

The ppp-model

The Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (BMLFUW) and the Association of Austrian Insurance Companies (VVO) have agreed after extensive preparatory work to work jointly towards the establishment of a flood and natural disaster risk zoning system in Austria. There is a common interest in setting up a freely accessible system, in which areas affected by floods and other natural disasters can be rapidly and uniformly identified throughout Austria and this information made available. Thus in the long term efforts should be made to avoid damage from natural disasters such as floods by the implementation of the appropriate measures, e.g. in spatial planning, local building regulations and in general damage prevention.

The system conforms to the current state of the art, particularly in the field of geoinformation systems and geobase data. It is primarily based on a probabilistic method and is therefore not capable of replacing or acting as a substitute for local hazard maps. It is expressly not intended to produce an instrument for the enforcement or establishment of historical claims against regional administrative bodies or other legal entities and it can never replace the necessary local risk assessments or evaluations either in the past or in the future.

The subject of a contract between BMLFUW and VVO is the implementation of the project "Flood risk zoning Austria" (HORA). The results are made available in an open system with a free access and free of charge for everyone. Subsequently, the greatest possible level of updating shall be constantly ensured and maintained. The rapid integration of other available natural disaster risk data will be sought, wherever it is available in digital form. The BMLFUW undertook to make available the relevant experts to deal with the integration of the federal and regional offices concerned and to provide a cost estimate for the external services. In the event of the implementation of the project, the VVO undertook to accept the costs, in particular those for the calculation of the flood zones for the flood network across the stated length as well as those for the generation of the hydrological computer model. With regard to the level of the cost contribution, the VVO submitted a quotation as soon as an estimate of the level of the probable costs is available.

A steering committee was formed, which decided on all important content-related, financial and organisational issues of the project requirements and made up of two representatives from both the BMLFUW and from the VVO. The steering committee reached its decisions on a consensual basis and drew up the project organisation and project structure and the time sequence for the project within the framework of the project requirements it also drew up the budget and the technical content of the scope of supply. The inclusion of specialists from different regional administrative bodies and departments as well as experts from the reinsurance industry was in particular expressly required for clarification and support in respect of any legal and technical issues which may have arisen at any phase of the project. The contracting parties undertake not to offer advantages of any kind to third parties, directly or indirectly, nor to accept gifts for themselves or for others, directly or indirectly, or to acquire or have promised other such advantages for themselves or others which are or could be regarded as unlawful practice or bribery.

The hydrological model

The probability with which a certain block of land is immersed in water during a flood event can be calculated by means of hydraulic engineering methods. These have traditionally relied on statistical figures, which are known to be very inaccurate, especially when major events such as flooding are concerned. The Vienna University of Technology (TU) (Institute of Hydraulic and Water Resources Engineering) has dedicated many years to developing more accurate, process oriented risk assessment techniques. The starting point was to identify different flood-triggering processes and to divide them into specific categories as long-duration rainfalls, short-duration rainfalls, storms, rain following snow and snow melting.

Now that the TU team has for the first time assessed the overall runoff for all Austrian water bodies comprising 10.000 individual zones, HORA has since 2003 also benefited from this know-how. The new procedure basically consisted in analysing the aforementioned data derived from 1.000 water level readings all over Austria and matching them with data from the relevant governmental departments in the provinces. Then the data were matched with further specific information (geology, precipitation, hydraulic engineering, etc.) to also take account of the processes triggering floods. By means of mathematical regionalisation models these data were finally transferred to ungauged stretches of watercourse so as to produce the runoff data for 30-, 100- and 200-years events.

The hydraulic model

Runoff data was converted into water levels and flooding zones at the Institute for Applied Water Resources Management and Geoinformatics (IAWG) based in Ottobrunn near Munich. IAWG is the only scientific institution in Europe where such a complex task had already been successfully tackled before and which also has adequate computing capacities.

The hydraulic task was carried out in several steps. At first during the pre-processing, cross-sections, which were necessary for hydraulic calculations, were determined along the complete river network at short distances. Then one-dimensional, stationary non-uniform computation was used to determine the energy head line and water surface elevation in river sections and design discharges, derived from hydrological analyses for various return periods, were used. Parameters, which were necessary for the modelling process, were defined by evaluation of results from already existing hydraulic calculations in various studies. Water-depths, as the result of the above mentioned calculations in defined cross-sections, were then distributed equidistantly by using interpolation techniques during the post-processing, thus enabling the computation of closed polygons of the associated inundation-areas for each return period of the design discharge which was taken into account.

A multitude of various geo-related data was used to carry out the hydraulic calculations. Apart from the digital elevation model (DEM) using 840 million points and the digital slope model (DSM) consisting of approx. 3.4 billion points, an accurate and consistent river network, containing more than 5,000 basin divides, as well as more than a thousand topographical maps (ÖK50), which were geo-referenced, formed the basis of the calculations.

The Vienna based LFRZ (IT Competence Centre for Agrarian- Land- Forest- and Water Issues) was responsible for the IT development and the administration of the HORA Webgis homepage as well as for its user-friendliness. On the internet version the user can zoom to a scale of 1: 5,000 and a conventional web browser is all that is needed to use this geographic information system.

THE RESULTS

The results of the hydrological and hydraulic calculations are available as:

- discharges (HQ_T) for various return periods (30, 100 and 200 years) at each node of the river network
- vectorial presentation of the river network with scaled line widths and colours representing flood peak discharges (return period 30, 100 and 200 years)
- vectorial presentation of flood plain boundaries for flood peak discharges with a return period of 30, 100 and 200 years covering Austria's whole river network (scale 1:500,000)
- grid-based topography of water depth covering Austria's whole river network (scale 1:500,000) for various return periods (30, 100 and 200 years)

The overall goal was to achieve suitable accuracy for large-scale flood risk mapping and regionalisation techniques were used to determine flood peak discharge (HQ_T). Nevertheless, this approach does not provide the accuracy obtained by detailed experts' survey, for example, using rainfall-runoff models. The determined HQ_T values therefore do not replace design values based on more detailed studies which take into account local aspects in a more specified way.

Corresponding to the objectives of the HORA (Floodwater Risk Analysis Austria) the stated flood peak discharges (HQ_T) are regarded as "expected values" which are reached or exceeded with a probability of 50 %. Uncertainties, deriving from inaccurate stage-discharge relations or transfers to cross-sections without discharge registration, are not taken into account by an increase in the stated values; however they represent a certain variation of the given values. Thus HQ_T values (HORA values) are not to be regarded as "design values" but are most likely values which can differ from design values.

Hydraulic calculations for river basins of the presented size using models and data of the above mentioned accuracy have not yet been carried out. This task could only be solved by using a high degree of automation in the work flow. Over the past years the underlying pre- and post-processing algorithms have been developed and constantly improved. Numerous quality checks, based on experience, were incorporated for plausibility control of interim and final results. Hydraulic modelling is less accurate than in detailed studies but it would have been far too expensive and time consuming to apply more accurate methods to the river network in question.

The accuracy of the model results was mainly defined by the uncertainty of the used data, uncertainty in parameterization, as well as uncertainties of the used model. Extreme value statistics combined with regionalisation techniques were used as a basis for the hydrological input data. Uncertainty also exists due to the selection of the most suitable theoretical probability distribution and parameter estimation procedure as well as because of the spatial transfer of statistical values, derived from observation at gauging stations to the nodes of the entire river network.

Furthermore, the real topographic conditions could only be covered as far as the grid base (10 x 10 m) of the digital elevation model would allow, nevertheless the real bathymetric conditions of the synthetically generated cross-sections of rivers were only charted approximately. In particular the influence of existing flood protection structures was not included in the hydraulic calculations despite the fact that they, in some cases, can considerably influence the extension of flood plains. Some model parameters, e.g. hydraulic roughness, were calibrated randomly for selected river reaches and furthermore, determined for the predominant part of the river network by using a specially developed parameterization.

One-dimensional methods, neglecting the velocity components contrary and vertical to the main flow direction, were used for the calculation of water level elevations. Although one-dimensional calculation does not necessarily have to be inferior to two-dimensional methods when regarding accuracy of flood plain mapping, reductions in modelling accuracy have to be expected especially when dealing with meandering rivers or complex current systems.

The influence of storage basins and the effect of retention structures were considered only approximately. The exact value of HQ_T also depends on basin management which was not taken into account. Statistical extrapolation to rare flood events (return period larger than 30 years) also includes some uncertainty and remaining uncertainty is also caused by hydrological regionalisation due to spatial heterogeneity in river basins.

Despite the above mentioned uncertainties and the lack of detail, the advantages of the presented solution predominate particularly because the now existing data was determined in a homogenous way using comprehensible methods and they are now available for Austria's entire river network. As a result of the calculations unitary statements to various problems can be made. Figure 2 shows the spatial dimension of regions endangered by floods on community level, as well as the proportion of buildings situated within the zone of a 200-year event, when neglecting the effect of existing flood protection structures thus showing the potential risk of structure failure. Seen from this point of view, more than 240,000 buildings, i.e. more than 10 % of Austria's total, are potentially endangered by floods.

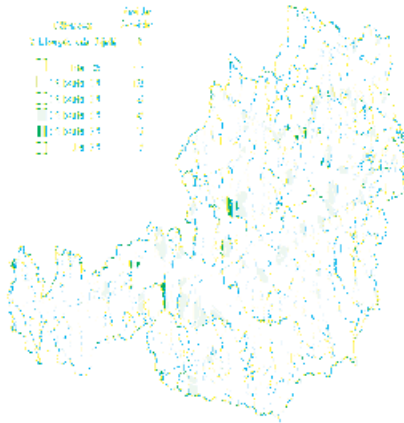


Fig. 2: spatial dimension of regions endangered by floods on community level

Furthermore, by means of an easily accessible internet site and due to its user-friendly design, a reasonable public awareness for flood risk was created which will clearly reduce future damage during floods. More than 60 million visitors within the first eighteen months demonstrate the enormous public interest in data dealing with natural hazards.

CONCLUSIONS

A central finding of the 2002 flood, caught up from the study “FloodRisk”, was that, besides raising people’s risk awareness, indicating the limits of active measures of risk protection and the necessity of the adapted use of endangered areas, a “risk partnership” between state, insurance companies and individuals would play an even greater role in the future. HORA is playing an important part in this cooperation and is a Europe-wide unique project in the cooperation between the state and the private sector and a striking example of Public Private Partnership in Austria. So, in addition to obtaining easy and quick information about any risk of flood via a digital internet hazard map, which serves as a first risk assessment as well, this tool can also be used to optimise and set priorities in the required flood control at the municipal, provincial and federal levels.

Since the beginning in 2003 the main partners BMLFUW and VVO are working together with a significant number of external partners (e.g. Geoforschungszentrum Potsdam, Bauhaus Universität Weimar, SwissRe, MunichRe, AON Rück, ZAMG, GBA and many others) to provide an open platform for a risk zoning and mapping tool in Austria. Main principle of cooperation in HORA is to create win-win situations for every single partner. Data input is usually done by public institutions, development costs are covered by private initiative. The results of HORA projects are available for further use within the HORA partnership for every member. Actually flood, earthquake and hail risk zones are available for free for public and private use. Also a tool, showing all digitalised hazard maps (from the Federal Water Engineering Administration) is available (example see fig. 3). Developments in 2008 are planned on storm and thunderbolt. HORA is actually the most sophisticated implemented risk zoning and mapping tool in Europe covering the entire surface of a country and is for public and private use.

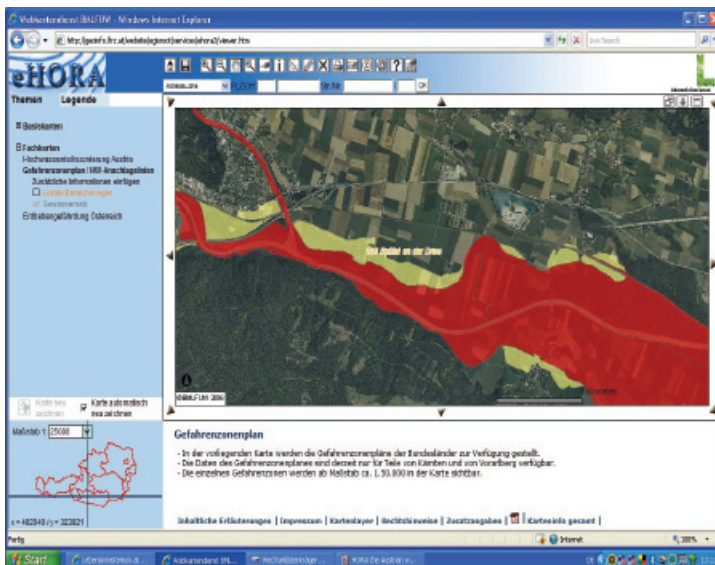


Fig. 3: Hazard map (same scale, same region as Fig. 1)

To the BMLFUW the project is not only a milestone in the field of risk communication, but also reflects Austria's leading role in the water sector as such. HORA advances parts of the EU Flood Directive which is being adopted and requires more information for the public. What counts for the insurance companies is, apart from higher risk awareness of the people, an improved realising and assessment of potential dangers as a basis of insurability.

REFERENCES

- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, 2006. Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation der Bundeswasserbauverwaltung, des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung und des Hydrographischen Dienstes, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna
- Habersack H., Bürgel, J., Petraschek, A., 2004. Flood-Risk - Analyse der Hochwasserereignisse vom August 2002 - Synthesebericht, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna
- Pretenthaler, F., Hyll, W., Türk, A., Vettors, N., 2004. Internationale Erfahrungen mit nationalen Risikotransfersystemen im Zusammenhang mit Großschadenergebnissen aus Naturkatastrophen. Analyse der Hochwasserereignisse von 2002, Herausgegeben vom Bundesministerium für Land und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Vienna
- Pretenthaler, F., Hyll, W., Türk, A., Vettors, N., 2004. Finanzielle Bewältigung von Hochwasserschäden, Vienna
- Sinabell F., Url T., 2006. Versicherungen als effizientes Mittel zur Risikotragung von Naturgefahren Studie des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Verbandes der Versicherungsunternehmen Österreichs, Vienna
- Sinabell F., Trimmel, S., 2004. Ökonomische Analyse von schadensmindernden Maßnahmen im Hochwasserschutz, Studie des Österreichischen Instituts für Wirtschaftsforschung im Auftrag des Umweltbundesamtes, Vienna

GEWÄSSERBETREUUNGSKONZEPT DORNBIRNERACH

WASSERWIRTSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

WATER MANAGEMENT CONCEPT DORNBIRNERACH

WATER MANAGEMENT RESULTS

Dieter Vondrak¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die Veranlassung für die Ausarbeitung eines Gewässerbetreuungskonzept für das Einzugsgebiet der Dornbirnerach (EZG 215 km²) ergab sich aus den komplexen Strukturproblemen an diesem Gewässer: Hochwasserschutz, Ökologie (Gewässer, Umland), Geschiebe (Anlandungen). Diese vielfältigen Aspekte sollten interdisziplinär koordiniert werden, um einen größtmöglichen Nutzen für alle Betroffenen im Einzugsgebiet Dornbirnerach zu erzielen.

Jetzt liegen umfangreiche Unterlagen vor, die wichtige wasserwirtschaftliche und ökologische Informationen enthalten, die von den verschiedensten Interessenten genutzt werden können. Nicht nur von der Wasserwirtschaft sondern beispielsweise sind die Überflutungspläne nun eine wichtige Grundlage für die Feuerwehren in der Region.

Wegen der positiven Erfahrungen hat 2007 das Gewässerbetreuungskonzept III begonnen und 2008 soll ein Gewässerbetreuungskonzept Bregenzerach starten. Wenn diese abgeschlossen sind, liegen für Vorarlberg, für alle größeren Gewässer wichtige wasserwirtschaftliche Grundlagen vor.

Keywords: Gewässerbetreuungskonzept, Generelle Studie, Prioritätenreihung

ABSTRACT

The reason to provide a Waters Management Concept for the catchment area of the Dornbirnerach (215 km²) arose from the structural problems concerning waters in this region: Flood control, Ecology (water, surface), Bed-load (sedimentation). These various interdisciplinary aspects should be coordinated to achieve the greatest possible use for all affected persons in the catchment area of the Dornbirnerach.

Therefore extensive documents, containing important water-economic and ecological information, are available to various prospective interested parties. Now the inundation maps rep-

¹ Projektleiter, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Abteilung Wasserwirtschaft, Josef-Huter-Straße 35, A-6900 Bregenz, Österreich (Tel.: +43-5574-511-27476; Fax: +43-5574-511-927495; email: dieter.vondrak@vorarlberg.at)

represent an important foundation not only for the water management but also, for example, for the regional fire brigades.

The positive experiences initiated other waters management concepts. In 2007 people started to work on the concept for the Ill and in 2008 a waters management concept for the Brenzerach should start. If these are concluded, Vorarlberg will have important water-economic bases for all its main waters.

Keywords: water management concept, universal strategy, planning of measures

PROBLEMSTELLUNG

Die Veranlassung im Herbst 2001 mit der Ausarbeitung eines Gewässerbetreuungskonzept für das Einzugsgebiet Dornbirnerach (215 km² Einzugsgebietsgröße) zu beginnen, ergab sich aus den Strukturproblemen, die bei den Gewässern in dieser Region vorherrschen. Auftraggeber war das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und das Amt der Vorarlberger Landesregierung.

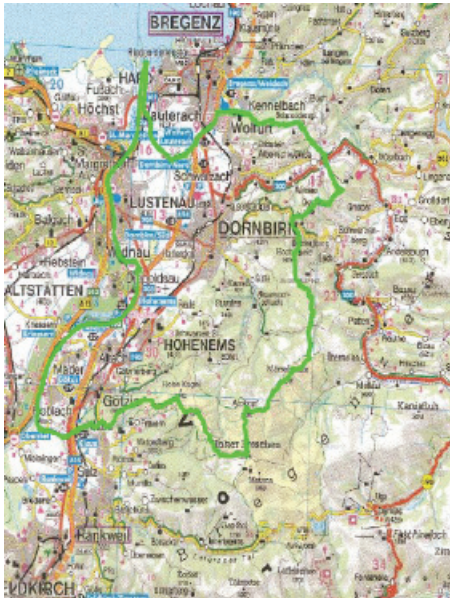


Abb1: Einzugsgebiet Dornbirnerach

Fig1: watershed Dornbirnerach

ZIELSETZUNG

Diese vielfältigen Aspekte sollten interdisziplinär koordiniert werden, um einen größtmöglichen Nutzen für alle Betroffenen im Einzugsgebiet Dornbirnerach zu erzielen.

Defizite Hochwasserschutz

Es bestehen schutzwasserbauliche Mängel, die deutlich in den vergangenen Jahren mit großen Hochwasserereignissen mit Überflutungen zum Vorschein kamen.

Defizite Ökologie

Das Einzugsgebiet der Dornbirnerach ist von einem weit verzweigten Gewässernetz durchzogen, dessen Naturnähe oft nicht vorhanden ist. Es gibt wertvolle Flächen im Gewässerumland die besser an das Gewässer angebunden werden sollen.

Defizite Geschiebe

Teilweise treten Probleme beim Geschiebetransport auf, beispielsweise die Feinmaterial Ablagerungen in den flachen Gewässerabschnitten der Dornbirnerach. Hier sind laufend teure Räumungen erforderlich.

Das Gewässerbetreuungs-konzept beinhaltet lt. den „Technischen Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung“ folgende Ziele:

- Darstellung der Situation der Gewässer
- Formulierung eines gewässerspezifischen Leitbildes
- Optimierung des Hochwasserschutzes
- Maßnahmenkatalog mit Setzung von Schwerpunkten
- Bereitstellung von Grundlagen für die Detailplanung

Heute werden die Gewässerbetreuungs-konzepte als Gewässerentwicklungskonzepte bezeichnet. Diese sollen bereits die Zielsetzungen des Nationalen Gewässerbewirtschaftungsplan (NGP) in die Planungen mit einbeziehen.

ARBEITSPHASEN

Das Projekt wurde in vier Arbeitsphasen unterteilt, die durch 13 Arbeitspakete abgedeckt werden. Die wichtigsten Arbeitspakete waren: Hydrologie, Hydraulik, Feststoffhaushalt, Wasserbauten/Anlagen, Raumanprüche, Natur- und Landschaftsschutz, Gewässerökologie, Leitbild, Maßnahmenprogramm, digitales GIS Abschlussprojekt.

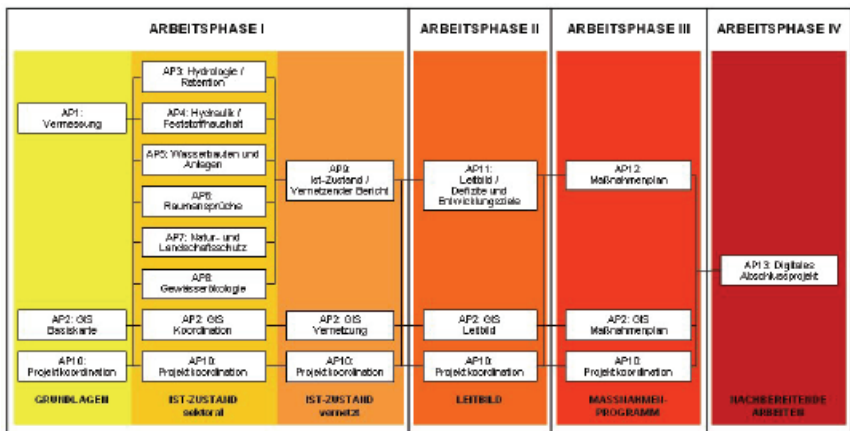


Abb2: Darstellung der Arbeitsphasen

Fig2: diagram of the working phases

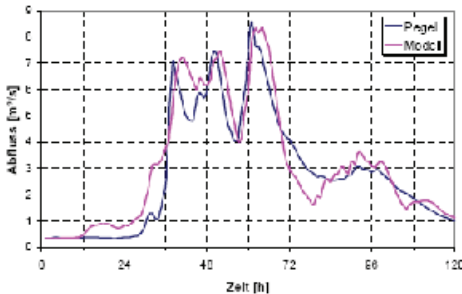
ARBEITSPAKETE UND DEREN ERGEBNISSE

Stellvertretend für alle Arbeitspakete sind hier die Ergebnisse ausgewählter Arbeitspakete dargestellt:

- Hydrologie
- Hydraulik
- Geschiebe
- Schadenspotentiale
- Leitbild
- Maßnahmenplanung
- GIS Projekt

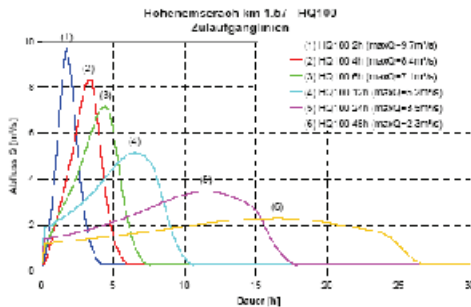
HYDROLOGIE

Zur hydrologischen Erfassung des Einzugsgebietes der Dornbirnerach mit 215 km² wurden 105 Teileinzugsgebiete gebildet, für die gebietsspezifische Parameter wie Verbauung, Wald, Wiese, Geländeform festgelegt wurden. Es wurden 4 ausgewählte Niederschlagsereignisse herangezogen und daraus mit der Methode von Thiessen die Gebietsniederschläge ermittelt. Anschließend wurden die Teileinzugsgebiete in einem Flussgebietsmodell zusammengezogen. Nun wurden durch die Anpassung durch Anpassung der Parameter Abflussbeiwert und Wellenverformung abgelaufene Niederschlags-Abflussereignisse simuliert.



Die Ergebnisse wurden anhand von Pegelaufzeichnungen verifiziert. Ein Beispiel ist angeführt. Die simulierten Ergebnisse haben größtenteils gut mit den abgelaufenen Ereignissen übereingestimmt. Wichtig war vor allem, dass die Hochwasserspitzen gut mit der Realität übereinstimmten, da im nächsten Schritt über versucht wurde die Abflüsse bei HQ5, HQ30 und HQ100 aus dem N/A-Modell zu bestimmen.

Abb3: Modelleichung am Pegel Emsbach
Fig3: model-calibration at water gauge



Für die hydraulischen Berechnungen wurden synthetische Ganglinien verschiedener Jährlichkeit für alle Teileinzugsgebiete generiert. Dafür wurden vom Hydrographischen Dienst Vorarlberg extremwertstatistische Auswertungen der Niederschlagsdaten an den Stationen Dornbirn, Feldkirch, Fußach und Schoppernau herangezogen.

Abb4: Zulaufganglinie Hohenemserach
Fig4: interflow hydrograph

Das Ergebnis des Arbeitspaketes Hydrologie ist ein verifiziertes Flussgebietsmodell mit Hochwasserabflussganglinien für die Jährlichkeiten HQ100, HQ30 und HQ5 mit verschiedenen Niederschlagsdauern in 105 Gewässerknoten. Bei der Hydrologie hat sich gezeigt, wie wichtig eine gute Datengrundlagen (Niederschlagsstationen, Abflusspegel) des Hydrographischen Dienstes ist, um bestmögliche Ergebnisse zu erhalten.

HYDRAULIK

Im Zuge des GBK's wurden im Kompetenzbereich der Bundeswasserbauverwaltung alle größeren Gewässer im Einzugsgebiet mit einer Gewässerstreckelänge von insgesamt ca. 70 km simuliert. Die hydraulischen Berechnungen wurden mit einem zweidimensionalen, hydrodynamisch-numerischen Simulationsmodell durchgeführt. Eine 2d-Berechnung war erforderlich, da mit dessen Hilfe die komplexen Strömungsverhältnisse bei Ausuferungen, Rückströmungen, Einengungen und insbesondere die Retentionswirkung im Vorland instationär erfasst werden können. Neben dem HQ5, HQ30 und HQ100 ist beim GBK auch das HQ300 zur Abschätzung des Restrisikos untersucht worden.

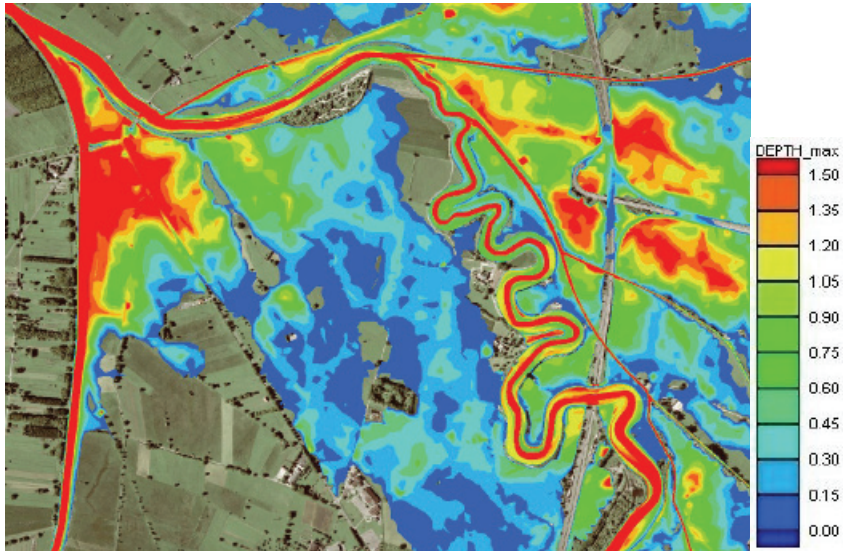


Abb5: Ergebnis 2d-Hydraulik Berechnung (Wassertiefen)

Fig5: results 2d-hydraulic simulation (water depth)

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen haben Gefährdungen von Siedlungsgebieten gezeigt, wo kurz- bis mittelfristig ein Handlungsbedarf ist. Es haben sich auch großflächige Überflutungen im landwirtschaftlichen Gebieten gezeigt, die zukünftig als Retentionsraum gesichert werden müssen.

SCHADENSPOTENTIALE

Auf der Grundlage der hydraulischen Berechnungen wurden die Schadenspotentiale und die schutzwasserbaulichen Defizite ausgewiesen.

Klasse	Beschreibung
gering	Überflutungen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen.
mittel	Überflutung von Einzelobjekten
hoch	Überflutung von zusammenhängenden Siedlungen

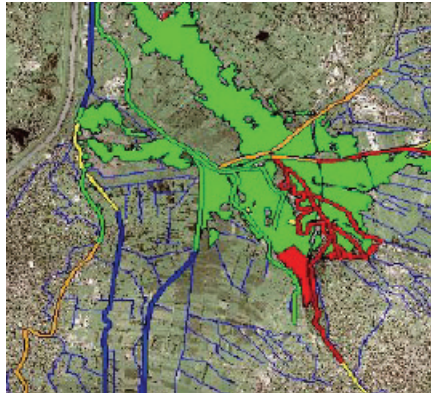


Abb6: Klassifizierung abhängig vom Schadenspotential
Fig6: classification addicted to damage potential

FESTSTOFFHAUSHALT

In diesem Arbeitspaket wurden für die Dornbirnerach und die größeren Seitenzubringer folgende Punkte untersucht:

- Geschiebetrieb für maßgebliche Durchflussquerschnitte
- Trendprognosen für sensible Gewässerabschnitte bezüglich Sohlentwicklung

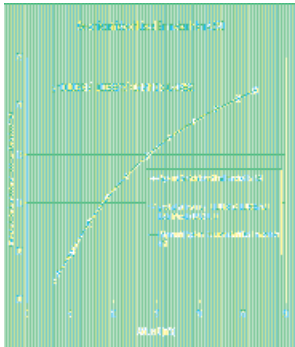


Abb7: Geschiebetriebschlüssel Emmebach km 4,5
Fig7: bed load key

Datengrundlagen waren Linienzahlanalysen.

Ergebnis waren beispielsweise die Durchführung von Monitorings in kritischen Abschnitten und dass es im Unterlauf der Dornbirnerach keine sinnvolle Alternative zu den Räumungen gibt.

LEITBILD / ENTWICKLUNGSZIELE

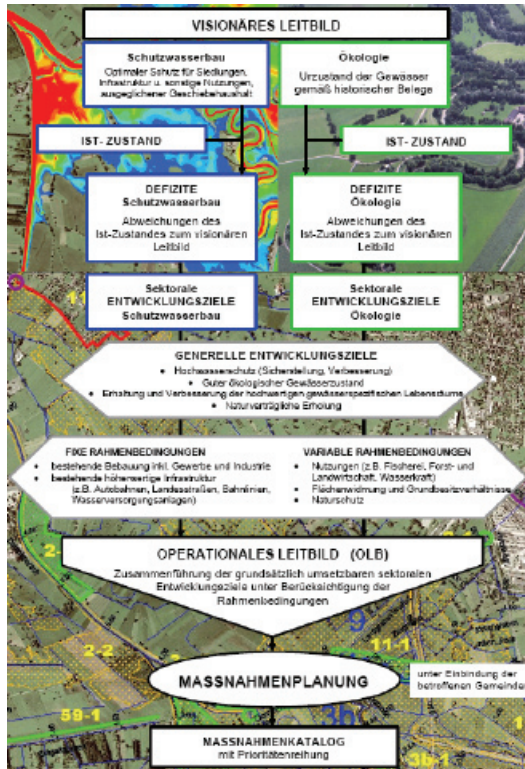
In diesem Arbeitspaket wurden sowohl die schutzwasserbaulichen als auch die ökologischen Defizite ermittelt. In der Darstellung sind die schutzwasserbaulichen abgebildet, klassifiziert je nachdem welches Gebiet von den Überflutungen betroffen ist.

Visionäres Leitbild Ökologie

Für das visionäre Leitbild Ökologie (Idealvorstellung) wurden vier Flusstypen mit unterschiedlicher Charakteristik festgelegt. Es waren die: Gebirgsbach, Bergbach im Schwemmkessel, Rheintalfluss/-bach, Riedgraben.

Visionäres Leitbild Schutzwasserbau

Für das visionäre Leitbild Schutzwasserbau wurden folgende Rahmenbedingungen festgelegt:



- hohe Lebens-, Kultur- und Wirtschaftswerte sind nach Möglichkeit vor jedem Hochwasserereignis zu schützen
- Siedlungsraum und bedeutende Wirtschafts- und Verkehrsanlagen sind bis zu einem HQ100 zu schützen
- Sonstige Anlagen von geringerer Bedeutung sind bis zu einem HQ30 zu schützen.
- Land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen sind nicht gesondert zu schützen.

Operationales Leitbild

Das operationale Leitbild entwickelt sich aus den sektoralen Entwicklungszielen „Schutzwasserbau“ und „Ökologie“ unter Einbeziehung der in den einzelnen Arbeitspaketen erarbeiteten Defizite, wobei die fixen Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Die Arbeitsschritte, die zur Entwicklung eines operationalen Leitbildes nötig sind und letztlich zur Maßnahmenplanung führen, können dem Ablaufschema entnommen werden.

Abb8: Ablaufschema für Erstellung des GBK's

Fig8: flowchart for develop a GBK

MASSNAHMENPLANUNG

Die Maßnahmenplanung wurde unter Einbindung der betroffenen Gemeinden, Behörden, Vertretern des Naturschutzes, der Fischerei durchgeführt, um eine möglichst große Akzeptanz zu erreichen.

Alle hydraulisch relevante Maßnahmen wurden hinsichtlich ihrer Auswirkung auf die Unterlieger untersucht. Es wurde das Hauptaugenmerk nicht nur auf den Schutzwasserbau direkt



Abb9: Maßnahmenblatt aus Maßnahmenkatalog
 Fig9: selective measure from the measure checklist

Kostenschätzung

Auf der Grundlage von Erfahrungswerten wurde eine Kostenschätzung für sämtliche Maßnahmen erstellt. Lediglich die Kosten für den Grunderwerb wurden nicht berücksichtigt.

Prioritätenreihung

Die Prioritätenreihung für die Umsetzung der Maßnahmen erfolgte nach der so genannten Nutzwertanalyse, die für die Durchsetzung und Verfolgung von subjektiven Zielen am besten geeignet ist und daher für die Bewertung wasserwirtschaftlicher Projekte herangezogen wird. Es handelt sich dabei um ein nicht monetäres Bewertungsverfahren zur Entscheidungshilfe bei alternativen Maßnahmen mit mehreren Kriterien unterschiedlicher Dimensionen. Es soll jenes Hochwasserschutzprojekt zuerst umgesetzt werden, welches das größte Schutzziel hat, ökologisch Vorteile bringt und Umweltschäden vermeidet, sowie naturnahe und passive Hochwasserschutzmaßnahmen beinhaltet.

am Gewässer gelegt, sondern auch auf das Flächenmanagement. Das bedeutet, dass bestehende Überflutungen die im landwirtschaftlichen Gebiet liegen auch zukünftig als Retentionsraum erhalten bleiben. Die Daten werden auch der Raumplanung zur Verfügung gestellt.

Maßnahmenarten und Schutzwasserbau

- Typ 1: Gefahrenzonenplanung
- Typ 2: Erhaltung Retentionsraum
- Typ 3: Hochwasserrückhalt
- Typ 4: Objektschutz
- Typ 5: Gerinneausbau

Maßnahmenart Flächenmanagement

Ankauf, Tausch, Entschädigung

Maßnahmenarten Ökologie

- Typ A: Aufweitung und Herstellung eines gewundenen Gewässerverlaufs
- Typ B: Uferstrukturierung und Profilgestaltung
- Typ C: Gestaltung einer naturnahen Mäanderstrecke
- Typ D: Aufweitung und Herstellung eines fuhrierenden Gewässerverlaufs
- Typ E: Gewässerbettgestaltung und Herstellung des fließgewässerkontinuums
- Typ F: Naturnahe Riedgrabengestaltung
- Typ G: Naturnahe Bachgestaltung
- Typ H: Gewässerbettgestaltung

GEOGRAPHISCHES INFORMATIONSSYSTEM

Sämtliche Ergebnisse des Gewässerbetreuungskonzeptes Dornbirnerach wurden in ein GIS-System eingearbeitet. Der große Vorteil der Darstellung im GIS ist die Möglichkeit der spezifischen Analyse und Auswertung mit ausgewählten Themen die auf die Bedürfnisse des jeweiligen Benutzers zugeschnitten sind.

SCHLUSSFOLGERUNG

Das Gewässerbetreuungskonzept bildet nun eine wichtige Grundlage für die Tätigkeiten der Bundeswasserbauverwaltung vertreten durch die Abt Wasserwirtschaft.

Die Erstellung des Gewässerbetreuungskonzeptes war sehr zeitintensiv, vor allem die terrestrischen Vermessungen, die Eichung des Niederschlag-Abfluss-Modells und die Generierung des Geländemodells für die hydraulischen Berechnungen. Der ursprünglich straffe Zeitplan für die Ausarbeitung musste aus diesem Grund um ca. ein Jahr nach hinten verschoben werden. Die Planungen für das GBK haben Ende 2001 begonnen und wurden schließlich Ende 2004 abgeschlossen.

VERBESSERUNG DES RISIKOBEWUSSTSEINS

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen mit der Ausweisung der Überflutungsflächen bei unterschiedlichen Jährlichkeiten haben bei den in die Ausarbeitung eingebundenen Gemeindevertretern die Gefahren die von den Gewässern ausgehen können wieder stärker ins Bewusstsein gerufen. Der Wille zur Umsetzung von entsprechenden Hochwasserschutzmaßnahmen wurde gesteigert.

Die Ergebnisse sind aber auch eine wichtige Grundlagen für die Verbesserung des Risikobewusstseins in der Bevölkerung. Bei Präsentationen sind vor allem die als kleiner Film aufbereiteten Hochwasserszenarien, in denen in Zeitschritten erkennbar ist, wie sich die Überflutungen ausbreiten, sehr imposant und anschaulich.

WEITERFÜHRENDE AKTIVITÄTEN

Detailprojekt für den Hochwasserschutz

Mit der Umsetzung der ersten Projekte entsprechend der Prioritätenreihung wurde bereits begonnen.

Gefahrenzonenplanung

Aus den Ergebnissen der hydraulischen Berechnungen werden in den kommenden fünf Jahren die Gefahrenzonenpläne für die Gemeinden entwickelt. Mit der Erstellung von 3 Gefahrenzonenplänen wurde bereits im letzten Jahr begonnen.

Gewässerbetreuungskonzepte

Wegen der positiven Erfahrungen werden im Jahr 2008 das Gewässerbetreuungskonzept Ill begonnen und Bregenzerach ebenfalls starten. Wenn diese abgeschlossen sind, liegen für Vorarlberg, für alle größeren Gewässer wichtige wasserwirtschaftliche Grundlagen vor.

Eigenvorsorge



Vom Amt der Vorarlberger Landesregierung Abt. Wasserwirtschaft wurde eine Broschüre „Hochwasserschutz und Eigenvorsorge“ erstellt. Dieses soll für die Bevölkerung wichtige Hinweise bezüglich Eigenvorsorgen in Verbindung mit dem bestehenden Restrisiko an Gewässern verbessern.

Abb10: Informationsbroschüre

Fig10: information brochure

LITERATUR

BMLFUW (2006): “RIWA-T, Technische Richtlinien für die Bundeswasserbauverwaltung“, Wien 2006 (In print).

Amt der Vorarlberger Landesregierung (2006): „Hochwasserschutz und Eigenvorsorge“, Abt. Wasserwirtschaft 2006

ENTWICKLUNGSKONZEPT ALPENRHEIN

DEVELOPMENT CONCEPT RIVER ALPINE RHINE

Benno Zarn¹

ZUSAMMENFASSUNG

Mit den in den letzten 150 Jahren ausgeführten Korrekturen konnte die Abflusskapazität im Alpenrhein auf den gewünschten Ausbaustandard erhöht werden. Der Geschiebehaushalt und die Morphologie des Alpenrheins wurden mit den Korrekturen aber erheblich verändert. Trotzdem ist der Geschiebehaushalt nicht im Gleichgewicht. Die Massnahmen führten zu einer deutlichen Abnahme der Strukturvielfalt und der Lebensräume, was sich nachteilig auf die Ökologie auswirkt. Damit verbunden ist auch ein Rückgang der Attraktivität als Naherholungsgebiet. Wegen der Wechselwirkung mit dem Grundwasser ist das ganze Rheintal betroffen. Auch die Wasserkraftnutzung im Einzugsgebiet des Alpenrheins wirkt sich wegen des Schwall negativ auf die Gewässerökologie aus. Im Entwicklungskonzept Alpenrhein werden Massnahmen zur Reduktion der Defizite vorgeschlagen. Im Zentrum steht mehr Raum für den Alpenrhein. So sollen Flussaufweitungen oberhalb von Buchs gegen die fortschreitende Eintiefung wirken und oberhalb des Bodensees die Abflusskapazität erhöhen, wo das Schadenpotenzial besonders hoch ist. Die Flussaufweitungen beeinflussen das Grundwasser positiv, erhöhen die morphologische und ökologische Vielfalt und schaffen wertvolle Erholungsräume im Rheintal. Weiter werden ein Gewässerraum und ein Konzept für die Bewältigung von Hochwasserereignissen, welche grösser als der Ausbaustandard sind, vorgeschlagen.

Keywords: Alpenrhein, Entwicklungskonzept, Hochwasserschutz, Geschiebehaushalt, Grundwasser, Gewässerökologie

ABSTRACT

The discharge capacity of the Alpine Rhine River could have increased on the desired standard due to the systematic river training of the past 150 years. However, this caused a considerable change in the bed load sediment budget and the morphology. In spite of that, the bed load sediment budget is not in equilibrium. The flood protection measures led to a severe reduction of natural sound habitats, which affects adversely the ecology. With it dropped the attractiveness of the Alpine Rhine as a recreation area. Because of the interaction with the

¹ Hunziker, Zarn & Partner AG, Via Flucs 10, CH-7013 Domat/Ems, Schweiz (Tel.: +41-81-630-3618; Fax: +41-81-630-3619; email: bzarn@hzp.ch)

ground water table the whole Rhine Valley is affected. The usage of the hydro power in the catchment of the Alpine Rhine River affects the river ecology negatively due to the daily discharge surges. In the Development Concept Alpine Rhine several measures are proposed to reduce the deficits. Overall, more space is needed for the Alpine Rhine. The river bed enlargements proposed upstream of Buchs function against the continuous erosion and the ones proposed upstream of the Lake of Constance increase the discharge capacity, where the damage potential is extra high. The river bed enlargements affect the ground water favourably, increase the morphological and ecological diversity and create valuable recreation areas. In addition a river space (to avoid settlement and infrastructure directly behind the river bank) and a concept to cope with flood events larger than the design discharge are proposed.

Keywords: River Alpine Rhine, development concept, flood protection, bed load sediment budget, groundwater, river ecology

EINLEITUNG

In der Vergangenheit standen beim Alpenrhein Sicherheitsinteressen im Vordergrund. Die Massnahmen zielten darauf ab, die Hochwasser sicher abzuleiten. Dies war die Voraussetzung, um das Rheintal besiedeln und bewirtschaften zu können. Mit der Entwicklung stieg der Bedarf an Ressourcen. Der Alpenrhein lieferte Kies, elektrische Energie und Trinkwasser. Die Auswirkungen auf den Feststoffhaushalt oder die Ökologie wurden erst nach langen Zeiträumen ersichtlich. Der Verlust von natürlichen Lebensräumen ist für Pflanzen und Tiere, aber auch für den Menschen mit seinem Bedürfnis nach Erholung und Freizeitgestaltung von Bedeutung.

Der Alpenrhein muss heute und in Zukunft verschiedene Aufgaben und Funktionen erfüllen. Weil dieser Gebirgsfluss weder räumlich isoliert noch thematisch sektoriell betrachtet werden kann, haben sich die Kantone Graubünden, St. Gallen sowie das Fürstentum Liechtenstein und das Land Vorarlberg gemeinsam mit Österreich und der Schweiz entschlossen, ein Entwicklungskonzept für den Alpenrhein von Reichenau bis zum Bodensee zu erarbeiten. Das Schwergewicht der Untersuchung wurde auf den Alpenrhein als Gewässer und das Thema Leben und Arbeiten mit engem Bezug zum Alpenrhein gelegt. Die Hauptthemen der Untersuchung waren Hochwasserschutz, Ökologie, Grundwasser sowie Leben und Arbeiten. An der Erarbeitung des Entwicklungskonzepts waren Fachpersonen aus verschiedenen Disziplinen beteiligt. Es basiert auf den Resultaten von zahlreichen Einzelstudien verschiedener Fachrichtungen. Die wichtigen Grundlagen sind im Literaturverzeichnis aufgeführt. Im ersten Teil des Beitrages wird der Alpenrhein beschrieben und im zweiten Teil werden die wichtigsten Vorschläge des Entwicklungskonzepts zusammengefasst.

DER ALPENRHEIN HEUTE

Einzugsgebiet

Bei Reichenau vereinigen sich die beiden etwa gleich grossen Flüsse Vorder- und Hinterrhein und bilden den Alpenrhein (Abb. 1 und Abb. 2). Er mündet nach rund 90 km in den Bodensee und entwässert ein Einzugsgebiet von 6123 km², welches in der Schweiz (Kantone Graubünden, St. Gallen und Tessin), in Österreich (Land Vorarlberg), im Fürstentum Liechtenstein und in Italien liegt. Der Gletscheranteil beträgt heute weniger als 1.4% und die mittlere

Einzugsgebietshöhe liegt bei 1800 m ü.M. Die aus Sicht Morphologie und Feststofftransport wichtigsten Zuflüsse sind - ausser dem Vorder- und dem Hinterrhein - die Plessur, die Landquart und die Ill. Neben diesen Gebirgsflüssen münden verschiedene Wildbäche wie die Maschäner Rüfi, die Tamina oder die Frutz in den Alpenrhein.

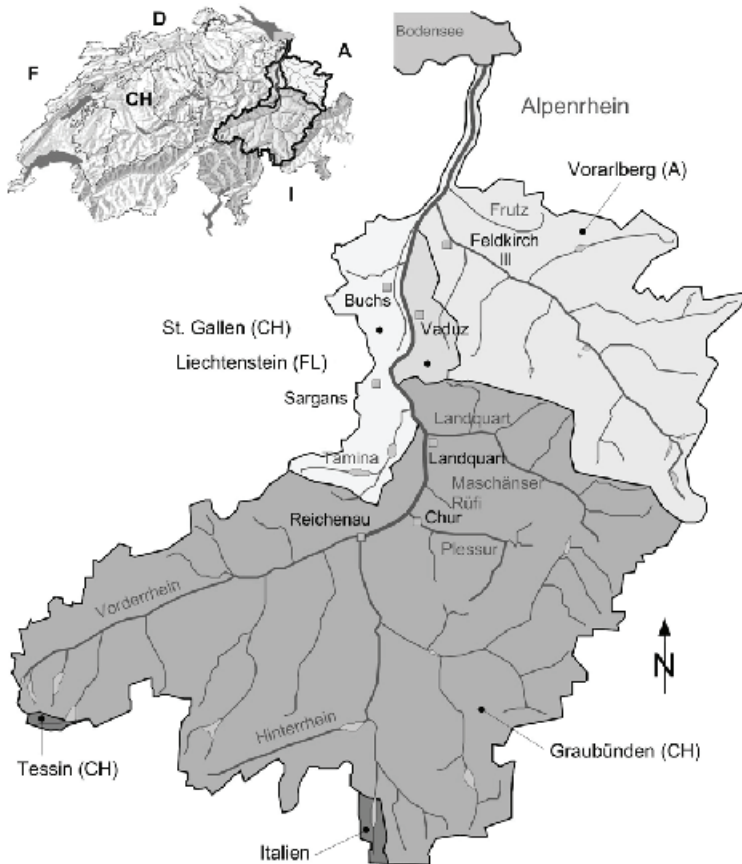


Abb. 1: Einzugsgebiet des Alpenrheins und seiner Zuflüsse.
Fig. 1: Catchment area of the River Alpine Rhine and its tributaries.

Abflussregime

Das Abflussgeschehen des Alpenrheins wird durch Schneeschmelze, Hochwasser und die Wasserkraftnutzung geprägt. Die Schneeschmelze führt zu hohen Sommerabflüssen mit einem ausgeprägten Abflussmaxima im Juni (Abb. 3). Die grossen Speicherseen, welche ab 1950 im Einzugsgebiet des Alpenrheins erstellt wurden, verlagern einen Teil der Sommerabflüsse in den Winter. Der natürliche Abfluss wird durch tägliche Abflussschwankungen überlagert, die mit der bedarfsgerechten Energieproduktion zusammenhängt. Bei der Mündung in den Bodensee liegt der mittlere Jahresabfluss bei $230 \text{ m}^3/\text{s}$. Das 100-jährliche Hochwasser beträgt in diesem Alpenrheinabschnitt $3'100 \pm 200 \text{ m}^3/\text{s}$.

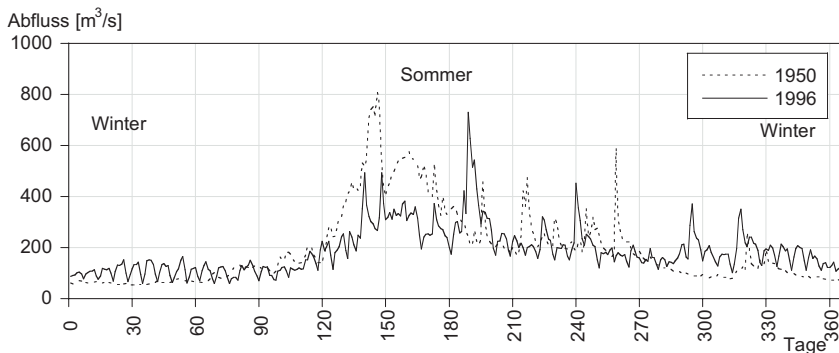


Abb. 3: Abflussganglinie bei Diepoldsau vor (1950) und nach Kraftwerksbau (1996).

Fig. 3: Hydrograph at Diepoldsau before (1950) and after hydro power construction (1996).

Verbauungsgeschichte

Die Morphologie des Alpenrheins ist sehr stark von den umfassenden Korrekturen geprägt, mit welchen ab Mitte des 19. Jahrhunderts begonnen wurde (Bergmeister und Kalt, 1992). Ziel der Verbauungsmassnahmen war ein stabiles Flussbett mit einer ausreichenden Abflusskapazität. Dazu wurde das Flussbett eingeengt und mit hohen Dämmen versehen. Zudem wurde der Alpenrhein mit der Verlegung der Mündung bei Fussach (Fussacher Durchstich,

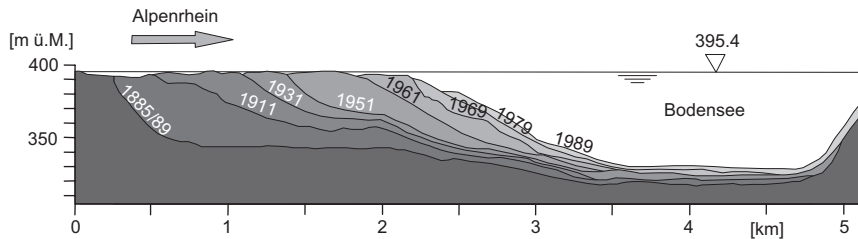


Abb. 4: Längensprofile des Alpenrheindeltas im Bodensee seit 1885 (aus Lambert 1989).

Fig. 4: Longitudinal section of the delta of the Alpine Rhine River in the Lake of Constance since 1885 (from Lambert 1989).

1895 – 1900) und der Abtrennung des Mänders bei Diepoldsau (Diepoldsauer Durchstich, 1908 – 1923) um fast 10 km verkürzt. Im oberen Teil des Alpenrheins wurden in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vier Blockrampen zur Begrenzung der Sohleintiefung gebaut. Die Ablagerung von jährlich rund 3 Mio. m³ Schwebstoffen im Bodensee führt zu einem raschen Deltawachstum (Abb. 4). Mit der sich noch im Bau befindenden Rheinvorstreckung (Verlängerung des Flusslaufs in den Bodensee, Abb. 2 oben links) werden die Schwebstoffe in tiefe Seebereiche geleitet. Damit werden die Verlandung respektive die Abtrennung des östlichsten Teils des Bodensees und Anlandungen im Alpenrhein und damit eine Abnahme der Abflusskapazität hinaus gezögert.

Morphologie

Die Geometrie des Alpenrheins ist unterschiedlich. Von Reichenau (km 0) bis fast zur Illmündung (km 65) fließt er mit Ausnahme der Mastriiser Rheinauen (km 20 – 23) in einem Trapezprofil mit Bettbreiten zwischen 60 und 100 m (siehe auch Abb. 2). Auf der folgenden Strecke bis zum Bodensee besteht der Abflussquerschnitt aus einem 40 bis 70 m breiten Mittelgerinne mit überströmbareren Mittelwuhren und beidseitigen Vorländern. Wegen der Hochwasserschutzdämme schwankt zwischen 280 und 400 m. In Abhängigkeit dieser unterschiedlichen Breiten ist das Flussbett verschieden ausgebildet. Oberhalb der Landquartmündung und unterhalb der Illmündung ist es mehrheitlich eben. Zwischen diesen beiden Mündungen dominieren alternierende Bänke. Einzig in den Mastriiser Rheinauen (km 20 - 23) hat der Alpenrhein dank einer Bettbreite von 200 bis 300 m noch seinen ursprünglichen Charakter und kann sich ein Teilgerinne verzweigen. Das Gefälle nimmt von Reichenau bis zum Bodensee von 0.35% auf 0.1% ab.

Veränderung der Sohlenlage Seit 1940 und Entwicklung

Wegen den Korrekturen und Kiesentnahmen tiefte sich das Flussbett im 20. Jahrhundert

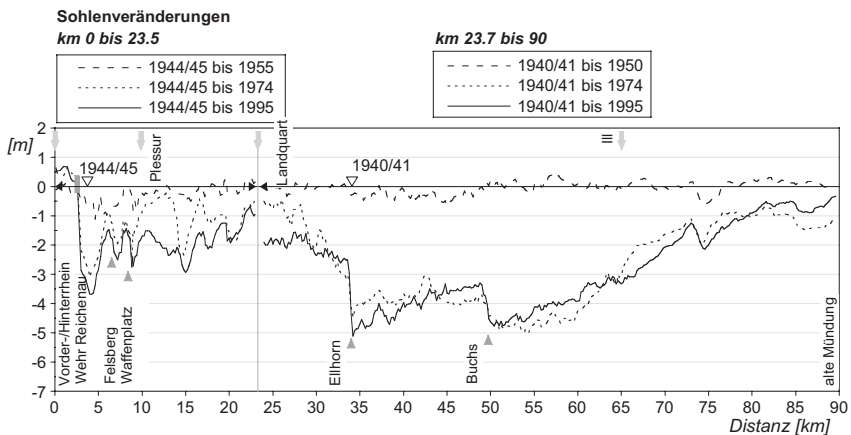


Abb. 5: Sohlenveränderungen im Alpenrhein zwischen 1941 und 1995.

Fig. 5: Change of river bed in the Alpine Rhine River between 1941 and 1995.

mehrheitlich ein, aber nicht gleichmässig. Zwischen 1940/41 und 1950 (Differenz Nulllinie / Strich-Linie in Abb. 5) und zwischen 1974 und 1995 (Differenz Punkt-Linie / ausgezogene Linie) waren die Sohlenveränderungen deutlich kleiner als in der Periode von 1950 bis 1974 (Differenz Strich-Linie / ausgezogene Linie). Die Hauptursache für die massiven Eintiefungen zwischen 1950 und 1974 waren die Kiesentnahmen. Zwar wurde seit 1936 Kies aus dem Alpenrhein gewonnen. Aber wie Abb. 5 und Abb. 6 zeigen, fallen die Hauptentnahmemengen in die Periode mit den grössten Eintiefungsraten zusammen, vor allem in der Strecke zwischen den Mündungen der Landquart und der Ill (km 23.7 bis km 65). Nach dem Einsturz der Brücke Buchs-Schaan im Jahr 1972 wurden in diesem Bereich die Kiesentnahmen stark eingeschränkt.

Zwischen 1936 und 1990 wurden insgesamt 29 Mio. m³ Geschiebe entnommen (Abb. 6), was rund fünf Mal mehr ist als die heutigen Geschiebeeinträge aller Zuflüsse in einer vergleichbaren Zeitspanne. Es erstaunt deshalb nicht, dass sich beispielsweise das Flussbett beim Ellhorn (km 33.9) oder bei Buchs (km 50) zwischen 1950 und 1974 um rund 5 m eintiefte (Abb. 5, Differenz Strich-Linie zu Punkt-Linie). Nach dem Brückeneinsturz von Buchs-Schaan 1972 wurden die Kiesentnahmen zwischen km 23.7 und km 65 eingestellt.

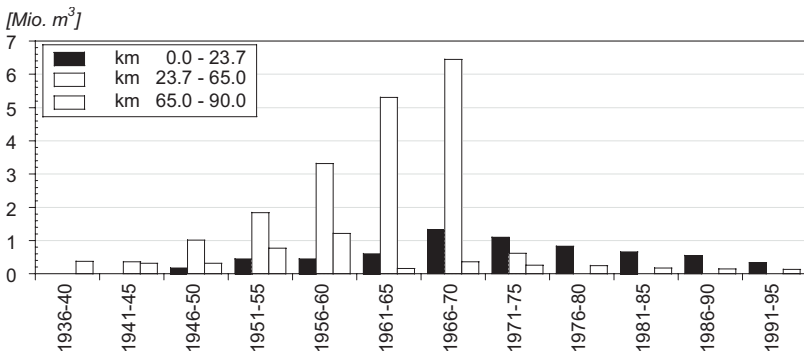


Abb. 6: Geschiebeentnahmen im Alpenrhein in verschiedenen Teilstrecken seit 1936.

Fig. 6: Gravel mining in the Alpine Rhine River in different reaches since 1936.

Grundwasser und Trinkwasser

Wie im Beispiel von Abb. 7 führte die Absenkung des Flussbettes um 5 m zwischen 1953 und 1973 auf längeren Abschnitten des Alpenrheins dazu, dass Rheinwasser nicht mehr in das Grundwasser infiltrierte, sondern Grundwasser in den Alpenrhein fliesst. Mit der Einstellung der Kiesentnahmen nach 1972 führten Anlandungen von rund 1 m bis 1998 in Rheinnähe zu etwas höheren Grundwasserspiegeln. Das Grundwasser ist die wichtigste Ressource für die Trinkwasserversorgung. Aus ihm wird mehr als die Hälfte des Trinkwassers für die 450.000 Bewohner des Rheintales gewonnen. Qualität und Ergiebigkeit sind wegen der Sohleintiefung in den letzten Jahrzehnten geringer geworden. Das Absinken des Grundwasserspiegels hat wertvolle Lebensräume in grundwassergespeisten Binnengewässer (Giessen) und in Feuchtgebieten beeinträchtigt. Gleichzeitig ist die Vernässung von Landwirtschaftsflächen zurückgegangen, was die Bewirtschaftung begünstigt.

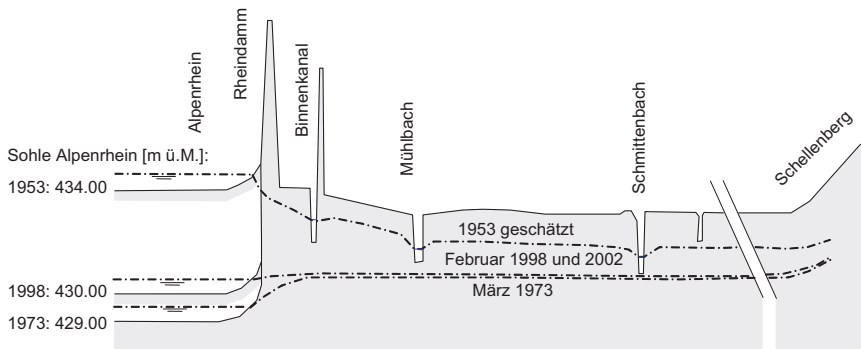


Abb. 7: Einfluss der Rheinsohle auf den Grundwasserspiegel am Beispiel von Ruggell im Fürstentum Liechtenstein (Rheinkilometer 58.4, schematische und überhöhte Darstellung).

Fig. 7: Impact of the bed of the Alpine Rhine River on the groundwater level at the example of Ruggell in the Principality of Liechtenstein (river station 58.4 km, schematic and distorted illustration).

Unterschiedliche Abflusskapazität

Die zum Teil massive Eintiefung des Rheins in den letzten Jahrzehnten bewirkte vor allem zwischen Sargans und der Illmündung eine sehr grosse Abflusskapazität. In diesem Abschnitt können Hochwassermengen abgeführt werden, welche weit über dem üblichen Ausbaustandard (HQ_{100}) liegen. Auch im Kanton Graubünden ist die Abflusskapazität in der Regel höher als das HQ_{100} . In der internationalen Rheinrecke zwischen der Illmündung und dem Bodensee ist die Abflusskapazität für das HQ_{100} gerade noch gewährleistet.

Hochwasserschutz und Entwicklung Rheintal

Der gute Hochwasserschutz war eine wichtige Voraussetzung für die rasante Entwicklung des Rheintals. Vor der systematischen Rheinkorrektur konzentrierten sich die Siedlungen mit wenigen Ausnahmen auf die zahlreichen Wildbachkegel, weil der Alpenrhein regelmässig die Talebene überschwemmte. Dank der umfangreichen Schutzmassnahmen am Alpenrhein blieb das Rheintal seit 1927, als bei Schaan im Fürstentum Liechtenstein (Abb. 2) der Hochwasserschutzdamm zum letzten Mal brach, vor Überschwemmungen des Alpenrheins mehrheitlich verschont. Diese führte dazu, dass sich die Siedlungen zunehmend in der Talebene entwickelt haben (Abb. 8). Die Bevölkerung stieg zwischen 1960 und 2000 von 280.000 auf 451.000 Einwohner. Die Anzahl der Arbeitsplätze nahm zwischen 1970 und 2000 von 150.000 auf 238.000 zu. Mit dieser Entwicklung erhöhte sich auch das Schadenpotenzial vor allem im mittleren und unteren Rheintal. Bei einem Dammbbruch muss heute im unteren Rheintal mit Schadenssummen von bis zu mehreren Milliarden Euro gerechnet werden.

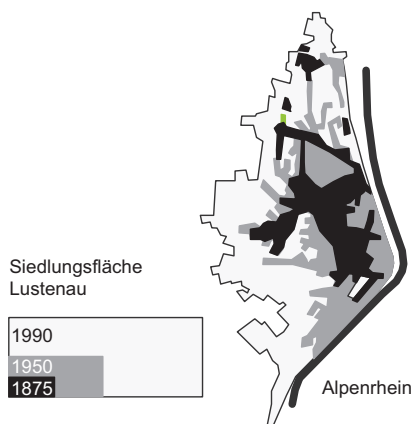


Abb. 8: Entwicklung der Siedlungsfläche von Lustenau (Land Vorarlberg) seit 1875.
Fig. 8: Development of the settlement area of Lustenau (State of Vorarlberg) since 1875.

Ökologie

Heute ist der Alpenrhein fast durchgehend reguliert und durch Hochwasserschutzdämme von seinen Nebengewässern und Auwäldern abgetrennt. Die Zuflüsse sind im Mittel- und Unterlauf zu Binnenkanälen zusammengefasst. Die wenigen verbliebenen Mündungen sind wegen der Sohleintiefung des Alpenrheins mehrheitlich für Fische unpassierbar. Die Zuflüsse sind durch menschliche Eingriffe wesentlich beeinträchtigt. Tägliche Wasserspiegelschwankungen im Meterbereich durch die Wasserkraftnutzung beeinträchtigen zusätzlich die Funktionsfähigkeit der verbliebenen aquatischen Lebensräume und den Erholungswert des Flusses. Der Verlust der Gewässervielfalt führte zum Aussterben vieler Tier- und Pflanzenarten und zu Bestandesreduzierungen bei den verbliebenen Arten.

Entwicklung Geschiebehaushalt

Prognoserechnungen über den Geschiebehaushalt zeigen, dass bei gleichen Voraussetzungen wie zwischen 1974 und 1995 oberhalb von Buchs mehrheitlich Eintiefungen und unterhalb davon Anlandungen zu erwarten sind (Abb. 9). Allerdings nehmen die Sohlenveränderungen pro Jahr und gegenüber den früheren Perioden etwas ab, weil durch die Veränderung des Gefälles infolge von Ablagerungen und Erosionen das Transportvermögen ausgeglichener wird. Weil insgesamt geringere Erosionen prognostiziert werden, kann weniger Geschiebe mobilisiert und transportiert werden als in der Eichperiode von 1974 bis 1996. Zum Beispiel wurden unterhalb der Landquartmündung zwischen 1974 und 1996 lokal Erosionen von insgesamt über 1.5 m beobachtet. Für eine gleich lange Periode in der Zukunft werden „nur“ noch Erosionen von rund 1.2 m prognostiziert. Treten in den nächsten Jahren eher grössere Abflüsse als zwischen 1974 und 1996 auf, ist mit einer Beschleunigung der Prozesse zu rechnen, im Fall von kleineren Abflüssen mit einer Verzögerung. Aus Abb. 9 oben geht hervor, dass der Alpenrhein Geschiebefrachten in der Grössenordnung von 10'000 bis 60'000 m³/Jahr transportiert.

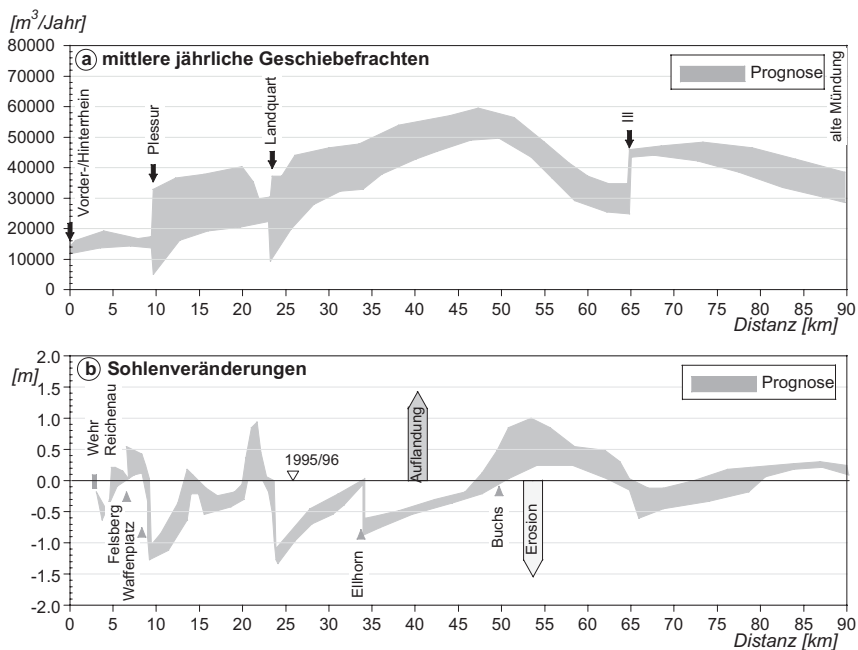


Abb. 9: Prognose der mittleren jährlichen Geschiebefrachten (a) und Sohlenveränderungen (b) in den nächsten 25 Jahren für Bedingungen wie in der Periode von 1974 bis 1996.

Fig. 9: Prediction of the mean annual total bed load (a) and change of the river bed (b) for the next 25 years for the same condition as between 1974 and 1996.

ENTWICKLUNGSKONZEPT

Handlungsbedarf

Damit auch in Zukunft das Rheintal mit seinem hohen Schadenpotenzial vor Hochwasser angemessen geschützt wird und der Alpenrhein seine vielfältigen Funktionen als Lebensader erfüllen kann, braucht dieser Gebirgsfluss mehr Raum für:

- die langfristige Erhöhung der Abflusskapazität zwischen Diepoldsau und Bodensee wegen dem hohen Schadenpotenzial
- die Reduktion des Geschiebetransportvermögens vor allem in den langen Eintiefungsstrecken oberhalb von Buchs
- die Schadensminderung bei extrem seltenen Hochwasserereignissen, welche grösser als die Ausbauwassermenge sind
- die Erhöhung der morphologischen und ökologischen Vielfalt
- die Lösung der Schwallproblematik, welche durch die bedarfsorientierte Energieproduktion der Wasserkraftanlagen im Einzugsgebiet verursacht wird.

- die Wiederherstellung der Passierbarkeit für Fische im Alpenrhein selbst und in die Zuflüsse
- die Erhaltung des Potenzials für die Grundwasser- und Wasserkraftnutzung

Flussaufweitungen

Eine wichtige Massnahme im Entwicklungskonzept sind Flussaufweitungen (Abb. 10).



Oberhalb von Buchs wirken sie gegen die fortschreitende Eintiefung und im Abschnitt oberhalb des Bodensees, wo das Schadenpotenzial besonders hoch ist, kann die Abflusskapazität erhöht werden. Die Flussaufweitungen beeinflussen das Grundwasser positiv, erhöhen die morphologische und ökologische Vielfalt und schaffen wertvolle Erholungsräume für Bewohner und Gäste des Rheintals.

Abb. 10: Die Mastrilser Rheinauen sind eine wichtige Referenzstrecke für die Planung von Flussaufweitungen am Alpenrhein.

Fig. 10: The Mastrilser Rheinauen is an important comparison reach for planning river enlargement at the Alpine Rhine River.

Gewässerraum

Die für die Umsetzung der im Entwicklungskonzept vorgeschlagenen Massnahmen beanspruchen Raum, welche mit Hilfe der Raumplanung freigehalten werden müssen. Dazu wird ein Gewässerraum vorgeschlagen, welcher den Bereich zwischen den Dämmen und rheinnahe Gebiete umfasst. Mit dem Gewässerraum soll der erforderliche Handlungsspielraum für Massnahmen zu Gunsten Hochwasserschutz, Grundwasser, Gewässerökologie, Wasserkraftnutzung und Naherholung erhalten werden. Dieser Handlungsspielraum ist wichtig, weil die Umsetzung des Entwicklungskonzeptes viel Zeit beanspruchen wird und sich die Bedürfnisse oder die Ausgangslage (z.B. Zunahme der Hochwasser wegen der Klimaerwärmung, Delta-wachstum) ändern können.

Notentlastung

Verschiedene vergangene Hochwasserereignisse wie diejenigen vom August 2005 haben gezeigt, dass bei extremen Ereignissen die Hochwasserspitzen die bisher beobachteten Abflusswerte und die darauf basierenden Ausbaupkapazitäten deutlich übertreffen können. Bei einem solchen Überlastfall am Alpenrhein muss heute mit zufälligen Dammbürchen gerechnet werden. Grosse Wassermengen können Gebiete mit hohem und niedrigem Schadenpotenzial überfluten. Das Entwicklungskonzept Alpenrhein schlägt die Erarbeitung eines

Überlastfallkonzepts mit vorgegebenen Notentlastungsstellen vor. Dort wird im Überlastfall nur das nicht beherrschbare Wasser in Gebiete mit niedrigem Schadenpotenzial geleitet. Zusätzliche Leitmassnahmen begrenzen das Überflutungsgebiet.

LITERATUR

- ARGE Trübung Alpenrhein (2002): Trübung und Schwall im Alpenrhein, Kurzfassung; im Auftrage der Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein.
- Bergmeister, U.; Kalt, L. (1992) „Der Alpenrhein und seine Regulierung“. (Hrsg.) Internationale Rheinregulierung, BuchsDruck und Verlag, Buchs.
- Büro für Hydrogeologie Dr. P. Angehrn AG, TK Consult AG, Rudhardt+Gasser (2000) „Grundwasserhaushalt Alpenrhein. Grundwassermodellierung für den Abschnitt Landquart - Bodensee“. Im Auftrag der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein.
- Eberstaller, J.; Haidvogel, G.; Jungwirth, M. (1997) „Gewässer-&fishökologisches Konzept Alpenrhein - Grundlagen zur Revitalisierung mit Schwerpunkt Fischökologie“. Herausgeber: Internationale Regierungskommission Alpenrhein, Projektgruppe Gewässer- und Fischökologie, ISBN 3-9500562-1.
- Heierli AG, Tergeso AG, Hunziker, Zarn & Partner AG (2000) „Hydrologie Alpenrhein, Hauptstudie“; im Auftrag der internationalen Regierungskommission Alpenrhein.
- Hochschule für Technik Rapperswil, TK Consult AG, Hunziker, Zarn & Partner AG (2004) „Revitalisierung und Wasserkraftnutzung am Alpenrhein“. Im Auftrage der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein (unveröffentlicht)
- Hunziker, Zarn & Partner AG (2001) „Morphologie und Geschiebehaushalt Alpenrhein, Zusammenfassender Bericht über die Untersuchungen zwischen 1985 und 2000“. Im Auftrag der Projektgruppe Flussbau der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein.
- IG Flussbau Alpenrhein (2003) „Schadenrisiken und Schutzmassnahmen im Alpenrheintal“. Im Auftrag der Projektgruppe Flussbau der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein.
- Internationale Regierungskommission Alpenrhein (IRKA) und Internationale Rheinregulierung (IRR) (2005) „Entwicklungskonzept Alpenrhein“, Kurzbericht
- Lambert, A. (1989): „Das Rheindelta im See; Vermessung“. Photogrammetrie, Kulturtechnik, Nr. 1.
- Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband und Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (2004) „Schwallreduktion und Hochwasserspitzenminderung im Alpenrhein, Mögliche Massnahmen und deren Auswirkungen“. Im Auftrage der Internationalen Regierungskommission Alpenrhein.
- Strittmatter Partner AG, St. Gallen (2002) „Räumliche Entwicklung des Alpenrheintals-Analysen und Thesen“. Im Auftrag der Raumplanungsfachstellen des Fürstentums Liechtenstein, des Kantons St. Gallen, des Kantons Graubünden und des Landes Vorarlberg.
- Zarn, B.; Oplatka, M.; Pellandin, St.; Mikos, M; Hunziker, R.; Jäggi, M. (1995) „Geschiebehaushalt Alpenrhein; Neue Erkenntnisse und Prognosen über die Sohlenveränderungen und den Geschiebetransport“. Mitteilung Nr. 139 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Zürich, 187 Seiten.

Wildbäche
Torrents
Torrents
Torrenti

EMPIRISCHE MODELLE ZUR GESCHIEBEFRACHTABSCHÄTZUNG

KALIBRIERUNG UND EINGRENZUNG UNTERSCHIEDLICHER MODELLE

EMPIRICAL MODELS FOR TOTAL BED LOAD ESTIMATION

CALIBRATION AND RANGE OF APPLICATION OF DIFFERENT MODELS

Warin Bertschi¹, Gabi Hunziker², Hans Kienholz¹

ZUSAMMENFASSUNG

Seit den frühen achtziger Jahren, wurden durch verschiedene Autoren empirische Modelle entwickelt, um die Geschiebefracht in Wildbächen bei Extremereignissen abschätzen zu können. Alle diese Modelle haben die Gemeinsamkeit, dass sie für spezifische Regionen entwickelt und angepasst wurden. Die Modelle können nur sehr schwer auf andere Gebiete übertragen werden, da keine Empfehlungen über die Parametereinstellungen für andere Gebiete gemacht werden. Die durchgeführte Studie hatte zum Ziel, Stärken und Schwächen vorhandener empirischer Geschiebeabschätzmodelle aufzuzeigen und wenn möglich auf schweizerische Verhältnisse anzupassen. Dazu wurden Empfehlungen über den Einsatzbereich und die Parameterwahl gemacht. Es konnte aufgezeigt werden, dass einfache Modelle wie dasjenige von Zeller oder Kronfellner-Kraus gleich gute Ergebnisse liefern wie komplexere Modelle mit mehr als zwei Inputparametern. Die Ergebnisse dieser Studie sollen Praktikern als Orientierungshilfe bei ihrer Feldarbeit dienen. Die Resultate sollten aber immer mit der nötigen Vorsicht und Zurückhaltung interpretiert und verwendet werden. Weiter bietet es für Personen in öffentlichen Ämtern (Fachstellen) eine Möglichkeit Geschiebeabschätzungen und Gutachten zu plausibilisieren.

Keywords: Wildbach, Geschiebeabschätzung, empirische Modelle

ABSTRACT

Since the early eighties, several empirical models for total bed load estimation during extreme events have been developed by different authors. All these models have in common that they were developed and tested on local conditions only. Therefore, they can hardly be transferred to other areas or regions because of lacking knowledge about parameter settings.

This study aims to adapt these empirical bed load estimation models for extreme events to Swiss conditions and to point out their different strengths and weaknesses. Recommendations for the application range as well as for the settings of the models will be made. It can be said,

1 University of Bern, Geographical Institute, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern, Switzerland (phone: +41-(0)31-6318859; fax: +41-(0)31-6318511; e-mail: bertschi@giub.unibe.ch, kienholz@giub.unibe.ch

2 Abteilungsleiterin Naturgefahren, Geo7 AG, Neufeldstrasse 3, CH-3012 Bern, Switzerland (phone: +41-(0)31-3004433; fax: +41-(0)31-3027611; e-mail: gabi.hunziker@geo7.ch

that the simple models of Zeller and Kronfellner Kraus provide equally good adjustment results as more complex models (more than two parameters). The results of this study can serve practitioners as orientation guide for their fieldwork, but should be interpreted and used with the necessary care. Furthermore it could be a possibility for public authorities to control estimations or to check what type of mountain torrent it is.

Key words: mountain torrent, bed load estimation, empirical model

AUSGANGSLAGE

Im europäischen Raum werden seit den frühen 80er Jahren verschiedene empirische Modelle für die Abschätzung der Geschiebefracht in Wildbächen eingesetzt. Die Modelle sind alle in unterschiedlichen Regionen entwickelt und spezifisch angepasst worden. Dieser Umstand erschwert die Übertragung der Modelle auf andere Gebiete, da keine oder nur sehr pauschale Angaben über die entsprechenden Parametereinstellungen bekannt sind.

ZIELE

Die hier angewandte Methodik stellt keinen neuen Ansatz zur Bestimmung der Geschiebefracht (bei einem Ereignis gegebener Jährlichkeit im Schwemmkegelbereich zu erwartende Geschiebemenge [m^3]) an sich dar, sondern versucht, bestehende empirische Geschiebeabschätzmodelle ([Zeller, 1985], [Kronfellner-Kraus, 1982], [D'Agostino, 1996]) miteinander zu vergleichen und auf die Gegebenheiten in schweizerische Wildbäche anzupassen. Dabei sollen die Stärken und Schwächen der einzelnen Modelle aufgezeigt werden, die sich aus der Berücksichtigung unterschiedlicher Einzugsgebietsgrößen und Geologie ergeben.

Als Produkt dieser Arbeit liegt eine Empfehlung zur Parameterwahl, der Kalibrierung der Modelle sowie dem Anwendungsbereich der Modelle vor.

EMPIRISCHE MODELLE ZUR ABSCHÄTZUNG DER GESCHIEBEFRACHT

In der Untersuchung wurden folgende Modelle berücksichtigt:

Zeller

Das Modell nach [Zeller, 1985] besitzt neben einem wählbaren Koeffizienten nur einen variablen Parameter und stellt somit das einfachste Schätzverfahren dieser Untersuchung dar. Die ihr zugrunde liegenden Daten entstammen weitgehend den Messungen der Versuchseinrichtung Alptal (CH) (Einzugsgebietsgröße 0.75 km^2), welche von der EAFV³, bzw. heute der WSL⁴ unterhalten wird.

$$V = K * E^{0.78} \quad (1)$$

V	Geschiebefracht [m^3]
K	Koeffizient [] (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)
E	Einzugsgebietsgröße [km^2]

³ Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen.

⁴ Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft

Für den wählbaren Koeffizienten gibt Zeller einen Einstellungsbereich von 17'000 ~ 27'000 vor.

Kronfellner-Kraus

Aufgrund der von [Kronfellner-Kraus, 1982] durchgeführten Analysen von grossen Feststofffrachten im österreichischen Alpenraum konnte ein Zusammenhang zwischen der Einzugsgebietsgrösse (als Mass für mögliche Hochwasserfrachten) und der in den Erosions- und Transportstrecken herrschenden Gefälleverhältnissen hergeleitet werden. Weiter wurde der Koeffizient K, welcher für die „torrentielle“ Wirksamkeit des Wildbaches zu definieren ist, eingefügt. Das Modell (2) wurde prinzipiell mit dem Ziel hergeleitet, mögliche extreme Feststofffrachten in Wildbächen ableiten zu können.

$$V = K * E * Jc \quad (2)$$

V	Feststofffracht [m ³]
K	Koeffizient [] (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)
E	Einzugsgebietsgröße [km ²]
Jc	Neigung des Hauptgerinnes [%]

Zu der Einstellung des Koeffizienten werden mehrere Vorschläge gemacht:

„Niedrige K-Werte (um 500) gelten für grosse, ausgeräumte, gut bewachsene Einzugsgebiete, hohe K-Werte (um 1500) für steile, kleine und mittlere Einzugsgebiete mit ausgedehnten Geschieberden und geringem oder anfälligem Bodenschutz.“ ([Kronfellner-Kraus, 1982])

Weiter wird ein rechnerischer Ansatz empfohlen welcher den K-Wert über die Einzugsgebietsgrösse ableitet ([Kronfellner-Kraus, 1982]):

$$K = 1750/e^{0.018 * E} \quad (3)$$

D'Agostino Nr. 1

Das Modell Nr. 1 nach [D'Agostino, 1996] verfügt neben einem frei wählbaren Koeffizienten über drei Inputparameter, welche zu erheben sind. Konzeptionell ist das Modell von D'Agostino demjenigen von [Kronfellner-Kraus, 1982] nachempfunden. Das Modell wurde aufgrund von 62 Ereignissen, welche im östlichen Trentino in den Jahren 1882 bis 1995 stattgefunden haben, entwickelt und angepasst. Die Grösse dieser Einzugsgebiete liegt zwischen 0.08 – 82.6 km².

$$V = 45 * E^{0.9} * Jc^{1.5} * IG \quad (4)$$

V	Volumen der transportierten Sedimente [m ³]
E	Einzugsgebietsgröße [km ²]
Jc	Neigung des Hauptgerinnes [%]
IG	Geologiefaktor []
45	Koeffizient (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)

Neben der Einzugsgebietsgröße und der durchschnittlichen Neigung des Hauptgerinnes, bezieht D'Agostino einen geologieabhängigen Parameter mit in das Modell ein. In den untersuchten Ereignissen konnten Zusammenhänge zur beitragenden Geologie festgestellt werden, weshalb ein geologieabhängiger Parameter (IG), der diesem Verhalten Rechnung tragen soll, definiert wurde (Tabelle 1).

Tab. 1: Übersicht über die Zuweisung der Geologiefaktoren

Tab. 1: Factors and corresponding geology

Geologiefaktor (IG)	Geologie
5	Moränenbedeckung, Schotter, Rutschungsmassen
4	Metamorphite wie Phyllite, Schiefer
3	klastische Gesteine wie Mergel, Sandsteine
2	Basaltuff, Brekzien, verwitterte Lavagesteine
1	Kalksteine
0	Porphyre, Granite, Diorite

D'Agostino Nr. 2

Das Modell Nr. 2 nach [D'Agostino, 1996] ist dem Modell D'Agostino Nr. 1 sehr ähnlich. Es wird einzig durch den Parameter Prozessfaktor ergänzt. Insgesamt werden drei Prozessarten unterschieden, diese können der Tabelle 2 entnommen werden. Die zugrundeliegenden Daten sind dieselben wie bei Modell Nr. 1.

$$V = 39 * E * Jc^{1.5} * IG * IT^{-0.3} \quad (5)$$

V	Volumen der transportierten Sedimente [m ³]
E	Einzugsgebietsgrösse [km ²]
Jc	Neigung des Hauptgerinnes [%]
IG	Geologiefaktor []
IT	Prozessfaktor []
39	Koeffizient (variabler Koeffizient, welcher zur Modellanpassung verwendet wird)

Tab. 2: Übersicht über die Zuweisung der Prozessfaktoren

Tab. 2: Factors and corresponding processes

Prozessfaktor IT	Prozess
1	debris flow (Murgang)
2	debris flood (murgangähnlicher Geschiebetrieb)
3	bedload (normaler Geschiebetrieb)

DIE UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Für die Analysen wurden total 133 Wildbäche berücksichtigt und analysiert. Die meisten der untersuchten Wildbäche liegen im Berner Oberland und im Emmental (total 120). Weiter befinden sich neun Wildbäche im Kanton Wallis sowie vier im Kanton Tessin.

Die Auswahl der Wildbäche erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Verfügbarkeit von Feldabschätzungen (Geschiebefrachten)
- Geologie
- Größe des Einzugsgebietes

Insgesamt verteilen sich die 133 Untersuchungsobjekte auf die vier Geologiegruppen Kristallin (13), Kalk (41), Molasse (32) und Flysch (47).

DATENAUFBEREITUNG

Vergleichs- und Kalibrierwerte

Die weiter oben beschriebenen Modelle wurden ursprünglich alle zur Abschätzung von extremen Geschiebefrachten entwickelt. Entsprechend liefern sie bei ihrer Anwendung sehr große Geschiebefrachten. Um die Modelle auf schweizerische Wildbäche anpassen zu können, wurde eine Vergleichs- und Kalibrierreihe erstellt, an welcher die Modelle geeicht wurden.

Als Vergleichsgröße wurde die sogenannte 100 jährliche Geschiebemenge verwendet, welche gutachterlich bei Feldbegehungen abgeschätzt wurde (Feldabschätzung).

AUSWERTUNGSVERFAHREN

Gruppenbildung

Zur Verbesserung der Kalibrierungsmöglichkeiten, wurde innerhalb der Geologie-Gruppe „Kalk“ und „Flysch“ eine Unterteilung in „murfähige Wildbäche mit relevantem Rutschungseinfluss“ und „geschiebeführende Wildbäche“ vorgenommen.

In der Gruppe Kristallin konnte diese Unterteilung aufgrund der zu kleinen Stichprobe nicht gemacht werden. In der Gruppe „Molasse“ erwies sich der Einfluss von Rutschungen als zu wenig prozessrelevant.

Anpassungsverfahren

Wie bereits erwähnt, verfügt jedes Modell über einen Koeffizienten, über welchen die Modelle kalibriert werden können. Die Berechnung des Kalibrierwertes ergibt sich aus dem Vergleich der Resultate aus den Modellberechnungen mit den Feldabschätzungen.

Dies geschieht mittels eines iterativen Rechenvorgangs, über welchen der Einstellungskoeffizient des jeweiligen Modells solange verändert wird, bis die aufsummierte Differenz aus Feldabschätzung und Berechnung Null ergibt. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Modellwerte in die Kalibrierwerte eingemittelt werden.

Um die im Kapitel Resultate präsentierten Resultate besser nachvollziehen zu können, wird im Folgenden das Auswertungsverfahren beispielhaft näher erläutert.

Güte der Korrelation zwischen Abschätzung und Berechnung

Nachdem für jede Untersuchungsgruppe ein mittlerer Anpassungskoeffizient berechnet wurde, wird mittels der Korrelationsstärke zwischen Feldabschätzung (Kalibrierwerte) und Berechnung (Modelle mit angepassten Koeffizienten) die Anpassungsqualität überprüft (siehe

Abbildung 1). Je ähnlicher sich Berechnung und Feldabschätzung sind, desto stärker ist der lineare Zusammenhang ausgeprägt und desto besser vermag das Modell die Feldabschätzungen nachzuvollziehen.

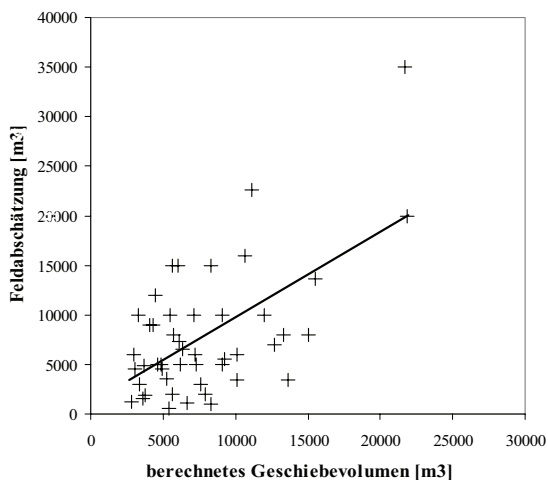


Abb. 1: Beispiel einer visuell gut ausgebildeten Korrelation zwischen Berechnung (Zeller) und Feldabschätzung der Geologiegruppe Flysch

Fig. 1: Example of a strong correlation between calculation (Zeller) and estimation (“Flysch” geology)

Relative Abweichungen zwischen Abschätzung und Berechnung

In Abbildung 2 verdeutlichen die mittleren relativen Differenzen wie groß die Abweichungen zwischen Feldabschätzung (Kalibrierwert) und Berechnung (Modelle mit angepassten Koeffizienten) sein können.

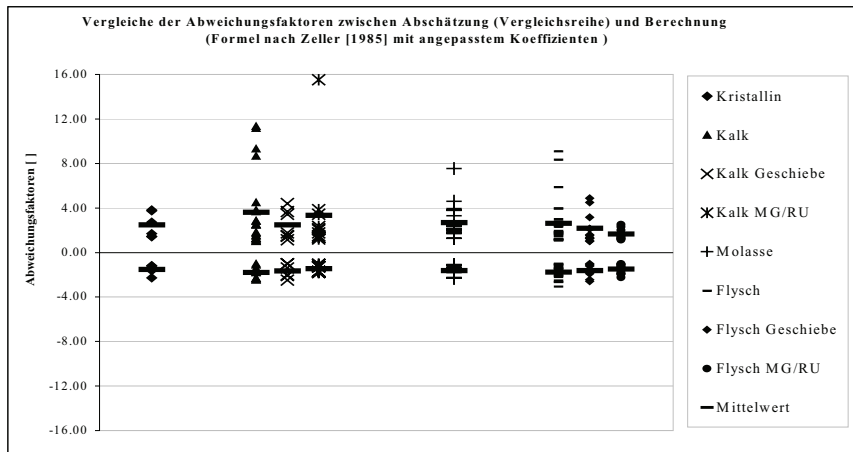


Abb. 2: Übersicht über die positiven bzw. negativen Differenzfaktoren bei Verwendung der Formel nach Zeller

Fig. 2: Overview of the positive and negative difference factors by using the Zeller formula

Die positiven Abweichungsfaktoren zeigen auf, um welchen Faktor die Berechnungswerte über den Feldabschätzungen liegen. Die negativen Faktoren verhalten sich entsprechend gegenläufig. Ein Faktor von +2 bedeutet beispielsweise, dass für einen spezifischen Wildbach die Berechnung doppelt so groß ausgefallen ist wie die Feldabschätzung (siehe Abbildung 2).

RESULTATE

Korrelationskoeffizient

Beim Vergleich der Korrelationskoeffizienten zwischen den im Feld abgeschätzten und berechneten Werten fällt auf, dass die Resultate der Modelle, einen ähnlichen Verlauf aufweisen. So weisen die Modelle in den Gruppen Kristallin, Kalk und Molasse vermehrt signifikant lineare Zusammenhänge auf. Gegenteiliges ist in der Gruppe Kalk Geschiebe oder in den Flysch Gruppen zu erkennen. Weiter kann festgestellt werden, dass die Modelle von Zeller und Kronfellner-Kraus relativ konstant gute Anpassungsergebnisse liefern und die Modelle von D'Agostino weniger häufig signifikante Resultate liefern. Augenfällig ist auch, dass sich die beiden Modelle von D'Agostino fast identisch verhalten (siehe Abbildung 3).

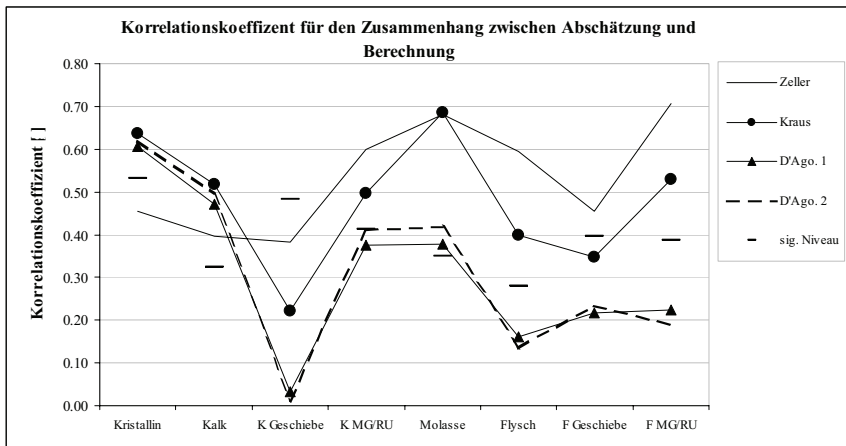


Abb. 3: Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Feldabschätzung und Berechnung pro Geologiegruppe

Fig. 3: Correlation between field estimation and calculation for each geology

Abweichungsfaktoren

Die Abweichungsfaktoren zeigen auf, um welchen Faktor die Berechnungen im Durchschnitt über bzw. unter den Feldabschätzungen zu liegen kommen.

Im Mittel über alle Gruppen gesehen weist das Modell von Zeller die geringsten positiven und negativen Abweichungsfaktoren auf. Es stellt damit im Schnitt die beste Anpassung der Berechnungen an die Feldabschätzungen dar (siehe Abbildung 4).

Die mit dem Modell von Kronfellner-Kraus berechneten relativen, mittleren Abweichungen bilden im Schnitt über alle Gruppen gesehen die zweithöchsten negativen Werte aus. Sie liegen somit gleich hinter der Methode Zeller.

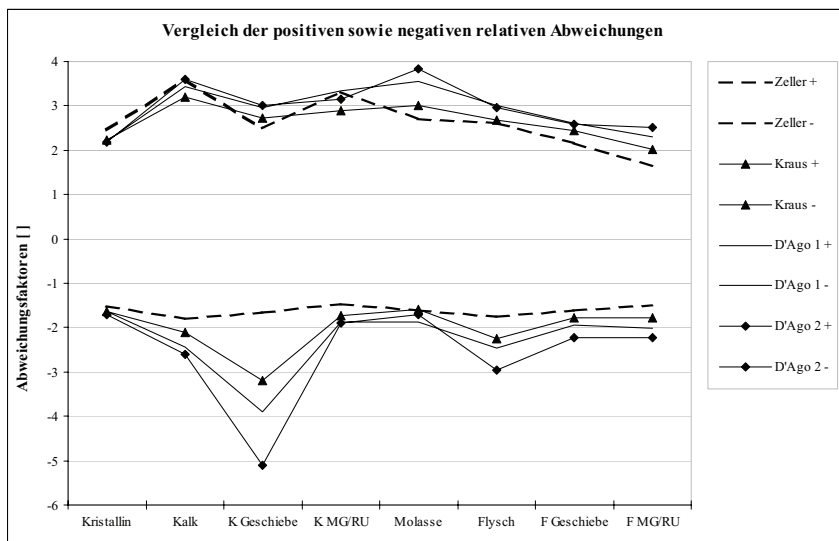


Abb. 4: Vergleich der positiven und negativen relativen mittleren Abweichungen zwischen Feldabschätzung und Berechnung

Fig. 4: Comparison of positive and negativ-relativ-mean differences between field estimation and calculation

In Tabelle 4 sind die berechneten Koeffizienten aufgeführt, welche zur Anpassung der Modelle jeweils verwendet wurden.

Tab. 3: Übersicht über die berechneten Koeffizienten

Tab. 5: Overview of the calculated values

Gruppe	Koeffizient Zeller	Koeffizient Kronfellner-Kraus	Koeffizient D'Agostino I	Koeffizient D'Agostino II
Kristallin	5745	110	42	36
Kalk	3301	87	17	12
Kalk Geschiebe	1304	54	12	12
Kalk MG/RU	4515	103	18	17
Molasse	2174	183	21	26
Flysch	3412	104	6	5
Flysch normal	1841	54	3	3
Flysch MG/RU	4699	149	8	8

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Analyse der Modelle [Zeller, 1985], [Kronfellner-Kraus, 1982] und [D'Agostino, 1996] hat aufgezeigt, dass die zur Abschätzung von seltenen bzw. extremen Geschiebefrachten entwickelten Modelle, für die Berechnung von 100-jährlichen Geschiebefrachten dem schweizerischen Alpen- bzw. Voralpenraum angepasst werden können. Jedes Modell ist so flexibel, dass es auf jeweilige geologiespezifische Geschiebevolumenniveau eingestellt werden kann.

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass im Durchschnitt über alle Gruppen die Modelle von Zeller bzw. Kronfellner-Kraus die besten Anpassungsergebnisse liefern. Diese Modelle verfügen über einen bzw. zwei zu definierende Inputparameter. Betrachtet man aber die Resultate der einzelnen Geologiegruppen, kann festgestellt werden, dass auch Modelle mit mehr als zwei Inputparametern in der Lage sind, gute Ergebnisse zu liefern.

Daraus kann geschlossen werden, dass im Prinzip jedes Modell für einzelne Geologiegruppen in der Lage ist, ein gutes Anpassungsergebnis zu liefern. Der Schluss, dass ein Modell, welches viele Inputparameter berücksichtigt und entsprechend mehr Informationen beinhaltet, auch bessere Ergebnisse liefert, kann nicht bestätigt werden. Vielmehr ist eine geologiespezifische Betrachtung angebracht.

In den Gruppen Kalk und Flysch, in denen eine Unterteilung in Subgruppen aufgrund der Datenlage möglich war, verringern sich die Abweichungsfaktoren teilweise. Das heißt, dass mit prozessspezifischen Kenntnissen eine verbesserte Berechnung möglich ist.

Ob aufgrund der hier untersuchten empirischen Modelle und der vorgeschlagenen Koeffizienteneinstellungen eine verbesserte Geschiebeabschätzung möglich ist, lässt sich nur zum Teil beantworten. Beim Betrachten der Abweichungsfaktoren kann festgestellt werden, dass diese je nach Geologie im Schnitt bei einem Wert von 2 bis 3 oder -1.5 bis -2.5 liegen. Bei Verwendung der hier vorgeschlagenen Einstellungen ist eher mit einer Über- als einer Unterschätzung zu rechnen. Die errechneten mittleren Abweichungsfaktoren machen deutlich, dass mit z.T. großen Abweichungen zwischen Abschätzung und Berechnung zu rechnen ist, was ein vorsichtiges Verwenden dieser Modelle voraussetzt.

FAZIT

Die sich in einem Wildbach abspielenden Prozesse lassen sich nur stark vereinfacht in einem Modell abbilden und nicht alle beeinflussenden Faktoren können erfasst und berücksichtigt werden.

Die Geschiebevolumen-Berechnung mit empirischen Modellen macht deutlich, dass trotz den vorhandenen Anpassungsmöglichkeiten der Modelle grosse Abweichungen zu den im Feld abgeschätzten Geschiebevolumen festgestellt werden können.

Trotzdem können die Ergebnisse dieser Modellberechnungen bei der Beurteilung eines Wildbaches als Orientierungshilfe dienen, müssen aber mit der nötigen Sorgfalt und der Berücksichtigung weiterer Informationen interpretiert und verwendet werden.

LITERATUR

D'Agostino, V., Cerato, M., Coali, R., (1996): „Il trasporto solido di eventi estremi nei torrenti del trentino orientale“. Interpraevent 1996, Tagungspublikation, Band 1, 377 – 386.

Kronfellner-Kraus, G., (1982): „Über den Geschiebe- und Feststofftransport in Wildbächen“. Österreichische Wasserwirtschaft, 34, ½, 12-21.

Zeller, J., (1985): „Feststoffmessung in kleinen Gebirgseinzugsgebieten“, wasser, energie, luft, Vol. 77, Nr. 7/8, 246-251.

UNERWARTETE PROZESSE IN EINEM GESCHIEBESAMMLER

DER GESCHIEBESAMMLER “STIGLISBRÜCKE” AM SCHÄCHEN WÄHREND DES HOCHWASSERS VOM AUGUST 2005

UNEXPECTED PROCESSES IN A SEDIMENT RETENTION BASIN

THE “STIGLISBRÜCKE” BASIN ON THE SCHÄCHEN TORRENT DURING THE FLOOD OF AUGUST 2005

Gian Reto Bezzola¹

ZUSAMMENFASSUNG

Das Hochwasser vom August 2005 traf weite Teile der Schweiz. Die am stärksten betroffenen Regionen waren dabei das Berner Oberland sowie die Zentralschweiz. Ausserordentlich hohe Schäden verursachte der Schächen, ein Seitenzufluss der Reuss im Kanton Uri. Am Hals des beeindruckenden Schwemmkegels befindet sich der Geschiebesammler 'Stiglisbrücke'. Das durch eine Schlitzsperre abgeschlossene Rückhaltebecken soll eine Überlastung des Unterlaufes mit grobem Schächengeschiebe verhindern. Das Rückhaltevermögen des Beckens beträgt rund 100'000 m³. Das Volumen der im Sammler nach dem Hochwasser vom August 2005 vorhandenen Geschiebeablagerungen betrug jedoch lediglich 6'000 m³. Die Analyse des Ereignisses zeigte, dass die Erweiterung des Auslassquerschnitts durch Kolkung zu einer zyklischen Entleerung des Beckens geführt hatte. Dadurch konnte ein grosser Teil der vom Schächen mitgeführten Feststoffe den Sammler während des Hochwassers passieren.

Keywords: Geschieberückhaltebecken, Schlitzsperre, Rückhaltevermögen

ABSTRACT

In august 2005, severe floods hit large parts of Switzerland. The most affected areas were the Bernese Oberland and the central part of Switzerland. Extraordinary damage was caused by the Schächen torrent, a tributary to the Reuss River in the canton of Uri. On the apex of its impressive alluvial fan, a sediment retention basin confined by a slit dam should prevent an overload of the Schächen mouth region by coarse Schächen sediments. The capacity of the sediment retention basin is about 100'000 m³. However, the volume of sediments retained in the basin at the end of the august 2005 flood was only about 6'000 m³. The analysis of the event revealed that the widening of the basin outflow section due to scour caused a cyclic flushing of the basin, thus allowing the passage of the sediments during the flood.

Keywords: sediment retention basin, slit dam, trap efficiency

¹ Sektionschef, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, CH-3003 Bern, Schweiz
(Tel.: +41-31-3241659; Fax: +41-31-3247866; email: gianreto.bezzola@bafu.admin.ch)

EINLEITUNG

Das Hochwasser vom August 2005 forderte in der Schweiz 6 Todesopfer und verursachte Sachschäden in der Höhe von insgesamt 3 Mrd. Schweizer Franken. Mit einem Anteil von rund 10 % gehörten der Schächen und seine Zuflüsse zu den Hauptverursachern der Schäden im August 2005. Das schnell ansteigende und lang andauernde Hochwasser führte im Einzugsgebiet des Schächens entlang des Gerinnes zu grossen Geschiebeumlagerungen und ausgeprägten Tiefen- und Ufererosionen. Der Fluss beschädigte die entlang des Schächens von Altdorf nach Glarus führende Klausenstrasse an mehreren Stellen. Zu den grössten, vorwiegend privaten Schäden kam es allerdings im Mündungsbereich des Schächens. Die Reuss vermochte das ihr vom Schächens zugeführte Geschiebe nicht weiterzutransportieren. Dadurch kam es im Schächens zu rückschreitender Ablagerung und zum Ausbruch. Erschwert wurde die Situation dadurch, dass im Bereich der Mündung mehrere Brücken den Abfluss behinderten. So kam es zu grossflächigen Überschwemmungen im Gebiet des Schattdorfer Industrieareals (Abb. 1).

Das Volumen des im Mündungsbereich abgelagerten Geschiebes betrug rund 200'000 m³ (Püntener, 2006). Davon wurden rund 50'000 m³ im Abschnitt zwischen dem 1982 am Kegelhals erstellten Geschiebesammler 'Stiglisbrücke' und der gepflasterten Bachschale im unteren Teil des Kegels mobilisiert. Rund 150'000 m³ Geschiebe passierten somit den für einen Rückhalt von rund 100'000 m³ ausgelegten Sammler (Abb. 2). Das Volumen der im Sammler nach dem Hochwasser vom August 2005 vorhandenen Geschiebeablagerungen betrug hingegen lediglich rund 6'000 m³ (Püntener, 2006).



Abb. 1: Blick von Süden auf das überschwemmte Industriegebiet von Schattdorf und den von rechts in das Reusstal ragende Schwemmkegel des Schächens (Foto vom 24.08.2005, © Schweizer Luftwaffe).

Fig. 1: View from south on the flooded industrial area of Schattdorf and on the alluvial fan of the Schächen torrent entering the Reuss Valley from the right (Photo taken on the 24.08.2005, © Swiss Air Force).

Das Abschlussbauwerk des Sammlers Stiglisbrücke ist als Dosiersperre konzipiert. Somit ist die Abgabe eines Teils des in den Sammler gelangenden Geschiebes grundsätzlich erwünscht. Es stellt sich jedoch die Frage, weshalb beim Ereignis vom August 2005 die Rückkaltewirkung derart beschränkt war. Im Rahmen der hier beschriebenen Analyse wurde deshalb versucht, aufgrund der vorhandenen Unterlagen und Beobachtungen die Prozesse im Sammler während des Hochwassers vom August 2005 zu erklären und dadurch Grundlagen für eine bauliche Anpassung des Sammlers zu liefern.



Abb. 2: Der Geschiebesammler 'Stiglisbrücke' am Schächen; Blick in Fließrichtung auf das Abschlussbauwerk (Foto vom 23.08.2005, © Tiefbauamt Uri)

Fig. 2: The sediment Retention basin 'Stiglisbrücke' on the Schächen torrent; view in direction of flow on the outlet dam (Photo taken on the 23.08.2005, © Civil Engineering Office, Canton of Uri).

DER SCHÄCHEN - EINZUGSGEBIET UND VERBAUUNGEN

Das Schächental liegt östlich von Altdorf, dem Hauptort des Kantons Uri (Abb. 3). Es bildet eine vom Klausenpass bis ins Reusstal führende Ost-West gerichtete Erosionsrinne. Der Schächen, der das nach ihm benannte Tal von Ost nach West durchfließt, entwässert ein Einzugsgebiet von knapp 110 km² und mündet rund 5 km flussaufwärts des Vierwaldstättersees in die Reuss. Die Vergletscherung des Einzugsgebiets ist vernachlässigbar klein. Rund ein Fünftel des Gebiets ist bewaldet. Das Schächental wurde durch intensive fluviale und glaziale Prozesse ausgehobelt, wobei tektonische Verfaltungen, Abscherungen und hangparallele Schichten zu Bergstürzen und Sackungen führten. Beidseitig wechseln sich an den Talhängen in der Regel Flyschformationen mit Schutthalden ab und nur stellenweise kommen widerstandsfähigere Gesteine zum Vorschein. Entsprechend bedeutend ist das entlang des Schächens vorhandene Feststoffpotenzial.



Abb. 3: Lage des Einzugsgebiets des Schächens in der Zentralschweiz.

Fig. 3: Map showing the location of the Schächen catchment in the central part of Switzerland.

Bereits im 19. Jhd. wurden längs des Schächens Verbauungen realisiert und im unteren Teil des Schwemmkegels, wo bevorzugt Ablagerungen stattfinden, das im Kanton Uri damals übliche "jährliche Ablesen der größten Geschiebe vorgenommen" (OBI, 1914). Aufgrund eines Projekts von 1888-1889 erfolgte die Erstellung einiger Längswerke und Wildbachsperrn, die aber dem ausserordentlichen Hochwasser von 1910 nicht standhielten (Vischer, 2003).

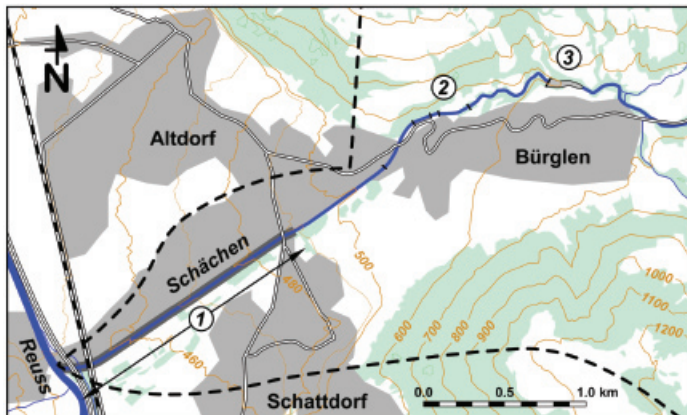


Abb. 4: Karte des Schächen-Unterlaufs; (1) gepflästerte Schale in untersten Teil des Schwemmkegels, (2) Wildbachsperrn im oberen Teil des Kegels, (3) Geschiebesammler 'Stiglisbrücke' am Kegelhals.

Fig. 4: Map showing the lower reach of the Schächen torrent: (1) lined channel in the lower part of the alluvial fan, (2) check dams in the upper part of the fan, (3) sediment retention basin at the fan apex.

Nach dem Ereignis von 1910 wurde der Schächen in seinem Unterlauf in einen 1'650 m langen geradlinigen Kanal verlegt (Abb. 4). Diese heute noch vorhandene gepflästerte Schale weist ein trapezförmiges Profil mit einer Sohlenbreite von 12 m und einer Höhe von 3 m auf. Ihr Längsgefälle beträgt 2.1 bis 2.2 %. Im oberen Teil des Kegels wurde das Schächengerinne mittels seitlicher Ufermauern und vereinzelter Wildbachsperrn befestigt. Auf eine Sohlpflasterung verzichtete man seinerzeit in diesem Abschnitt, da aufgrund des grösseren Längsgefälles von rund 4 bis 5 %, "eine Anhäufung von Geschieben nicht zu befürchten ist" (OBI, 1914).

Nach rund 50 relativ ereignisarmen Jahren ereignete sich im Schächen in der Nacht vom 31. Juli auf den 1. August 1977 ein bedeutendes Hochwasser. Die gepflästerte Schale wurde im untersten Teil mit Geschiebe praktisch vollständig verfüllt. Dies förderte die Verklauung der am Fuss des Kegels den Schächen querenden Bahnbrücke. Der Schächen brach rund 500 m oberhalb der Mündung aus und verwüstete unter anderem den Bahnhof Altdorf sowie die Eidgenössische Munitionsfabrik, eine der Hauptarbeitgeberinnen für grosse Teile der Altdorfer Bevölkerung. Wesentlich geprägt war dieses Ereignis durch eine bedeutende Geschiebemenge. Allein die ausserhalb Gerinnes resultierenden Ablagerungen wurden auf etwa 80'000 bis 120'000 m³ geschätzt (VAW, 1994). Als Folge dieses Ereignisses wurde am Kegelhals in den Jahren 1979 bis 1982 ein Geschieberückhaltebecken realisiert. Dieses weist ein Rückhaltevolumen von rund 100'000 m³ auf. Das Abschlussbauwerk besteht aus einer Schwerkheitsmauer aus Beton mit einem 4.5 m breiten Schlitz in der Mitte, in den horizontale Balken eingesetzt werden können. Die Mauer ist rund 20 m hoch und an der Krone rund 80 m breit. Im Zusammenhang mit dem Projekt wurden hydraulische Modellversuche durchgeführt (Zollinger, 1982; VAW, 1981). Ziel der Versuche war die Untersuchung verschiedener Schlitzvarianten für die Geschieberückhaltesperre sowie der Problematik beim Anfall von Treibholz. Die übergeordneten Zielsetzungen waren einerseits eine optimale Geschiebeablagerung bei Extremereignissen und andererseits eine möglichst effektive selbsttätige Entleerung des Beckens durch kleinere Hoch- und Mittelwasser des Schächens.

DAS HOCHWASSER VOM 22./23. AUGUST 2005

Bei der rund 2 km flussabwärts des Geschiebesammlers gelegenen Messstelle Schächen - Bürglen, Galgenwäldli der Landeshydrologie wurden während des Hochwassers 2005 starke Abflussschwankungen registriert (Abb. 5). Zwischen dem 22.08.05, 19:00 Uhr und dem 23.08.05, 06:00 Uhr schwankte der Abfluss zwischen 100 und 150 m³/s. Die Schwankungen sind erstaunlich regelmässig und die Zeit zwischen zwei Spitzen beträgt in der Regel ungefähr eine halbe Stunde. Für den Zeitraum der grössten Abflüsse beträgt der zeitlich gemittelte Wert des Abflusses 120 bis 125 m³/s.

Zunächst wurde vermutet, dass die Schwankungen auf hydraulische Phänomene im Bereich der Messstelle oder auf messtechnische Probleme zurückzuführen sind. Die Tatsache, dass gemäss dem Ereignisjournal durch Beobachter vor Ort in kurzer zeitlicher Folge gemeldet wurde, der Sammler sei "voll", "randvoll", bzw. "wieder leer" (Püntener, 2006) sowie der Umstand, dass erhebliche Mengen an Geschiebe den Sammler während des Ereignisses passiert haben müssen, liessen aber bald den Schluss zu, dass die Abflussschwankungen real und eine Folge der Vorgänge im Sammler sein müssen. Dies umso mehr, als ähnliche Schwankungen – wenn auch entsprechend gedämpft – in den Aufzeichnungen bei der Messstelle Reuss - Seedorf erkennbar sind.

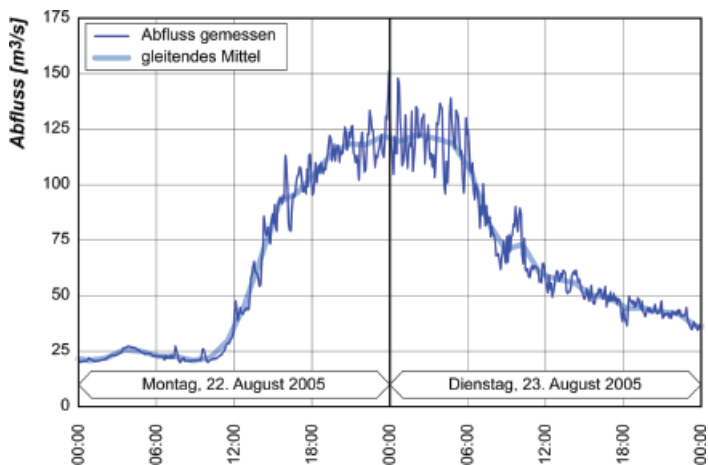


Abb. 5: Ganglinie des Schächenabflusses am 22. und 23. August 2005 (Messstelle Schächen - Bürglen, Datenquelle: Landeshydrologie).

Fig. 5: Hydrograph of the Schächen discharge on August 22nd and 23rd, 2005 (Station Schächen - Bürglen, data source: Swiss National Hydrological Survey).

HYDRAULIK DES ABSCHLUSSBAUWERKS

Das Abschlussbauwerk des Sammlers ist als Balkensperre mit einem 4.5 m breiten Schlitz ausgelegt (Abb. 6). Gegenüber dem ursprünglichen Projekt, welches einen lichten Abstand der als Balken eingesetzten Stahlrohre von 105 cm vorsah, wurde der Balkenabstand reduziert und betrug vor dem Hochwasser 2005 rund 12 cm. Der Durchmesser der Stahlrohre beträgt 40 cm. Die lichte Höhe zwischen der Unterkante des untersten Balkens und der Oberkante der dem Abschlussbauwerk vorgelagerten Einlaufschwelle beträgt – vertikal gemessen – 2.25 m.

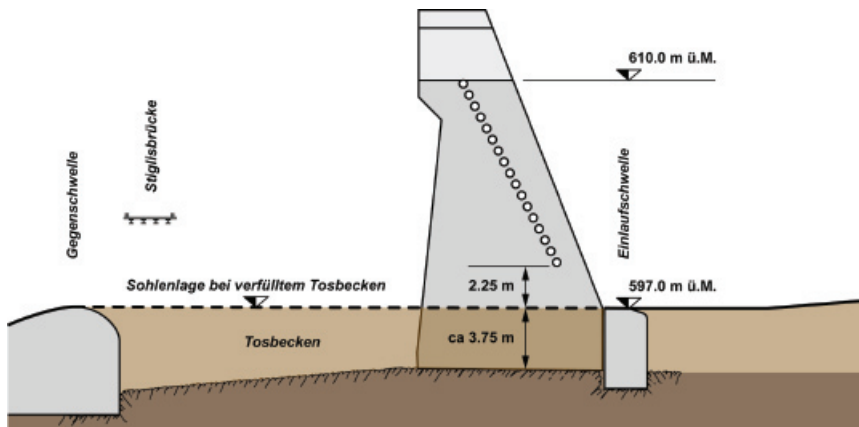


Abb. 6: Längsschnitt durch das Abschlussbauwerk des Geschiebesammlers 'Stiglisbrücke'.

Fig. 6: Longitudinal section across the outlet dam of the 'Stiglisbrücke' sediment retention basin.

An die Einlaufschwelle schliesst ein Tosbecken an, welches im Unterwasser durch eine unmittelbar flussabwärts der Stiglisbrücke angeordnete Endschwelle begrenzt ist. Die Sohle dieses Tosbeckens wird durch den anstehenden Fels gebildet, welcher im Bereich der Sperre rund 3.75 m unter der Krone der Einlaufschwelle ansteht. Im Normalfall (und auch im Anschluss an das Hochwasser 2005) ist das Tosbecken mit Geschiebe gefüllt.

Der Ausfluss aus dem Becken erfolgt für kleinere Abflüsse als Freispiegelabfluss durch die Grundöffnung. Bei grösseren Abflüssen resultiert durch die in den Schlitz eingesetzten Balken ein Aufstau und der Ausfluss durch die Grundöffnung erfolgt unter Druck. Wie die Ergebnisse der damaligen Modellversuche zeigen (Abb. 7), hängt das Ausmass des Aufstaus vom Abstand der in den Schlitz eingesetzten Balken ab. Falls die Zwischenräume zwischen den Balken z.B. mit Treibholz vollständig verlegt sind, wirkt die durch die Balken gebildete geneigte Ebene als undurchlässige Tauchwand.

Freispiegelabfluss durch die Grundöffnung

Ziel des Projekts war es, dass Abflüsse bis zu 40 - 50 m³/s die Sperre ungehindert (d.h. ohne Rückstau) passieren können. Im Rahmen der Modellversuche wurde beobachtet, dass der Wasserspiegel bei einem Abfluss von rund 40 m³/s die Unterkante des untersten Balkens erreichte, welche sich in den Versuchen auf einer Höhe von 597.5 m ü.M. und damit 2.5 m über der Krone der vorgelagerten Einlaufschwelle befand.

Zur Berechnung des Durchflusses bei Freispiegelabfluss wird angenommen, dass sich über der Einlaufschwelle die kritische Tiefe einstellt. Es ist somit

$$Q = \sqrt{g} h^{3/2} b, \quad (1)$$

wobei Q den Abfluss, g die Erdbeschleunigung, h die Fliesstiefe und b die Breite der Öffnung (Schlitzbreite) bezeichnen. Obige Gleichung gilt, solange der Wasserspiegel die Unterkante des untersten Balkens noch nicht erreicht. Die Höhenlage des untersten Balkens wurde bei der Ausführung des Bauwerks gegenüber der Situation bei den Modellversuchen noch leicht angepasst. Seine Unterkante lag auf einer Höhe von 597.25 m ü.M. (und somit 2.25 m über der vorgelagerten Einlaufschwelle). Gleichung (1) gilt also, solange $h \leq 2.25$ m ist.

Druckabfluss durch die Grundöffnung - befestigte Sohle

Bei eingestautem Becken erfolgt der Ausfluss durch den Grundabfluss unter Druck. Infolge der engen Balkenabstände wurden diese während dem Hochwasser 2005 durch Treibgut relativ rasch verlegt, so dass die Ebene des Balkenrostes vereinfachend als undurchlässige Wand betrachtet wird. Bei einer im Bereich des Schlitzes befestigten, bzw. nicht durch Kolkbildung eingetieften Sohlenlage ist die vertikale Abmessung der Grundöffnung unveränderlich und beträgt 2.25 m (Abb. 6). Unter diesen Voraussetzungen und unter Annahme freien Durchflusses berechnet sich der Ausfluss durch die Grundöffnung für den Fall schiessenden Abflusses im Unterwasser auf der Basis der Bernoulli-Gleichung zu

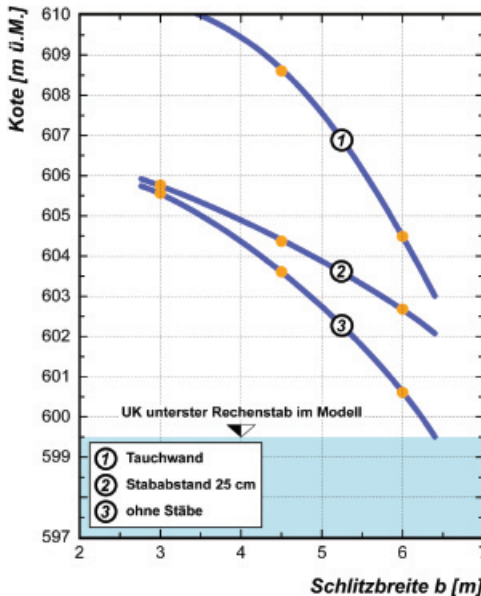
$$Q = \mu a b \sqrt{\frac{2g(H - \mu a)}{1 - \frac{(\mu a)^2}{H^2}}}. \quad (2)$$

Darin bezeichnen: μ den Kontraktionskoeffizienten, a die vertikale Abmessung der Grundöffnung, b die Breite der Öffnung (Schlitzbreite) und H die Wassertiefe im Sammler.

Die praktisch vorkommenden Werte für μ liegen zwischen 0.6 und 0.8. Bei senkrechten scharfkantigen Planschützen ist $\mu = 0.62$ bis 0.63. Bei geneigten Planschützen wird μ grösser. Sind ebene Schützen an deren Unterseite ausgerundet, so nimmt μ mit dem Grad der Ausrundung zu.

Ist H deutlich grösser als a vereinfacht sich Gleichung (2) zu

$$Q = \mu ab \sqrt{2gH}. \quad (3)$$



Im Rahmen der hydraulischen Modellversuche (VAW, 1981) wurde für drei verschiedene Schlitzbreiten ($b = 3.0, 4.5$ und 6.0 m) und eine im Bereich des Schlitzes auf 597 m ü.M. fixierten Sohle bei einem Abfluss von $120 \text{ m}^3/\text{s}$ der Aufstau im Becken gemessen (Abb. 7, Kurve 1). Im Modell betrug die Höhe der Grundöffnung $a = 2.5$ m. Die in den Versuchen gemessenen Einstauhöhen lassen sich relativ gut mit Gleichung (2) reproduzieren, wenn für μ ein Wert von 0.71 eingesetzt wird.

Abb. 7: Wasserspiegellagen 10 m oberstrom des Abschlussbauwerks in Abhängigkeit der Schlitzbreite und für verschiedene Konfigurationen der Balken; aus VAW (1981).

Fig. 7: Water level 10 m upstream of the outlet dam as a function of the slit width and for different beam configurations; from VAW (1981).

Druckabfluss durch die Grundöffnung - unbefestigte Sohle

Wie sich bei entsprechenden Sondierungen nach dem Hochwasser 2005 zeigte, war die Sohle im Bereich des Durchlasses nicht befestigt. Bei entsprechend grossen Abflüssen kann somit das Tosbecken teilweise oder ganz ausgeräumt werden (Abb. 8). Dadurch vergrössert sich die Abmessung a der Grundöffnung.

Für die nachfolgende Berechnung wird angenommen, dass durch Kolkung die Abmessung der Grundöffnung in etwa gleich der Distanz zwischen dem untersten Balken und der Einlaufschwelle ist. Zur Berechnung des Ausflusses mit Gleichung (3) wird somit $a = 3.3$ m gesetzt. Gegenüber dem Zustand mit befestigter Sohle resultiert für einen Abfluss von $120 \text{ m}^3/\text{s}$ ein um rund 4 m geringerer Einstau, was den Beobachtungen bei den Modellversuchen entspricht (VAW, 1981). Abb. 9 zeigt die unter diesen Annahmen berechnete Pegel-Ausfluss-Relation.

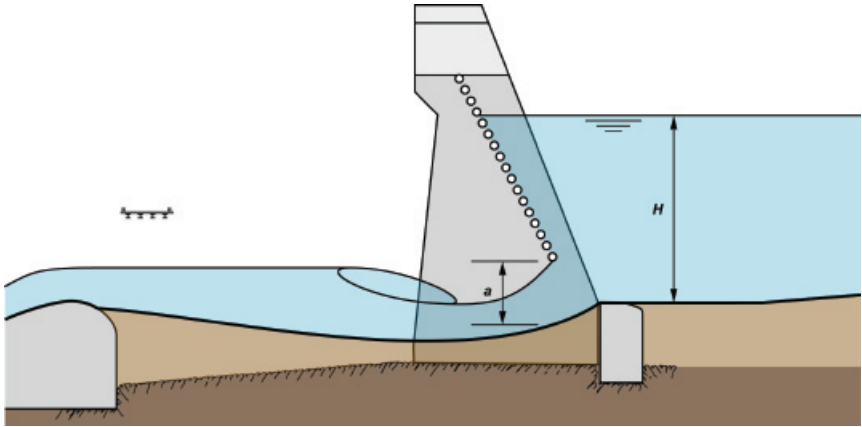


Abb. 8: Erweiterung des Ausflussquerschnitts bei Auskolkung der im Tosbecken vorhandenen Ablagerungen.
Fig. 8: Widening of the outflow section due to partial scouring of the deposits in the stilling basin.

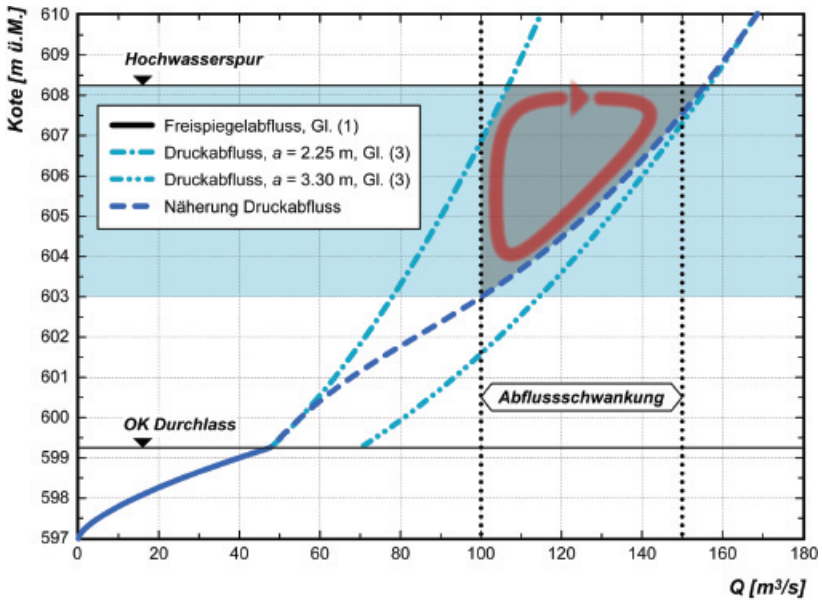


Abb. 9: Pegel-Ausfluss-Relation, berechnet mit Gleichung (1) für Freisiegelabfluss und mit Gleichung (3) für Ausfluss unter Druck. Hervorgehoben ist der Bereich der Wasserspiegelschwankungen im Becken, der einer Variation des Abflusses von 100 bis 150 m³/s entspricht.

Fig. 9: Stage-discharge relation computed with equation (1) for free surface flow and with equation (3) for pressurized flow. The stage range corresponding to a discharge variation from 100 to 150 m³/s is highlighted.

ABFLUSS- UND WASSERSTANDSSCHWANKUNGEN

Gemäss der in Abb. 9 gezeigten Pegel-Abfluss-Relation entsprechen die an der Messstelle Bürglen zwischen dem 22.08.05, 19:00 Uhr und dem 23.08.05, 06:00 Uhr registrierten Abflüsse von 100 bis 150 m³/s einer Variation des Wasserstandes im Sammler von etwa 4 bis 5 m. Entsprechend dieser Betrachtung erreichte der maximale Aufstau eine Kote von ungefähr 608.0 bis 608.5 m ü.M. Diese Kote deckt sich mit den anlässlich der Begehung des Sammlers am 24. August 2005 beobachteten Hochwasserspuren:

- Am Balkenrost fanden sich zwischen den Balken Geschwemmselablagerungen bis in eine Höhe von etwa 1.75 m unter die Überfallsektion, d.h. bis auf eine Kote von 608.25 m ü.M.
- Im Bereich der linksufrigen Zufahrt in den Sammler war eine klare und eindeutige Hochwasserspur (Geschwemmsellinie, umgelegtes Gras) erkennbar, die auf gleicher Höhe lag, wie die höchsten Geschwemmselablagerungen im Balkenrost.

Eine weitere Plausibilisierung kann anhand einer Volumenbetrachtung erfolgen. Aufgrund der Kennkurve des Beckenvolumens entspricht eine Variation der Wasserspiegellage im Becken zwischen 608.25 m ü.M. und 604 m ü.M. einer Volumenänderung von 20'000 bis 25'000 m³.

Für ausgewählte Schwankungen wurde nun aus der Abflussganglinie das Differenzvolumen zwischen dem gemessenen Abfluss und dem als Referenz dienenden gleitenden Mittelwert bestimmt. Diese Volumina betragen bis zu 24'000 m³ (Abb. 10) und entsprechen somit der Volumenänderung im Becken infolge eines Auf-, bzw. Abschwungs des Wasserspiegels.

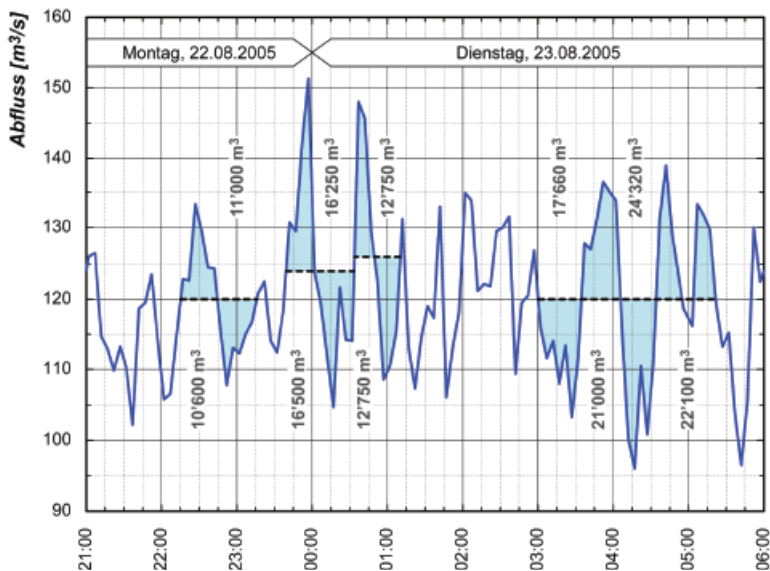


Abb. 10: Differenzvolumina zwischen dem gemessenen Abfluss und dem als Referenz dienenden gleitenden Mittelwert des Abflusses.

Fig. 10: Volume differences between the actual measured discharge and its running mean.

INTERPRETATION DER VORGÄNGE IM GESCHIEBESAMMLER

Die obigen Ausführungen lassen folgende Interpretation der Vorgänge während des Hochwassers vom 22./23. August 2005 im Geschiebesammler 'Stiglisbrücke' zu:

- Durch Geschwemmselablagerungen dürfte der Balkenrost relativ rasch verlegt worden sein und sich ein Aufstau ergeben haben (Abb. 11 a). Dabei lagerte sich das Geschiebe vorwiegend im Bereich der Stauwurzel ab und gelangte so nicht bis zum Abschlussbauwerk.
- Infolge des Aufstaus erfolgte der Ausfluss aus dem Sammler unter Druck. Die Fließgeschwindigkeit in der Grundöffnung nahm zu und die Sohle im Bereich des Durchlasses begann auszukolken. Dadurch vergrößerte sich die Öffnung, der Ausfluss nahm zu und der Aufstau im Becken ging zurück (Abb. 11 b). In dieser Phase konnte Geschiebe bis in den Bereich des Abschlussbauwerks verfrachtet werden und dieses passieren.
- Mit dem Rückgang des Aufstaus waren eine Abnahme des Abflusses und der Fließgeschwindigkeit im Bereich des Durchlasses verbunden. Ein Teil des Geschiebes, welches den Sammler passierte, konnte so den Kolk wieder auffüllen, wodurch die Abmessung der Grundöffnung wieder reduziert wurde (Abb. 11 c). Es resultierte ein erneuter Aufstau und der hier beschriebene Prozess wiederholte sich zyklisch.

Dieser Prozess weist eine bemerkenswerte Analogie zu den Vorgängen an verschalteten Brücken auf, wo grundsätzlich dieselben Phänomene beobachtet werden können (siehe z.B. Jäggi und Abegg, 1993).

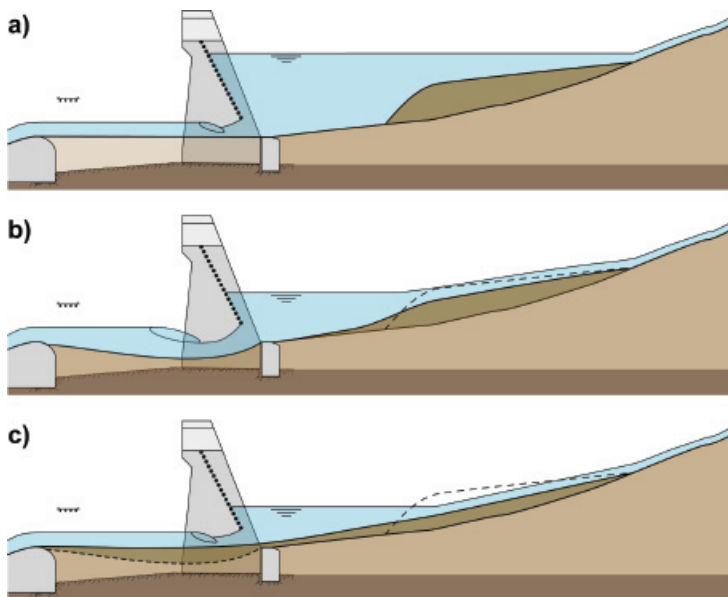


Abb. 11: Zyklischer Aufstau und teilweise Entleerung des Geschiebesammlers während des Hochwassers vom August 2005 (schematische Darstellung).

Fig. 11: Cyclic formation of backwater and flushing of the sediment retention basin during the flood of august 2005 (schematic representation).

Die bei der Messstelle Bürglen registrierten Abflussschwankungen sind also mit grösster Wahrscheinlichkeit durch ein zyklisches Aufstauen und Entleeren des Sammlers zu erklären. Der Zufluss in den Sammler dürfte hingegen weniger markanten Schwankungen unterworfen gewesen sein und in der Hauptphase etwa 120 bis 125 m³/s betragen haben.

Es mag erstaunen, dass die Grundöffnung des Sammlers angesichts der Menge und der Abmessungen des Schwemmholzes, das durch den Sammler in den Unterlauf des Schächens verfrachtet wurde, nicht permanent verkleauste. Auch dies ist praktisch nur durch eine Vergrösserung der Grundöffnung infolge Kolkung erklärbar. Die am 23.08.2005 gegen 10:00 Uhr registrierte Abflussspitze (Abb. 5) könnte auf die Bildung, bzw. Auflösung einer solchen temporären Verkleaustung zurückzuführen sein.

FAZIT

Als relativ einfach zu realisierende und wirkungsvolle Massnahme zur Verhinderung solcher Vorgänge wurde im Herbst 2006 die Sohle im Bereich des Schlitzes fixiert. Die Grundöffnung weist somit heute eine unveränderliche Höhe auf.

Die Ereignisse im Geschiebesammler 'Stiglisbrücke' am Schächens zeigen deutlich die Schwierigkeit einer zuverlässigen Geschiebedosierung mittels durchlässiger Sperren. Bei einem stark auf Dosierung ausgelegten Bauwerk resultiert aufgrund der im Vergleich zur Bauwerkshöhe vergleichsweise grossen Abmessungen des Durchlasses oft ein beschränkter Einstaugrad. Für einen effizienten Rückhalt in der entscheidenden Phase eines Ereignisses ist jedoch ein stabiler Einstau eine entscheidende Voraussetzung.

Im Fall des Geschiebesammlers 'Stiglisbrücke' dürfte der Umstand, dass der für den Ausfluss entscheidende Querschnitt nicht fixiert war, wesentlich dazu beigetragen haben, dass bei Ereignis vom August 2005 relativ viel Geschiebe den Sammler passieren konnte. Auslassquerschnitte bei durchlässigen Sperren müssen deshalb in jedem Fall fixiert sein.

LITERATUR

- Jäggi, M. und Abegg, J. (1993): „Cimavilla-Brücke, Poschiavo. Eine unkonventionelle Lösung aufgrund der Erfahrungen aus dem Unwetter vom Juli 1987“, Schweizer Ingenieur und Architekt, 111(16/17), 295-298.
- OBI (1914): „Wildbachverbauungen und Flusskorrekturen in der Schweiz.“ Eidgenössisches Oberbauinspektorat. Drittes Heft, Bern.
- Püntener, P. (2006): „Hochwasser vom 22./23. August 2005 - Schlussbericht zu den Bereichen Wasserbau und Strassen.“ Amt für Tiefbau des Kantons Uri, Altdorf.
- VAW (1981): „Geschieberückhaltebecken Schächens – Bericht über die Modellversuche zur Geschiebeablagerung im Rückhaltebecken des Schächensbaches bei Bürglen/Altdorf.“ Bericht Nr. 772 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Zürich (unveröffentlicht).
- VAW (1994): „Mündung Schächens – Bericht über die Modellversuche zur Gestaltung der Mündung des Schächens in die Reuss.“ Bericht Nr. 4066 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Zürich (unveröffentlicht).
- Vischer, D.L. (2003). „Die Geschichte des Hochwasserschutzes in der Schweiz.“ Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 5, Bundesamt für Wasser und Geologie, Bern.
- Zollinger, F. (1982). „Die Modellversuche zum Geschieberückhaltebecken Schächens.“ Schweizer Ingenieur und Architekt, 100(21), 443-449.

RISK ASSESSMENT OF DEBRIS FLOW DISASTER IN SONGHE COMMUNITY IN TAIWAN

Su-Chin Chen¹, Chun-Yi Wu², Yung-Chuan Ko³, Bo-Tsung Huang⁴

ABSTRACT

The concept of risk management has been popular on the field of natural hazard mitigation in the world. In order to understand the distribution of risk around the potential debris flow torrents, this study established a model for assessing risk of debris flow disasters. Based on the concept from the International Strategy Disaster Reduction (ISDR), the definition of risk herein is an interaction of the hazard, vulnerability and capacity. Thus, risk has a close connection with humans' activities and could be expressed by the function of hazard, vulnerability and capacity. In this study, the risk level was calculated by multiplying the hazard grade, the value of vulnerability and the normalized index of capacity (i.e., the disaster-stricken degree). Taking Songhe community for example, the installation of measures can reduce the total maximum risk value by 72% and the total average risk value by 75%; the reduced total risk values could be treated as a part of the benefit of the measures.

Keywords: Risk assessment, hazard assessment, vulnerability, capacity, risk map.

INTRODUCTION

Because of the steep geographic and fragile geologic conditions as well as frequent earthquakes and typhoons in Taiwan, the human activities are often influenced by natural disasters. After the Chi-Chi earthquake, the susceptible geology is even weaker; every time when heavy rainfall comes due to the typhoon or the storm, large-scale floods and debris flows occur repeatedly. Although the debris flows mostly occur in mountain regions, it is still a severe threat to hundreds of settlements. Because of the disaster's uncertainty, adopting the traditional methods to prevent the debris flow disasters through the engineering treatment would cause the difficult problem to balance the disaster mitigation investment cost and benefit. Therefore, emphasizing the thoughts of risk management for the disaster prevention has been an inevitable trend. In view of this, this research has the purpose to establish a risk assessment method of debris flow disasters in order to be the reference for the choice among different risk treatment goals such as risk avoidance, risk mitigation, risk acceptance and risk transfer.

About the definition of "risk", according to the Department of Humanitarian Affairs of the

1 Professor and chairman, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

2 Doctoral graduate student, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C. (Tel.: +886-4-2285-2411; Fax: +886-4-2285-3967; email: d9442006@mail.nchu.edu.tw)

3 Section chief, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou 540, Taiwan, R.O.C.

4 Master, Department of Soil and Water Conservation, National Chung-Hsing University, Taichung 402, Taiwan, R.O.C.

United Nations (1991), “risk” means the expected number of lives lost, persons injured, damage to property and disruption of economic activity due to a particular natural phenomenon for a given area. According to Tobin and Montz (1997), “risk” is seen as the product of some probability of occurrence and expected loss. Deyle et al. (1998) believe that “risk” has two measurable components: (1) the magnitude of the harm that may result; (2) the likelihood or probability of the harm occurring in any particular location within any specified period of time. Because the consequence of disaster approaches the disaster losses, and the expected losses are similar to the definition of risk. Therefore, Liu and Mo (2003) consider that the definitions of Department of Humanitarian Affairs of the United Nations and Tobin et al. are the most suitable because the essence of risk is a probable prediction value and not a real value. According to the International Strategy for Disaster Reduction, UN (ISDR, 2002), “risk” means the probability of harmful consequence, or expected loss resulting from interactions between natural or human induced hazards and vulnerable/capable conditions. This function has included capacity into the components of risk; this explains that it is possible to reduce the risk through suitable management or disaster prevention education and drill.

There are many different methods to express the risk level; one of them is adding the natural hazard grade and the value of vulnerability into a total risk (Forte et al., 2005); another is using a mutually independent probability multiplication form (Ferrier and Haque, 2003; Bell and Glade, 2004); the other one is using a direct descriptive method (NC, Division of Emergency Management, 1998; Cardinali et al., 2002). The main purpose is to define a certain level of the risk in order to determine the priority order of the disaster prevention tasks, as well as a reference of the future risk management. It is to fulfill the demand of a zero risk when either a zero natural hazard grade or the value of vulnerability, and to consider that the resilience capacity could influence the assessment results of disaster risk. Therefore, this research defines the risk is function of hazard, vulnerability, and disaster-stricken degree. The hazard reflects the natural characteristics of the disaster, which means the harming grade of the disaster to the zone; the vulnerability reflects the social characteristics, which is related to the material, economics and society; and the disaster-stricken degree reflects the resilience capacity of the zone, the higher the resilience capacity, the lower the potentiality of the community stricken by disaster.

In the part of assessment of the hazard grade caused by debris flow disasters, this research has realized simulation using the FLO-2D software. After determining the submerged areas as red and yellow hazard rating zones, the hazard grade of different elements at red or yellow zones are estimated according to the mode of the submerged elements. In the part of assessment of the value of vulnerability, this research has divided the land-use modes into six different element groups: house, farming land, forestry land, road, bridge and no-direct-loss. Assisted by the Geographical Information System (GIS), the represented values according to the diverse elements are given to realize the quantitative analysis of the vulnerability. In the part of assessment of resilience capacity, the community’s resilience capacity is composed by two parts established in this research: “the ability of residents to resist natural hazard” and “the resources of the community for preventing from disasters”. Using the Analytic Hierarchy Process (AHP) developed by Saaty (1980) to establish a hierarchical framework, the problems of the resilience capacity could be systemized and divided in five different hierarchies. Then the weightings among the diverse hierarchies are obtained through the professionals’ questionnaires, and furthermore an analysis of the results from the residents’ questionnaires and village’s check lists is realized. In synthesis, this research has combined the hazard grade, value of vulnerability and disaster-stricken degree to evaluate the risk level; then a risk map

could be drawn to show the risk distribution. This assessment method, besides of possible to compare the risk map before and after the installation of mitigation measures in the same area in order to know the benefit of the measures and the distribution of the residual risk, is also possible to compare the total risk level in different areas in order to determine priority order of the disaster prevention tasks as a reference of the risk management afterwards.

In 2000, 2002, 2004 and 2005 debris flow disasters occurred in Songhe community, Taichung County; especially severe was the disaster caused by the Typhoon Mindulle in 2004, as a consequence 30 houses were buried in the debris flow, 1 person died and 1 got person injured. From 2001, this area has realized the integrated control projects of the watershed due to the disasters; the planning of many project facilities has been realized. In order to understand the risk change situation after installing the mitigation measures, this research used the complete information materials of Songhe community as an analysis case.

RESEARCH METHODS

Hazard assessment of debris flow

Normally speaking, at the analysis of the harming degree of a certain hazard, it is possible to predict rationally the occurrence frequency and the possible intensity through a certain amount of accumulated statistics information. But, most natural hazards do not necessarily have enough statistics data, and the hazard itself includes high uncertainties; therefore, it is necessary to use other accommodation methods. Taking the example of the debris flow disasters, the rainfall factor is the most important inducing factor of the debris flow; therefore, taking the concept of the rainfall frequency to represent diverse rainfall intensity to deduce different scales of debris flows, in certain level, could also reach the purpose of the relative occurrence probability. Besides, in the assessment of the flood risk of Forte et al. (2005), the nine indices with different hazard degrees were obtained by three classes of rainfall intensity and three classes of rainfall frequency. Cardinali et al. (2002) think that the landslide hazard depends on the frequency of landslide movements and on the landslide's intensity. Landslide frequency was estimated using four classes while landslide intensity was defined in four classes, based on the estimated volume and the expected velocity.

Therefore, this research takes the classification method of the Guidelines on Hazard Mapping of Austria (Fiebiger, 2004) as reference to classify the hazard rating zones of debris flows. The classification of the hazard degree is composed by the two parameters: intensity and occurrence probability; according to the harm to the people and the damage to the buildings, it is classified in red or yellow zone. Under different rainfall intensity, the submerged extent and the height of deposit of debris flow can be simulated by the FLO-2D software; then the results were used to classify the different hazard zones. Herewith the two parameters to classify the hazard degrees of debris flow are described:

A. Intensity

The criterion of the influence intensity is defined as the influence level to the human lives and the building's structure safety. The Guidelines on Hazard Mapping of Austria classify the intensity of debris flow according to the height of deposit; the height of over 0.7 m is considered as high intensity, and the height of below 0.7 m is considered as low intensity.

B. Occurrence probability

For the debris flow, the influence factors are complex; normally it is not easy to calculate

the occurrence probability, and even more improbable to estimate its return period. Therefore, the probability of the debris flow within one year is selected as the criterion of high or low probability; and the occurrence probability of the events of 10 and 150 years return periods within one year are 10% and 0.7% respectively.

Combining both parameters of intensity and probability, it is possible to obtain the different hazard degrees of debris flow; when the intensity is high and the occurrence probability is high or low, it is classified as red zone; when the intensity is low and the occurrence probability is high or low, it is classified as yellow zone. On the assessment of hazard grade of debris flow, the submerged areas are classified as red or yellow zones using the results of FLO-2D software simulation. Based on the mode of the submerged elements at risk and the damage factor of Team KNU (2005), it is possible to estimate the hazard grade of different elements at red or yellow zones (as shown in table 1)

Tab. 1: Damage factor of diverse elements at risk

Element at risk	Average risk map		Maximum risk map	
	Yellow zone	Red zone	Yellow zone	Red zone
House	0.1	0.3	1.0	1.0
Farming land	1.0	1.0	1.0	1.0
Forestry land	0.1	0.5	1.0	1.0
Road	0.5	1.0	1.0	1.0
Bridge	0.5	1.0	1.0	1.0

The damage factor represents the average ratio of actual loss to the value of an element in the red and yellow zones when the disaster occurs. The hazard grade of each element equals the corresponding damage factor. Therefore, results of multiplication of the damage factor by the value of element are the average losses of the debris flow of 150 years return period; the obtained risk map is also called as average risk map. Besides of considering the average risk, estimating the possible maximum losses of the disaster is also very important. Taking all the damage factors as 1, the results are the possible maximum losses of the debris flow of 150 years return period; the obtained risk map is also known as the maximum risk map.

Vulnerability assessment

The vulnerability can be defined as the threat or harm to the people and property by the disasters. This means after predicting the hazard zones according to the scale of debris flows, all losses of lives and properties within the endangered extent when the disaster occurs shall be estimated. Because the vulnerability assessment, which involves the evaluation or estimation, is a complex process, it is necessary to simplify the assessment method in order to facilitate the analysis. For example, according to Forte et al. (2005), nine classes with different vulnerability degrees are represented for elements at risk. Each class has one fictitious multiple of three indices in order, so the vulnerability factor is numerically defined by values. Cardinali et al. (2002) estimate vulnerability based on the inferred relation between the intensity and type of the expected landslide, as well as the likely damage the landslide would cause to eleven types of elements at risk. The expected damage to the elements was classified as minor, medium and severe damage. Therefore, when it is impossible to realize an accurate analysis of the details of the possible losses, this research has selected some public or private properties such as house, farming land, forestry land, road, bridge as the main assessment elements, and analyzed the vulnerability; the indirect and intangible losses are not considered.

This research used the aerial photos and land-use maps to re-digitize the land-use layer of the nearby submerged areas. At the digitalization, the modes of land use were classified into six groups of elements at risk, i.e. house, farming land, forestry land, road, bridge and no-direct-loss (as shown in table 2). Assisted with the GIS and giving its represented value according to different elements, the quantitative analysis of vulnerability was realized.

In the calculation of unit value with different elements at risk, this research took the values used by National Science and Technology Center for Disaster Reduction (NCDR, 2005) as reference to realize the assessment of economic losses of debris flow disasters. The prices announced by the local authorities were used to assess the value of houses, farming and forestry lands; the values of roads and bridges were assessed with the minimum value of US\$ 909 / m² and 758 / m², respectively (Liu et al., 2006).

Tab. 2: Vulnerability assessment of different elements at risk

Element at risk	Land-use classification	Assessment method
House	House, school, etc.	The announced land price plus the value of the building itself
Farming land	Paddy field, dry farmland, betel nut farmland, orchard, etc.	The announced land price
Forestry land	Foliage forest, coniferous forest, etc.	The announced land price
Road	Road	US\$ 909 / m ²
Bridge	Bridge	US\$ 758 / m ²
No-direct-loss	River, dry river bed, etc.	US\$ 0 / m ²

Capacity assessment

The resilience capacity is defined as the capacity of individuals or communities to endure or resist the disasters. Chen et al. (2005b) considered the community resilience capacity as the combination of the community's legal capability, disaster prevention and response organization, communication capability, warning capability, payment capability of the mitigation fees and disaster prevention education, which means the community's preparedness capacity. Wang (2005) established an assessment model, using the check lists to interview the village heads, for the resilience capacity of slopland communities in order to assess the community's preparedness of disaster prevention such as the responding system, monitoring system and communication system. Through questionnaires to the residents, Wu (2006) realized an assessment of the ability of residents to resist natural hazard such as responding capability, monitoring capability and communication capability, as well as then modified and combined the assessment model for the resilience capacity of slopland communities to establish a model of resilience capacity for communities.

Therefore, the resilience capacity of the community is composed by two parts, including the ability of residents to resist natural hazard and the resources of the community for preventing from disasters. The problems of resilience capacity were systemized and divided into five different hierarchies (as shown in table 3) by the AHP. Then the weightings among the diverse hierarchies were obtained through the professionals' questionnaires, and furthermore an analysis of the results from the residents' questionnaires and village's check lists was realized. The assessment method of the community's resilience capacity is as follows:

- The "ability of residents to resist natural hazard" covers three capabilities that the residents have to resist the disasters like responding, monitoring and communication capabilities; the assessment was realized with the residents' questionnaires (Wu, 2006).

The design framework of the questionnaire is shown in table 3. Each question is given a grade mark from 0 to 60 points to realize the calculation.

- The “resources of the community for preventing from disasters” is based on the point of view of the disaster prevention system, and is divided in responding, monitoring and communication systems of the community; the assessment method is using the check lists (Wu, 2006) to interview the village heads. The design framework of the check list is shown in table 3. Each question is also given a grade mark from 0 to 60 points to realize the calculation.
- After obtaining the points of the “ability of residents to resist natural hazard” and the “resources of the community for preventing from disasters”, it is necessary to realize the weighting analysis on the grade mark obtained from the questionnaires and check lists because of the different importance among each item. According to the results of the questionnaires to professionals, investigated by Wu (2006), the distribution of weighting structure is shown in table 3. In the hierarchical weighting in the table, the sum of the items on the same hierarchy is 1; the whole weighting represents the importance of the item on whole resilience capacity of the community. Multiplying the number of points obtained in each question by the whole weighting respectively, the sum will be the assessment points of the “ability of residents to resist natural hazard” and the “resources of the community for preventing from disasters”.
- At the end, adding up the both points just mentioned above gets the community’s whole resilience capacity.

The community’s resilience capacity has a grading scale of 0-60 points; in order to combine with the analysis results of the above mentioned hazard and vulnerability, it is possible to use the formula (1) to transform the total points of the resilience capacity into a normalized index of a value between 0 and 1. This index can be considered as the disaster-stricken degree (D_s); the higher the resilience capacity, the lower the potentiality of the losses from the community due to disasters.

$$D_s = 1 - \frac{\text{the resilience capacity}}{60 \text{ points}} \quad (1)$$

Risk assessment

According to the results from the analyses of debris flow hazard, vulnerability and resilience capacity, based on the risk function indicated by ISDR (2002), the risk level (R) can be calculated by multiplying the hazard grade (H), value of vulnerability (V) and disaster-stricken degree (D_s) as shown in formula (2); then the risk map can be drawn.

$$R = H \times V \times D_s \quad (2)$$

The risk map drawn in this research represents the risk distribution and extent when a disaster of 150 years return period occurs. Adding the above mentioned damage factors for analysis, it is possible to obtain the distribution of the average losses when a disaster of 150 years return period occurs, which means the average risk map; or the distribution of the most severe losses, which means the maximum risk map. Besides of showing the distribution of the high or low risk levels on the risk map, this research added up all the risk values within the submerged extent to obtain the total average losses of the whole area when the occurrence of debris flow, which means the total average risk value; or the total maximum losses, which means the total maximum risk value (as shown in tables 6 and 7).

When calculating the total average risk value in a region, the uncertainty of the submerged extent when the debris flow occurs shall be considered, which means whether all the areas in

Tab. 3: The framework and weighting distribution of the community's resilience capacity

Hierarchy	Assessment items		Hierarchical weighting	Whole weighting	
1	Community's resilience capacity		1.000	1.000	
2	Community's resilience capacity	Ability of residents to resist natural hazard	0.498	0.498	
		Resources of the community for preventing from disasters	0.502	0.502	
3	Ability of residents to resist natural hazard	Responding capability	0.417	0.208	
		Monitoring capability	0.272	0.135	
		Communication capability	0.310	0.154	
	Resources of the community for preventing from disasters	Responding system	0.406	0.204	
		Monitoring system	0.271	0.136	
		Communication system	0.323	0.162	
4	Ability of residents to resist natural hazard	Responding capability	Understanding the community's disaster prevention and response organization	0.207	0.043
			Preparing the disaster prevention resources of one's own house	0.238	0.050
			Understanding the emergency evacuation route and shelter	0.323	0.067
			Acquiring disaster prevention experience	0.232	0.048
		Monitoring capability	Observing the one's own rainfall gauge	0.616	0.083
			Experience principle	0.384	0.052
		Communication capability	Communicating with the supervisors	0.407	0.066
	Communicating with the relatives or neighbors		0.593	0.096	
	Resources of the community for preventing from disasters	Responding system	Disaster prevention and response organization	0.279	0.057
			Disaster prevention and response resources	0.343	0.070
			The emergency evacuation planning	0.378	0.077
		Monitoring system	Observing the community's rainfall gauge	0.546	0.074
			Real-time monitoring system	0.454	0.062
		Communication system	Communication feedback system	0.299	0.048
Specialized personnel			0.429	0.069	
5	Responding capability	Understanding the emergency evacuation route and shelter	Knowing the routes to shelters	0.432	0.029
			Active / passive evacuation	0.568	0.038
		Acquiring disaster prevention experience	Participation experience of disaster prevention drill	0.452	0.022
			Real disaster experience	0.548	0.026
	Responding system	Disaster prevention and response organization	Community's rescue team	0.620	0.035
			Mobilization capacity	0.380	0.022
			Aid materials in the shelter	0.531	0.046
		Disaster prevention and response resources	Rescue equipments	0.469	0.041
			The emergency evacuation planning	Planning of the route and shelter	0.370
		Distribution of the residents		0.307	0.036
		List of the elders, minors and infirm patients	0.322	0.038	
	Monitoring system	Observing the community's rainfall gauge	Knowledge of the operation method	0.462	0.034
			Specialized personnel	0.236	0.017
			Device popularity	0.302	0.022
Real-time monitoring system		Knowledge of the operation method	0.465	0.029	
		Specialized personnel	0.250	0.016	
Device popularity	0.286	0.018			

Source: Chen et al.(2006)

the red and yellow zones would be influenced by the same event. Therefore, this research used the process factor provided by Team KNU (2005) to represent the area proportion of hazard zones which could be influenced by the same event. It is necessary to know that when the debris flow of 150 years return period occurs, the process factor shall be 0.6 according to Team KNU. But this research established 1.0 for the process factor to calculate the total maximum risk value in a region.

CASE ANALYSIS

Environment outline of the Songhe community

The Songhe community is located in Taichung County, and is about 30 km of the Central Cross-Island Highway. It is at an elevation of about 700 meters; the annual average temperature is 22 degrees Celsius and the annual average rainfall is 2800 mm. The No. 1 and No. 2 Songhe Torrents are potential debris flow torrents; the watershed has a long form in east-west direction and narrow in north-south direction. The topography varies greatly; the lowest point is at 640 meters and the highest point is at 2870 meters elevation. The stratum structure of the Songhe community is complex; the joints have been well developed; the stratum is of argillites and sometimes sandstones; the naked parts of the stratum are often of debris. During the heavy or torrential rains, it can easily collapse and even cause debris flow disasters.

Risk assessment of debris flow disasters

A. Hazard analysis of the debris flow

This research used the FLO-2D software, together with the 10 m x 10 m DTM data and the peak discharge of rainfall of the 10 and 150 years return periods (as shown in table 4), to simulate the possible submerged areas of the No. 1 and No. 2 Songhe Torrents; then the heights of deposit were analyzed to decide the hazard degree caused by the debris flow and its distribution. After the classification of the simulation results, it is possible to obtain the red and yellow zones of the No. 1 and No. 2 Songhe Torrents, as shown in figure 1. The 30 houses buried in the debris flow caused by the Typhoon Mindulle in 2004 are almost within the red zones.

Tab. 4: Peak discharge of the No. 1 and No. 2 Songhe Torrents

Potential debris flow torrents	Rain station of the Central Weather Bureau	Annual average rainfall (mm)	Peak discharge of different return period (cms)	
			10 years	150 years
No. 1 Songhe Torrent	Shangguguan	2807.0	112.1	158.9
No. 2 Songhe Torrent	Shangguguan	2807.0	16.4	23.2

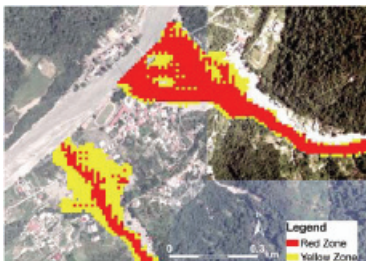


Fig. 1: The red and yellow zones of the No. 1 Songhe Torrent (right) and No. 2 Songhe Torrent (left)

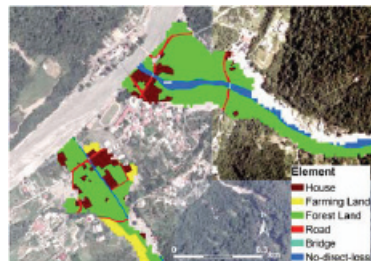


Fig. 2: Distribution of elements in the submerged areas of the No. 1 and No. 2 Songhe Torrents

B. Vulnerability analysis

In this research, the vulnerability analysis makes emphasis on the losses caused by the debris flow disasters in each land-use mode; thus, the land-use layer is the main assisting instrument. In order to make it more accurate, after obtaining the 1/5000 orthophotos, the land-use layer of the region was re-digitized using the ArcView software. At the digitalization, making a reference directly on the table 2, the land-use modes were classified into six groups of elements at risk like house, farming land, forestry land, road, bridge and no-direct-loss. The distribution of different elements in the submerged areas of the No. 1 and No. 2 Songhe Torrents is shown in figure 2.

In the assessment of average unit value of different elements, according to the land price announced by the Land Administration Bureau of Taichung County Government, the average value of construction lands of the Songhe community is US\$ 3.9 / m²; the value of farming lands is between US\$ 2.0 – 3.6 / m², and the average is US\$ 2.8 / m²; the value of forestry lands is between US\$ 2.0 – 3.6 / m², and the average is US\$ 2.8 / m². About the value of the building itself, after the result of on site investigation of the buildings in Songhe community, the buildings in this region are mostly reinforced concrete residential houses and farmhouses, which belong to the third category of reinforced concrete houses in the “House Usage Classification List”. Each building has 2 floors on average; from the “House Standard Unit Price List”, the unit price of the first floor is US\$ 72.7 / m², and the second floor is US\$ 75.8 / m² in the third category of reinforced concrete houses. Therefore, for the element of the house in Songhe community, the unit value shall include the price of the construction land, the first and second floors, which amount to US\$ 152.4 / m².

C. Analysis of the resilience capacity

In the calculation of the community’s resilience capacity, scoring with the results of the residents’ questionnaires and check list in Songhe community was realized, as well as the scores of the “ability of residents to resist natural hazard” and the “resources of the community for preventing from disasters” were recorded. After adding the weighting, the sum of both scores is the community’s resilience capacity in Songhe community. Then, the resilience capacity can be transformed into the disaster-stricken degree (D_s); the calculation results are shown in table 5.

Tab. 5: Scoring table of each assessment item of the resilience capacity in Songhe community

Assessment items	Score	Assessment items	Score
Ability of residents to resist natural hazard	18.89	Resources of the community for preventing from disasters	14.57
Responding capability	12.35	Responding system	11.53
Understanding the community’s disaster prevention and response organization	6.90	Disaster prevention and response organization	4.77
Preparing the disaster prevention resources of one’s own house	7.99	Disaster prevention and response resources	7.24
Understanding the emergency evacuation route and shelter	9.34	The emergency evacuation planning	16.38
Acquiring disaster prevention experience	5.39	Monitoring system	7.54
Monitoring capability	10.34	Real-time monitoring system	0.00
Observing the one’s own rainfall gauge	24.26	Observing the community’s rainfall gauge	27.81
Experience principle	13.74	Communication system	9.95
Communication capability	15.25		
Communicating with the supervisors	49.21		
Community’s resilience capacity	33.46	Disaster-stricken degree (D_s) *	0.44

Remarks: * The disaster-stricken degree is calculated by the formula (1)

D. Result of the risk assessment

Using the results of the red and yellow zones, the distribution of the elements within the submerged areas as well as the disaster-stricken degree of Songhe community, the risk level of the debris flow disaster can be calculated with the formula (2), and then the risk map can be drawn. For example, figure 3 is the maximum risk map of the debris flow disaster in Songhe community, which represents the distribution of the most severe losses when the event of 150 years return period occurs; the figure 4 is the average risk map, which represents the distribution of the average losses when the event of 150 years return period occurs. Besides that the maps show the distribution of high or low risk levels, it is possible to obtain the total maximum risk value and total average risk value when the disaster occurs by adding up all the risk values within the submerged extent (as shown in tables 6, 7). From the analysis results, the total maximum risk value is about US\$ 4.4 million and the total average risk value is US\$ 1.4 million when the event of 150 years return period occurs.

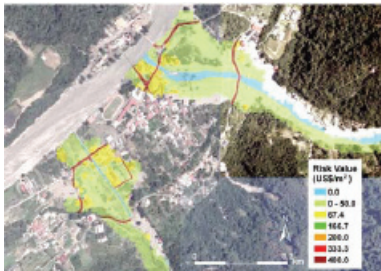


Fig. 3: Maximum risk map of the debris flow disaster in Songhe community

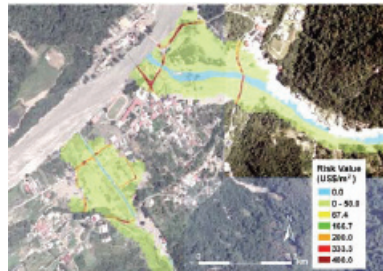


Fig. 4: Average risk map of the debris flow disaster in Songhe community

Tab. 6: Calculation of the total maximum risk value of the debris flow disaster in Songhe community

Element at risk	Red zone		Yellow zone		Unit value (US\$ / m ²)	Loss value (US\$)
	Submerged amount (m ²)	Damage factor	Submerged amount (m ²)	Damage factor		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=[(1)*(2)+(3)*(4)]*(5)
House	9057	1.0	11440	1.0	152.4	3123743
Farming land	3030	1.0	5757	1.0	2.8	24604
Forestry land	119720	1.0	76971	1.0	2.8	550735
Road	3218	1.0	3547	1.0	909	6149385
Bridge	140	1.0	95	1.0	758	178130
No-direct-loss	14734	-	6490	-	0	0
Total risk value (7)						4,411,702
(7) = 1.0 * Σ(6) * 0.44						

Tab. 7: Calculation of the total average risk value of the debris flow disaster in Songhe community

Element at risk	Red zone		Yellow zone		Unit value (US\$ / m ²)	Loss value (US\$)
	Submerged amount (m ²)	Damage factor	Submerged amount (m ²)	Damage factor		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=[(1)*(2)+(3)*(4)]*(5)
House	9057	0.3	11440	0.1	152.4	588432
Farming land	3030	1.0	5757	1.0	2.8	24604
Forestry land	119720	0.5	76971	0.1	2.8	189160
Road	3218	1.0	3547	0.5	909	4537274
Bridge	140	1.0	95	0.5	758	142125
No-direct-loss	14734	-	6490	-	0	0
Total risk value (7)						1,447,141
(7) = 0.6 * Σ(6) * 0.44						

Risk changes after the installation of mitigation measures

The Songhe community has been submitted for the integrated planning against debris flow disasters since 2001; the planned or finished mitigation measures are shown in table 8 (Soil and Water Conservation Bureau, SWCB, 2004). No. 5 comb dam is located most upstream; settling basin is located downstream. In order to understand the prevention effect of measures, FLO-2D software was used to simulate the submerged situation of the No. 1 and No. 2 Songhe Torrents under the condition of all measures installed, and then the risk map was drawn to determine the situation of risk changes.

After the installation of mitigation measures in No. 1 and No. 2 Songhe Torrents, the assessment methods of the hazard zones, different elements within the submerged areas and the disaster-stricken degree are the same as above mentioned; the obtained maximum risk map and average risk map are shown as figures 5 and 6. Besides of showing the risk change situation on the maps after the installation of the measures, it is possible to obtain the total maximum risk value of US\$ 1.3 million and total average risk value of US\$ 0.4 million at the occurrence of debris flow by adding up all the risk values in the submerged areas. Comparing with the total risk value without installation of the measures, the total maximum risk value can be reduced by US\$ 3.1 million (a reduction of 72%) and the total average risk value by US\$ 1.0 million (a reduction of 75%) when the debris flow of 150 years return period occurs in Songhe community.

Tab. 8: The planning of the mitigation measures of the Songhe watershed (SWCB, 2004)

	Type of measure	Height of the dam (m)	Torrent's average width (m)	Cost (US\$)
No. 1 Songhe Torrent	No. 1 Comb Dam	5	40	81,000
	No. 2 Comb Dam	5	24	49,000
	Restoration of the Comb Dam	5	24	49,000
	No. 3 Comb Dam	5	24	49,000
	No. 4 Comb Dam	5	24	49,000
	Restoration of the Comb Dam	5	24	49,000
	No. 5 Comb Dam	6	30	97,000
No. 2 Songhe Torrent	Settling basin	Area: 2.6 hectares; Average depth: 5 m; Width: 24 m – 175 m		1,500,000
	Settling basin	Area: 1.1 hectares; Average depth: 3 m; Width: 16 m – 64 m		528,000

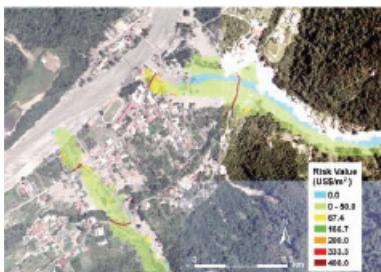


Fig. 5: Maximum risk map of the debris flow disaster (with mitigation measures)

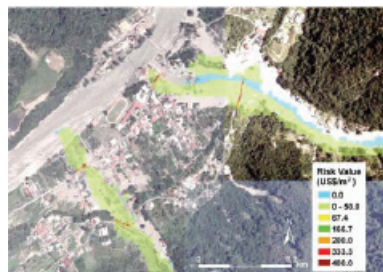


Fig. 6: Average risk map of the debris flow disaster (with mitigation measures)

CONCLUSION

This research has realized a risk assessment of debris flow disaster in No. 1 and No. 2 Songhe Torrents through using the product of the hazard grade (H), value of vulnerability (V) and

disaster-stricken degree (D_s) to calculate the risk level (R), as well as drawing the risk maps; then the maximum risk map and average risk map before and after the installation of mitigation measures can be obtained. The installation of measures can reduce the total maximum risk value by 72% and the total average risk value by 75% when the debris flow of 150 years return period occurs. These reduced risk values can be considered as a part of direct benefit; it is possible to be included in the analysis when realizing the cost-benefit analysis of the mitigation measures in the future.

Hundreds of settlements under the threat of debris flow disasters often have the difficult problem of the balance between the disaster mitigation investment cost and benefit, especially when facing the disaster's uncertainty. Using the risk assessment method in this research to compare the risk maps before and after the installation of mitigation measures in the same area, it is possible to know the benefit of the measures and the distribution of the residual risk. Also, comparing the total risk value in different areas can determine the priority order of the disaster prevention tasks and be as a reference of the risk management in the future.

The related factors and parameters of the risk assessment model established in this research can be modified in the future according to the real needs. For example, the damage factor and process factor are from the data of Austria due to the insufficient information materials in Taiwan; once when the related data become more complete in Taiwan in the future; these can be modified in order to approach more the situation in Taiwan.

LITERATURE

- Chen, S. C., Ferng, J. W., Wu, C. Y., Huang, B. T. and Wang, J. J. (2006), "Risk Assessment and Disaster Management for Debris-Flow Hazard zones," *Journal of Sino-Geotechnics* (in Chinese with an English abstract), 110: 45-54.
- Chen, S. C., Wang, Y. T. and Wu, T. Y. (2005a), "The Assessment of Disaster Resilient Capacity to the Hillslope Villages at Counties with High Geological Failure Risk," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation* (in Chinese with an English abstract), 36(4): 323-337.
- Chen, S. C., Wu, C. H., Ko, Y. C., Ferng, J. W. and Wu, C. Y. (2005b), "The New Concept of Risk Identification and Management Strategies for Disaster Resistant Communities," *Proceedings of Conference on Sustained Soil Conservation and Rural Development*, Taipei, Taiwan, pp.265-282.
- Deyle, R. E., French, S. P., Olshansky, R. B. and Paterson, R. G. (1998), "Hazard assessment: The factual basis for planning and mitigation," *Cooperating with Nature: Confronting Natural Hazards with Land-Use Planning for Sustainable Communities*, Joseph Henry Press, Washington, DC, pp. 134.
- F. Forte, L. Pennetta, and R. O. Strobl (2005), "Historic records and GIS applications for flood risk analysis in the Salento peninsula (southern Italy)," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5:833-844.
- G. Fiebigler (2004), "Hazard Mapping in Austria - the State of the Art," *Proceedings of International Workshop on Hazard Zone Mapping of Hillslope*, pp.5-1-5-6.
- ISDR (2002), *Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*, United Nations ISDR, Geneva, pp. 41.
- Liu, K. F. and Li, H. C. (2006), "The Study of the Direct Damage Estimation of Debris Flow," *Journal of Chinese Soil and Water Conservation* (in Chinese with an English abstract), 37(2): 143-155.
- Liu, Xilin and Mo, Duowen (2003), *Risk Assessment on Debris Flow*, Chengtu, China, ISBN: 7-5372-3567-8.
- M. Cardinali, P. Reichenbach, F. Guzzetti, F. Ardizzone, G. Antonini, M. Galli, M. Cacciano, M. Castellani and P. Salvati (2002), "A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2:57-72.
- N. Ferrier and C. E. Haque (2003), "Hazards risk assessment methodology for emergency managers: A standardized framework for application," *Natural Hazards*, 28:271-290.
- National Science and Technology Center for Disaster Reduction (2005), *Study on the design defense magnitude of natural disaster for non-structure strategy in Taiwan*, National Science Council.
- NC, Division of Emergency Management (1998), *Local hazard mitigation planning*, NC.
- R. Bell and T. Glade (2004), "Quantitative risk analysis for landslides - Examples from B'ldudalur, NW-Iceland," *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4:117-131.
- Saaty, T. L. (1980), *The Analytic Hierarchy Process*, McGraw-Hill, New York.
- Soil and Water Conservation Bureau (2005), *The Report of Integrated Planning for Debris Flow Disaster in Songhe Community, Taichung County, Taiwan*, Council of Agriculture.
- Team KNU (2005), *Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung* (in German), Federal Ministry for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, Austria.
- Tobin, G. A. and Montz, B. E. (1997), *Natural Hazards: Explanation and Integration*, Guilford Publishing, New York, pp. 282.
- United Nations, Department of Humanitarian Affairs (1991), *Mitigating Natural Disasters: Phenomena, Effects and Options - A Manual for Policy Makers and Planners*, United Nations, New York, pp. 91.
- Wang, Y. T. (2005), *Establishing an Assessment Model for the Resilient Capacity of Slope Land Communities - for Taichung and Nantou Counties*, Master thesis, National Chung-Hsing University.
- Wu, T. Y. (2006), *Assessment of Resilient Capacity for Debris Flow Disasters Communities*, Master thesis, National Chung-Hsing University.

GESCHIEBETRANSPORTMODELLIERUNG IN WILDBÄCHEN UND VERGLEICH DER MORPHOLOGISCHEN VERÄNDERUNG MIT LIDAR DATEN

MODELLING SEDIMENT TRANSPORT IN A MOUNTAIN STREAM AND COMPARISON OF THE MORPHOLOGIC CHANGE WITH LIDAR DATA

Michael Chiari¹, Elisabeth Mair¹, Dieter Rickenmann^{1,2}

ZUSAMMENFASSUNG

Zur Validierung von Geschiebetransportmodellen sind einerseits Angaben zur Hydrologie und Hydraulik des Abflusses notwendig. Andererseits werden Angaben über die Prozesse Erosion und Ablagerung für die Überprüfung der Geschiebetransportmodellierung benötigt. Die durch ein extremes Hochwasser in einem alpinen Einzugsgebiet bedingten morphologischen Veränderungen wurden mit Hilfe von luftgestützten Laserscan Geländemodellen quantifiziert. Es wurde eine Ereignisrekonstruktion für den Suggadinbach in Vorarlberg durchgeführt. Um die aus der Unschärfe der Eingangsparameter resultierende Bandbreite der möglichen Abflussganglinien zu berücksichtigen, wurden verschiedene Szenarien mit dem eindimensionalen Geschiebetransportmodell SETRAC simuliert und mit der in der Natur beobachteten Sedimentverlagerung verglichen.

Keywords: Geschiebetransport, numerische Modellierung, steile Gefälle

ABSTRACT

To validate sediment transport models, hydrologic and hydraulic parameters have to be known or assumed. But also the quantification of erosion and deposition is needed to verify the simulation results. Airborn LiDAR data were used to calculate the morphologic changes that were caused by an extreme flood event in an alpine catchment. The reconstruction of an extreme event was performed for the Suggadin mountain stream in Vorarlberg. To take the bandwidth of possible input hydrographs into account different scenarios are modelled with the one dimensional bedload transport model SETRAC. The results of the simulations are compared with the observed transported sediment loads inferred from the morphologic changes.

Keywords: bedload transport, numerical modelling, steep slopes

1 Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich,
email: michael.chiari@boku.ac.at

2 Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Gebirgshydrologie und Wildbäche,
Birmensdorf, Schweiz

EINLEITUNG

Die Modellierung von Geschiebetransportprozessen in steilen Wildbacheinzugsgebieten stellt eine große Herausforderung dar. Für die Kalibrierung hydraulischer Modelle sind im Allgemeinen gemessene Abflussdaten wie Durchfluss und Wasserspiegellagen notwendig. Vor allem in kleineren steilen Einzugsgebieten sind diese Daten oft nur schwer oder auch gar nicht verfügbar. Des Weiteren werden für die Validierung von Geschiebetransportmodellen Angaben über die Verlagerungsprozesse, d. h. die Bereiche mit Erosion bzw. Ablagerung benötigt.

Abgesehen von den oft nur groben Daten oder Beobachtungen zum Prozessablauf in der Natur, ist die Verfügbarkeit von Geschiebetransfer-Modellen für steile Gerinne sehr limitiert.

FALLBEISPIEL SUGGADINBACH

Der Suggadinbach (Abb. 1) durchfließt das Gargellental, ein in südwestlicher Richtung verlaufendes Seitental des Montafons in Vorarlberg (Abb. 2). Er entwässert ein 75 km² großes Gebiet. Das Einzugsgebiet des Suggadinbaches liegt im Bereich des Silvretta-Kristallins, und ist vor allem aus verschiedenen Gneisen und Glimmerschiefern aufgebaut. Der Waldanteil an der Gesamtfläche des Einzugsgebiets beträgt 21%.



Abb. 1: Hochwasserereignis am Suggadinbach im Montafon in Vorarlberg im August 2005
(Quelle: WL.V Bludenz)

Fig. 1: Flood event at the Suggadin mountain stream in Montafon valley in Vorarlberg on August 2005
(source: WL.V Bludenz)

Die Ereignisrekonstruktion bezieht sich auf das Hochwasserereignis vom 22./23. August 2005 (Abb. 1). Seit dem Nachmittag des 19. August 2005 gab es im Einzugsgebiet Niederschläge. Das auslösende Niederschlagsereignis begann am 22. August um die Mittagszeit und

erreichte seine höchsten Intensitäten um Mitternacht mit Stundenniederschlägen von über 9 mm/h. Zur Mittagszeit des 23. August endeten die Niederschläge. In 24 Stunden fiel im Einzugsgebiet eine Regenmenge von 93 mm.

Um ca. 18.00 Uhr am 22. August setzte das Hochwasserereignis ein, ab 22.00 Uhr war die Straße ins Gargelltal nicht mehr befahrbar.

Insgesamt war die Zerstörung von zwei Brücken, 4 km Landesstraße, jeweils 4 km Hochspannungsleitung, Telefonleitung, Stromversorgung und Kanalisationsleitungen und 5 ha Wald zu verzeichnen.

Rekonstruktion der Ereignisganglinien

Die für die Modellierung der Geschiebetransportprozesse notwendigen Abflussganglinien wurden mit Hilfe des Niederschlags-Abfluss-Modells HEC-HMS erstellt. Leider fielen die im Einzugsgebiet liegenden Niederschlagsstationen Gargellen Schafberg und St. Gallenkirch (Abb. 2) während des Ereignisses aus und können nicht herangezogen werden. Als Eingangsdaten standen die Niederschlagsdaten von zwei außerhalb des Einzugsgebiets liegenden Niederschlagsmessstationen zur Verfügung: Vermunt und Tschagguns.

Entsprechend der Seehöhe der Messstation (Vermunt: 1733 m, Tschagguns: 680 m) wurden die Daten der Station Vermunt für das obere Einzugsgebiet, jene der Station Tschagguns für das untere Einzugsgebiet übernommen. Die Station Tschagguns ist 6 km und die Station Vermunt ist 11 km vom Suggadinbacht entfernt. Die Niederschlagsintensitäten und die Summenlinien für die Stationen Tschagguns und Vermunt sind in der Abb. 3 dargestellt.

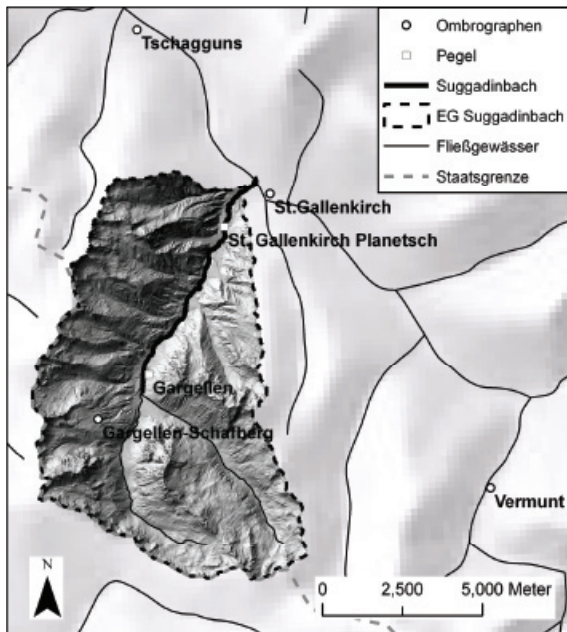


Abb. 2: Übersicht Einzugsgebiet Suggadinbach mit Ombrographen und Abflusspegel

Fig. 2: Catchment area of the Suggadin mountain stream with rainfall and discharge gauges

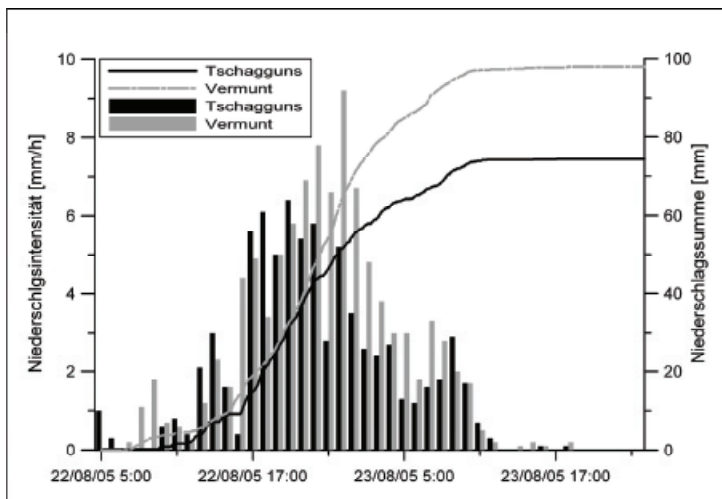


Abb. 3: Niederschlagsintensitäten und Niederschlagssummen für die Stationen Tschagguns und Vermunt
Fig. 3: Rainfall intensity and accumulative rainfall for the stations Tschagguns and Vermunt

Zur Rekonstruktion des Abflusses standen die Daten von zwei Pegelstationen im Suggadinbach zur Verfügung. Einer dieser Pegel befindet sich im oberen Einzugsgebiet. Aufgrund der aus diesem Pegel resultierenden geringen Abflussspende von $0.6 \text{ m}^3/(\text{s km}^2)$ wurde dieser Pegel zur Festlegung der Abflussspitze nicht verwendet, da daraus unrealistische Abflussbeiwerte resultierten. Im unteren Einzugsgebiet befindet sich ein alter Messpegel, für den kein gültiger Pegelschlüssel mehr existiert. Für diesen wurde eine Rückrechnung des Abflusses nach Rickenmann (1990) unter Berücksichtigung der durch den Geschiebetrieb erhöhten Gemischabflusstiefe durchgeführt. Weiters wurde im unteren Bachabschnitt der Spitzenabfluss für ein Querprofil, das während des Durchgangs der Hochwasserwelle nur eingeschränkten morphologischen Veränderungen unterlag, nach der oben erwähnten Methode rückgerechnet. Aus diesem Spitzenabfluss und dem aus den Pegeldaten entnommenen zeitlichen Verlauf der Hochwasserwelle wurde die Abflussganglinie nachgebildet. Um die Unsicherheiten der Eingangsganglinien auch bei der Modellierung des Geschiebetransports zu berücksichtigen, wurde zusätzlich ein zweites Szenario entwickelt. Dazu wurde für das gemessene Profil mit beweglicher Sohle der maximal mögliche Durchflussquerschnitt festgelegt und der zugehörige Spitzenabfluss bestimmt. Zusammen mit dem zeitlichen Verlauf aus den Pegeldaten ergibt sich daraus ein Maximalszenario.

In Abb. 4 sind die Abflussganglinien aus den Pegelmessungen dargestellt. Der Spitzenabfluss beträgt im Fall des Pegels St. Gallenkirch Planetsch ca. $130 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Anstieg der Ganglinie des Pegels St. Gallenkirch Planetsch ab 13.00 Uhr am 23. 08. 2005 wird auf eine Störung der Messung zurückgeführt, da er nicht durch Niederschlag erklärt werden kann

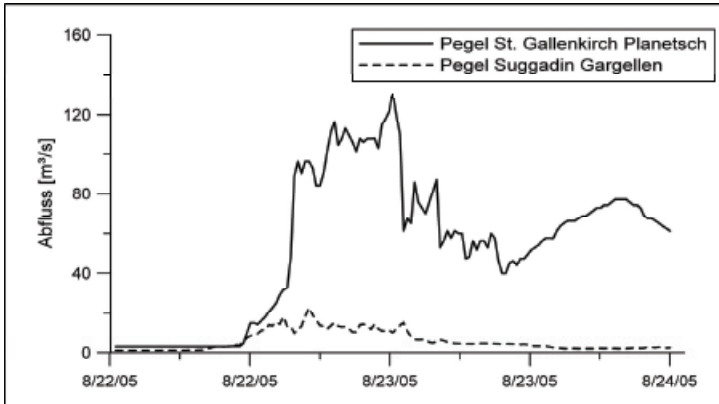


Abb. 4: Abflussdaten der zwei Pegel des Suggadinbaches. Bei den Daten des Pegels St. Gallenkirch Planetsch basiert der Abfluss auf einem beobachteten Fließquerschnitt und einer rechnerischen Abschätzung der Fließgeschwindigkeit.

Fig. 4: Discharge gauges at the Suggadin mountain stream. For the gauge St. Gallenkirch Planetsch the discharge was recalculated.

Die aus dem rückgerechneten Querprofil resultierenden Abflussspitzen ergeben eine mögliche Bandbreite von $100 \text{ m}^3/\text{s}$ bis $170 \text{ m}^3/\text{s}$. In Abb. 5 sind die mittels Niederschlags-Abfluss-Simulation (HEC-HMS) generierten Ganglinien für das moderate Szenario und das Maximalszenario dargestellt. Im moderaten Szenario beträgt die Abflussspitze $100 \text{ m}^3/\text{s}$. Im Maximalszenario wird mittels des Niederschlags-Abfluss-Modells der aus den Eingangsniederschlagsdaten und verschiedenen Gebietsparametern resultierende maximal plausible Abfluss von $149 \text{ m}^3/\text{s}$ unter der Annahme sehr hoher Abflussbeiwerte bestimmt. Die aus dem beobachteten Abflussquerschnitt errechneten $170 \text{ m}^3/\text{s}$ können unter Verwendung realistischer Einzugsgebietsparameter nicht aus dem gemessenen Niederschlag nachgebildet werden.

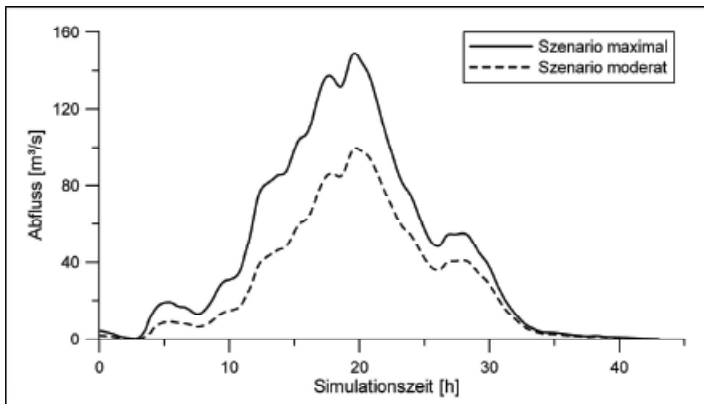


Abb. 5: Abflussganglinien des Suggadinbaches am Gebietsauslass: Szenario moderat und Maximalszenario

Fig. 5: Discharge at the outlet of the Suggadin mountain stream for the moderate scenario and the maximum scenario

Rekonstruktion der Geschiebefracht

Die aus LiDAR Daten (Laserscan) generierten Höhenmodelle entsprechen der geomorphologischen Erscheinung der Erdoberfläche zum Zeitpunkt des Fluges. Hat sich nun das geomorphologische Erscheinungsbild in Wild- bzw. Gebirgsbächen nach einem Ereignis stark verändert (Ablagerung, Seitenerosion, Tiefenerosion, etc.) so kann die rezente Veränderung durch erneute Befliegung und Messung erfasst werden. Durch einfache Subtraktion der zeitlich unterschiedlichen Höhenmodelle können potentielle Erosions- und Ablagerungsbereiche identifiziert sowie qualitativ erfasst werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es sich bei den errechneten Volumina um Raumvolumen handelt. Um auf Geschiebe-Feststoffvolumen zu kommen sind die Feinanteile und das Porenvolumen zu berücksichtigen. Des Weiteren muss angemerkt werden, dass sich mit Laserscan generierte Geländemodelle nur für nicht überflutete Bereiche eignen, da Wasser das Signal absorbiert. In Wildbachgerinnen mit aus der Wasseroberfläche herausragenden Rauigkeitselementen kann jedoch davon ausgegangen werden, dass das Gerinne hinreichend genau abgebildet wird. Durch Analyse der Punktdichten in den betrachteten Abschnitten können Problembereiche identifiziert werden. Abb. 6 zeigt das digitale Geländemodell des Mündungsbereichs Suggadinbach in die Ill. Auf dem linken Bild ist der Zustand zum Zeitpunkt der ersten Befliegung dargestellt. Auf der mittleren Abbildung kann man die durch das Augusthochwasser 2005 verursachten Ablagerungen erkennen und in der rechten Abbildung sind die aus den beiden Geländemodellen errechneten Erosions- und Ablagerungshöhen dargestellt. Die errechneten Geschiebebilanzen wurden mit Angaben zu den Baggerungen ergänzt und mit Hilfe von Luftbildern und Fotos verifiziert.

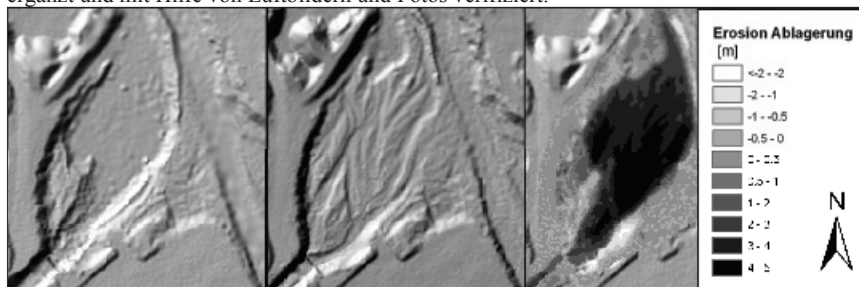


Abb. 6: Digitales Geländemodell des Mündungsbereichs Suggadinbach in die Ill vor dem Hochwasser, nach dem Ereignis und mit berechneten Erosions- und Ablagerungshöhen.

Fig. 6: Digital terrain model of the estuary of the Suggadin mountain stream into the river Ill before the flood event, after the flood and with calculated erosion and deposition heights.

Um die flächige Information als eindimensionales Geschiebefrachtendiagramm darstellen zu können, wurden die aktiven Gerinnebereiche in 50 m Abschnitte unterteilt und pro Teilfläche das Erosions- und Ablagerungsvolumen berechnet. Während des Ereignisses wurden ca. 50 000 m³ Geschiebe mobilisiert. Abb. 7 zeigt das rekonstruierte Geschiebefrachtendiagramm und das Gerinnegefälle in den einzelnen Abschnitten.

Bei Wildbachgerinnen mit stabilen Sohlstrukturen wird davon ausgegangen, dass maßgebliche morphologische Veränderungen nur durch größere Hochwässer hervorgerufen werden. In dem Zeitraum zwischen den beiden Laserscan Befliegungen (Laserscan Flug vor dem Ereignis: 10.12.2002; Laserscan Flug nach dem Ereignis: 13.11.2005) sind keine weiteren größeren Hochwässer im Einzugsgebiet bekannt.

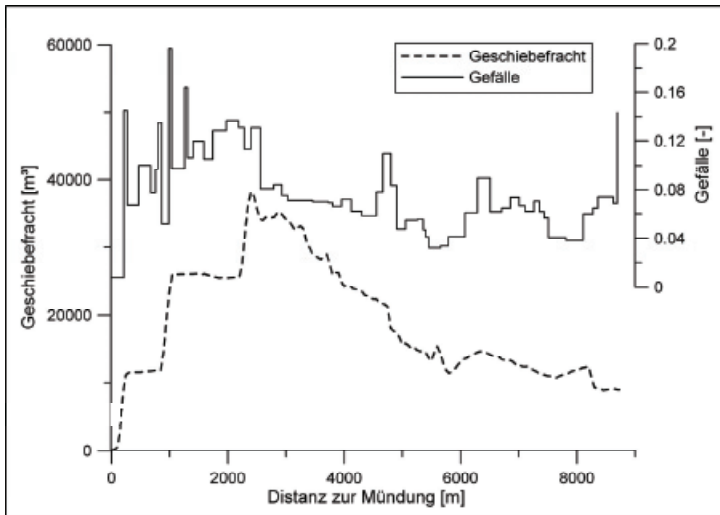


Abb. 7: Rekonstruierte Geschiebefracht für das Hochwasserereignis mit Angabe des Gerinnegefälles der einzelnen Abschnitte

Fig. 7: Transported bedload volumes for the flood event with illustration of the channel slope for the reaches

DAS SIMULATIONSMODELL SETRAC

Es existieren viele Sedimenttransportmodelle die erfolgreich an Flüssen angewandt wurden, aber nur eine geringe Anzahl eignet sich für die Modellierung von steileren Gerinnen (Papanicolaou et al. 2004). Ein eindimensionales Geschiebetransportmodell wurde zur Rekonstruktion der Transportprozesse im Suggadinbach angewandt.

Das eindimensionale Geschiebetransportmodell SETRAC (Rickenmann et al. 2006) wurde an der Universität für Bodenkultur in Wien entwickelt. SETRAC ist das Akronym für Sediment Transport Model in Alpine Catchments. Die Abflussganglinien werden als kinematische Welle durch ein Gerinnesystem geleitet. Verschiedene Ansätze zur Berechnung des Fließwiderstands stehen dem Anwender zur Auswahl. Zusätzlich kann der Einfluss der Formrauigkeit auf den Geschiebetransport berücksichtigt werden. Verschiedene Ansätze zur Berechnung des Geschiebetransports (Rickenmann 1991, Smart & Jäggi 1983) stehen zur Verfügung. Die Querprofile werden zur Berechnung des Pegelschlüssels nach der Streifenmethode aufgeteilt. Die Anzahl der Streifen richtet sich dabei nach der Komplexität des Querprofils. So können auch gegliederte Profile gut abgebildet werden. In jedem Streifen wird neben der Fließgeschwindigkeit auch der Geschiebetrieb berechnet. Ein gegliederter Querschnitt mit Visualisierung des Geschiebetransports ist in Abb 8 dargestellt. In SETRAC können auch Änderungen der Gerinnegeometrie durch Auflandungen bzw. Erosion berücksichtigt werden. Wobei jedem Berechnungsabschnitt eine mögliche Erosionstiefe zugewiesen wird. Weiters stehen für den Geschiebetransport ein Einkorn- sowie ein Mehrkornmodell zur Verfügung. Bei der Wahl des Mehrkornmodells wird zwischen einer aktiven Austauschschicht und einer erodierbaren Unterschicht unterschieden.

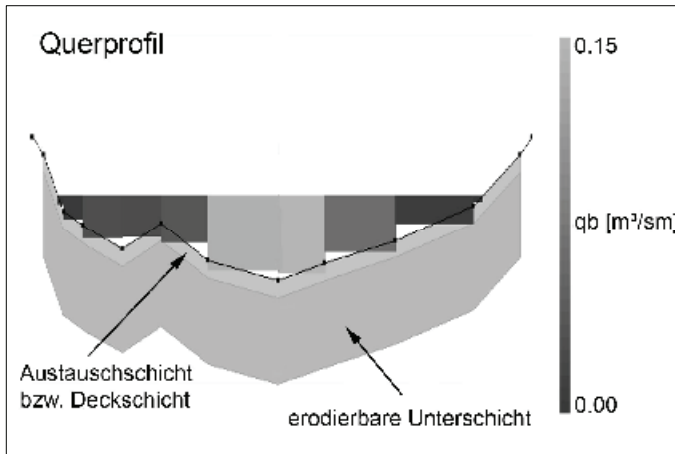


Abb 8:
 Gliedertes
 Querprofil mit
 Visualisierung des
 spezifischen
 Geschiebetransports
 in den einzelnen
 Streifen.

Fig. 8 Structured
 cross-section with
 visualization of the
 specific bedload
 transport within the
 stripes.

SIMULATIONEN

Aufgrund der Unsicherheiten bei der Rekonstruktion der Abflussganglinie wird eine Bandbreite der möglichen Werte berücksichtigt. Dazu wurden die Simulationen mit einem moderaten, sowie einem maximalen Abflussereignis durchgeführt. Mögliche Erosionstiefen wurden für die einzelnen Abschnitte im Feld geschätzt und liegen zwischen 0 m für Bereiche mit nicht erodierbarer Sohle und 10 m für Bereiche mit unlimitierter Geschiebeverfügbarkeit. Für die Simulationen wurde SETRAC als Einkornmodell ohne Sohlveränderung verwendet.

Verwendete Formeln im SETRAC Modell

Die Fließgeschwindigkeit in steilen Gerinnen kann als Funktion des Gefälles und der relativen Abflusstiefe ausgedrückt werden (Rickenmann et al. 2006):

$$v = \frac{1.93g^{0.5}h^{1.5}S^{0.5}}{d_{90}} \quad (1)$$

wobei g die Erdbeschleunigung, v die Fließgeschwindigkeit, h die Abflusstiefe und S das Energieliniengefälle ist. Der d_{90} ist die charakteristische Korngröße wobei 90% Gewichtsanteil des Sediments feiner ist.

Für steile Gefälle entwickelte Rickenmann (1990) eine Formel zur Berechnung des Geschiebetransports:

$$q_b = 12.6 \left(\frac{d_{90}}{d_{30}} \right)^{0.2} (q - q_c) S^{2.0} (s - 1)^{-1.6} \quad (2)$$

mit

$$q_c = 0.065(s - 1)^{1.67} g^{0.5} d_{50}^{1.5} S^{-1.12} \quad (3)$$

wobei q_b die spezifische Geschiebetransportrate, q der spezifische Abfluss und q_c der kritische spezifische Abfluss bei Transportbeginn ist. Der d_{30} bzw. d_{50} sind die charakteristischen Korngrößen wobei 30% bzw. 50% Gewichtsanteil des Sediments feiner ist. Mit s wird das Verhältnis zwischen Feststoff- und Fluidichte bezeichnet. Um Formverluste berechnen zu können wird der Anteil der Kornrauigkeit an der Gesamtrauigkeit als Funktion des Gefälles und der relativen Abflusstiefe ausgedrückt (Rickenmann 2005).

$$\frac{n_r}{n_{tot}} = 0.083S^{-0.35} \left(\frac{h}{d_{90}} \right)^{0.33} \quad (4)$$

wobei n_r der Manning Beiwert bezogen auf die Kornrauigkeit und n_{tot} der Manning Beiwert für die Gesamtrauigkeit ist.

Der Anteil des Energieliniengefälles bezogen auf die Kornrauigkeit S_{red} kann wie folgt berechnet werden (Rickenmann et al. 2006):

$$S_{red} = S \left(\frac{n_r}{n_{tot}} \right)^a \quad \text{mit } 1 \leq a \leq 2 \quad (5)$$

Ein Vergleich zwischen den einzelnen Simulationen und der rekonstruierten Geschiebefracht ist in den Abb. 9 und Abb. 10 dargestellt. Abb. 9 zeigt die Simulationsergebnisse für das moderate und das Maximalszenario. Trotz Limitierung der Geschiebeverfügbarkeit entsprechend der Feldaufnahmen, wird der Transport beim Maximalszenario um den Faktor 10 überschätzt. Auch das moderate Szenario resultiert in einem zu hohen Transport.

Die gleichen Simulationen sind auch mit Berücksichtigung von Formverlusten nach Gleichung 4 gerechnet worden und die Ergebnisse in Abb. 10 dargestellt. Der Exponent a in der Gleichung 5 wurde 1 gesetzt.

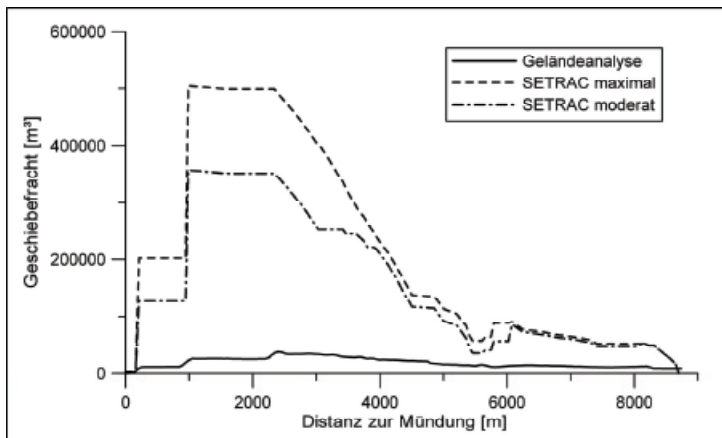


Abb. 9: Vergleich der rekonstruierten Geschiebefracht mit SETRAC Simulationen mit moderater und maximaler Ganglinie ohne Berücksichtigung von Formverlusten

Fig. 9: Comparison of the reconstructed bedload volume with SETRAC Simulations for the moderate and maximum hydrograph scenario without consideration of form roughness losses

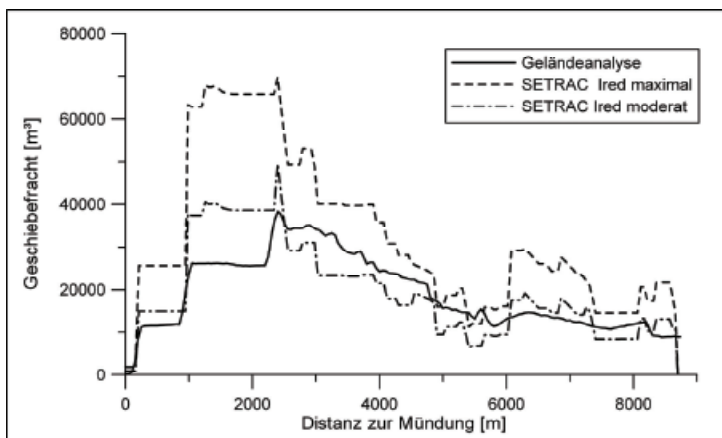


Abb. 10: Vergleich der rekonstruierten Geschiebefracht mit SETRAC Simulationen mit moderater und maximaler Ganglinie mit Berücksichtigung von Formverlusten

Fig. 10: Comparison of the reconstructed bedload volume with SETRAC Simulations for the moderate and maximum flow scenario with consideration of form roughness losses

DISKUSSION

Die eindimensionalen Simulationen des Geschiebetransports zeigen eine deutliche Überschätzung der effektiv beobachteten Geschiebefracht während des Hochwasserereignisses von August 2005 für den Suggadinbach. In kleineren, steilen Einzugsgebieten kann durch die Anwendung von im Labor hergeleiteten Geschiebetransportformeln der tatsächliche Transport um bis zu drei Größenordnungen überschätzt werden (Rickenmann 2001). Das Gerinnegefälle im Suggadinbach liegt im Bereich von etwa 4% bis 14 % (Abb. 7). SETRAC wurde auch in steileren Wildbacheinzugsgebieten angewandt und es zeigt sich ein ähnliches Verhalten. Beim durchschnittlich 25% steilen Seßlabach (Tirol) kann der beobachtete Geschiebetransport auch nur mit der Berücksichtigung von Formverlusten nachgebildet werden (Rickenmann et al. 2006). Ein sehr ähnliches Verhalten zeigen die Simulationen für den durchschnittlich 24% steilen Schnannerbach (Tirol) (Chiari und Rickenmann 2007). Bei den Augusthochwässern in der Schweiz wurden für Gerinnegefälle größer als etwa 5% auch deutlich geringere Geschiebefrachten beobachtet, als sie mit einfachen Geschiebetransport Formeln berechnet werden (Rickenmann et al. 2008). Auch Rathburn & Wohl (2001) und Palt (2001) berichten von Überschätzungen der effektiv transportierten Geschiebefrachten. Neben Sedimentlimitierung kann diese Tatsache auch teilweise durch Formverluste erklärt werden. Die Rauigkeit eines unregelmäßigen Gerinnebetts kann nicht hinreichend durch eine Perzentile einer Kornverteilung beschrieben werden (Aberle & Smart 2003).

Andere Autoren berichten über den Beitrag von Becken – Absturz Sequenzen zur Gesamtrauhigkeit (z. B. Lee and Ferguson 2002, Wohl and Thompson 2000). Die Arbeit von Zimmermann und Church (2001) lässt schließen, dass möglicherweise nur das Energieliniengefälle innerhalb der Becken für den Geschiebetransport zur Verfügung steht.

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Die Simulationen des Augusthochwassers 2005 bestätigen die Eignung von SETRAC für die Geschiebetransport-Modellierung bei steilen Gefällen. Jedoch zeigen die Simulationsergebnisse, dass neben der limitierten Geschiebeverfügbarkeit der Einfluss von Formverlusten bei der Anwendung von eindimensionalen Geschiebetransport-Modellen nicht vernachlässigbar ist. Durch eine reine Geschiebelimitierung in den einzelnen Gerinneabschnitten kann der zeitliche Verlauf des Geschiebetransports nicht richtig abgebildet werden, da die Geschiebespeicher schon mit der steigenden Hochwasserwelle entleert werden. Die Verwendung des totalen Energieliniengefälles führt zu einer Überschätzung der Transportkapazität in natürlichen Gerinnen. Durch die Einführung eines reduzierten Energieliniengefälles zur Berücksichtigung der durch Formrauigkeit verursachten Verluste, kann der beobachtete Transport viel besser nachgebildet werden. Um mehr Erfahrung im Bereich der Geschiebetransport-Modellierung zu sammeln wird SETRAC in weiteren Einzugsgebieten in Österreich, der Schweiz und Frankreich zur Rückrechnung von extremen Ereignissen angewandt.

FORMELZEICHEN

- a* variabler Exponent
- d*₃₀ charakteristische Korngröße, wobei 30% Gewichtsanteil des Sediments feiner ist (m)
- d*₅₀ charakteristische Korngröße, wobei 50% Gewichtsanteil des Sediments feiner ist (m)
- d*₉₀ charakteristische Korngröße, wobei 90% Gewichtsanteil des Sediments feiner ist (m)
- g* Erdbeschleunigung (m/s²)
- h* Abflusstiefe (m)
- n*_{tot} Manning Beiwert für die Gesamtrauhigkeit (s/m^{1/3})
- n*_r Manning Beiwert bezogen auf die Kornrauigkeit (s/m^{1/3})
- q* spezifischer Abfluss (m³/sm)
- q*_b spezifische Feststofftransportrate (m³/sm)
- q*_c kritischer spezifischer Abfluss beim Transportbeginn (m³/sm)
- S* Energieliniengefälle
- S*_{red} Anteil des Energieliniengefälles bezogen auf die Kornrauigkeit
- s* Verhältnis zwischen Feststoff- und Fluidsdichte
- v* Fließgeschwindigkeit (m/s)

LITERATUR

- Aberle, J. & Smart, G.M. (2003): The influence of roughness structure on flow resistance on steep slopes. *J. Hydraul. Res.*, 41(3); pp. 259–269.
- Chiari, M., Rickenmann, D. (2007): The influence of form roughness on modelling of sediment transport at steep slopes. In: Kostadinov, St., Bruk, St., Walling, D. (Hrsg.), *International Conference, Making 100 years of experience with erosion and torrent control in Serbia, Conference Proceedings on CD, Erosion and torrent control as a factor in sustainable river basin management*, 25.-28. September 2007, Belgrad.
- Lee, A. J. and Ferguson R. I. (2002): Velocity and flow resistance in step-pool streams, *Geomorphology*, Vol 46; pp.59-71.
- Palt, S. (2001): Sedimenttransporte im Himalaya-Karakorum und ihre Bedeutung für Wasserkraftanlagen. Mitteilung 209 des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe.

- Papanicolaou, A. N., Bdour, A., Wicklein, E. (2004): One-dimensional hydrodynamic/sediment transport model applicable to steep mountain streams, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 42, No. 4, 357-375
- Rathburn, S.L. and Wohl, E.E. (2001): One-dimensional sediment transport modeling of pool recovery along a mountain channel after a reservoir sediment release. *Regulated Rivers: Research & Management*, 17(3): 251-273.
- Rickenmann, D. 1990: Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Mitteilung Nr. 103.*
- Rickenmann, D. (1991): Hyperconcentrated flow and sediment transport at steep slopes. *Journal of Hydraulic Engineering* 117(11): 1419-1439.
- Rickenmann, D. (1996): Fließgeschwindigkeit in Wildbächen Gebirgsflüssen. *Wasser, Energie, Luft* 88(11/12): 298-304.
- Rickenmann, D. (2001): Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. *Water Resources Research*, Vol. 37, No. 12; pp. 3295-3305.
- Rickenmann, D. (2005): Geschiebetransport bei steilen Gefällen. *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Mitteilung Nr. 190, 107-119.*
- Rickenmann, D., Chiari, M., Friedl, K. 2006 (2006): SETRAC – A sediment routing model for steep torrent channels. In: Ferreira, R.M.L., Alves, E., Leal, J., Cardoso, A. (Eds.), *River Flow 2006, proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics*, Lisbon, Portugal, 6-8 September 2006, Taylor & Francis, London, Volume 1, 843-852; ISBN: 0-415-40815-6.
- Rickenmann, D. Hunzinger, L. Koschni, A. (2008): Hochwasser und Sedimenttransport während des Unwetters vom August 2005 in der Schweiz, In: *Interpraevent: Tagungsband Internationales Symposium Interpraevent, 2008, Dornbirn*
- Smart, G.M. and Jäggi, M.N.R. (1983): Sedimenttransport in steilen Gerinnen. *Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Mitteilung Nr. 64.*
- Wohl, E. E., and Thompson D. M. (2000): Velocity characteristics along a small step-pool channel, *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol.25, pp. 353-367.
- Zimmermann, A. and Church M. (2001): Channel morphology, gradient profiles and bed stresses during flood in a step-pool channel, *Geomorphology*, Vol. 40, pp. 311-327.

REMEDIAL WORKS AGAINST DEBRIS FLOWS AFTER THE 2000 FLOODS IN VALLE D'AOSTA

Paolo Di Pietro¹, Marco Tinti²

ABSTRACT

In the Aosta Valley the flood event of October 2000 will be remembered as one of the heaviest events occurred over the last 250 years, in terms of destruction, loss of human lives, magnitude and spreading of the morphological changes on the territory.

Landslides, mudflows concentrated on the mid reaches of the main valley resulted in up to millions of cubic meters of debris flows which caused to the villages of Miseregne, Fenis, Rovarey and Nus serious threats to the safety of the houses and the nearby infrastructures. After the event, recovery works took place in the following year. They included, from the uphill side downwards, flexible catch fences and a combination of gabion retaining works perpendicular to the main slope for consolidation and drainage purposes. In order to harmonize these structures with the surrounding environment, soil bioengineering practices like the incorporation of vegetative pockets followed by hydro seeding treatments were used. On the lower side, where the gradients are less steep, the soil surface was cleaned, and just graded and seeded. At the toe of most sites, reinforced soil embankment barriers were built with the purpose to deflect future mudflows reaching the valley bottom. They were chosen due to their ability to incorporate vegetative soil allowing a naturally green face.

In the following years the recovery works in the Aosta Valley were subject to constant monitoring from the local authorities. Results have been satisfactory and encouraging, because they show that the principle of using different type of structures from the top of the hillside downwards, is a fundamental issue when dealing with vast areas subject to unpredictable and hazardous debris flows. This project is deemed of useful guidance to the engineering community when dealing with similar project scenarios.

Keywords: Debris flows, landslides, soil bioengineering, ecological systems

BACKGROUND

In the Aosta Valley the flood event of October 2000 will be remembered as one of the heaviest events occurred over the last 250 years, in terms of destruction, loss of human lives, magnitude and spreading of the morphological changes on the territory.

The effects were by far worse than two previous flooding episodes of September 1993 and July 1996.

Further to the exceptional rainfall occurred on October 12th through the 16th, equivalent to 28-55% of the yearly average precipitations, with a peak in Cogne up to 65%, where 454 mm

¹ Project Manager, Officine Maccaferri S.p.A., Via Agresti, 6, 40123 Bologna, Italy (tel. +39 051 6436000, fax +39 051 236507, email: paolo.dipietro@maccaferri.com)

² Forestry Engineer, Geosistemi, Strada Calcini, 6/8, 14030 Castagnole M.to, Asti, Italy (tel. +39 0141 292620, email: info@geosistemi.it)

were recorded, a vast region of the territory went through a geological rejuvenating particularly relevant in some watersheds.

Landslide occurrences concentrated mainly among the mid reaches of the main valley.

Particularly relevant were mudflows in the area near the village of Fenis, with detachment of the vegetative cover due to the presence of large heavy debris, hence resulting in a vast flooding of the conoid.

Superficial landslides were followed by large debris flows ranging from few thousands to millions of cubic meters, with serious threats to the safety of the housing developments and the nearby infrastructures. The villages hit by the most severe damages were Miseregne, Fenis, Rovarey and Nus. The magnitude and the effect of such deep landslides would not be so remarkable if the mid October rainfall event would not be preceded by the heavy rainfalls of September 28 till October 1st over the whole north western side of the alpine region, reaching up to 200mm rainfall precipitations on the valley bottom. This kept the soils in the whole subsurface hydrographic net in a saturation state, resulting in a high risk of instability as it occurred two weeks later. Following are few images (Figs. 1-4) showing details of the damaged areas right after the October 2000 flood. The width of the landslide conoid was variable between 30 and 80 m in most areas.



Fig. 1 : Oct. 2000 – Miseregne – view of main landslide from downhill side up



Fig. 2 : Oct. 2000 – Miseregne - View of main landslide from the uphill side down



Fig. 3 : Oct. 2000 – Miseregne - View of main landslide from the uphill side down



Fig. 4 : Oct. 2000 – Nus, house hit by the debris

OVERVIEW OF THE INTERVENTIONS

Design and planning of the recovery works started in March 2001.

The reconstruction started in the same year and was completed in 2002 for the most part. The area subject to the largest damage was Miseregne. Depending on the location on the slopes, several treatments were used for the recovery works.

Starting from the uphill side downwards, the interventions included a combination of various consolidation works (Fig. 5).

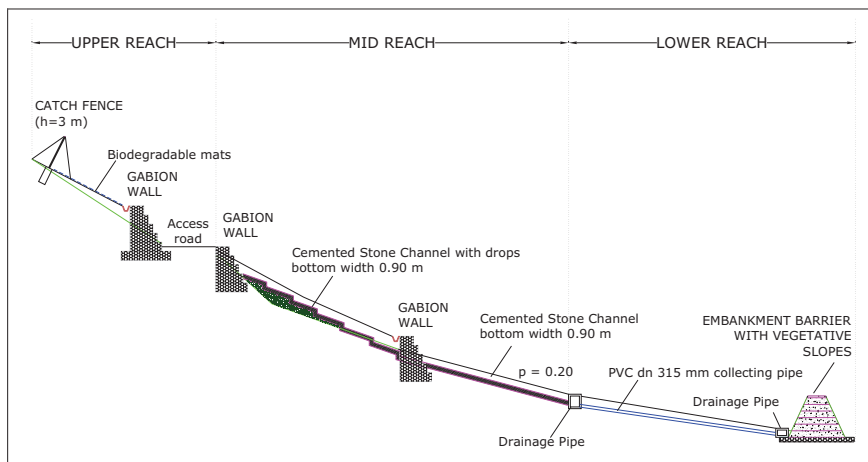


Fig. 5: Typical longitudinal profile scheme of the recovery works

The upper reaches

On the top hill side with the gradients steeper than 20%, a first line of protection was made by flexible catch fences to prevent the large rocks from falling down from the top of the hillside were used (Fig.6). These light structures were placed as close as possible to areas where large boulders may dislodge from the slope. In such manner it was anticipated that the maximum energy they will have to withstand will be moderate, since chances that boulders may travel a long distance before their impact against the fence would be low. Additionally, during the flood of October 2000 it was observed that large boulders, detached from the upper sections and rolling down the slope, had magnified the devastating effect of the debris carried by the flow. By preventing large boulders to roll down the slope with the fines, should an event of such magnitude occur in the future the amount and the impact of the debris reaching the bottom of the valley would be drastically reduced. Furthermore, the possibility to separate the large debris on the uphill section will allow an easier maintenance of the structures in a future event. The presence of an existing haul road, once reopened to the traffic, allowed to access the upper section of the damaged slopes and to install the flexible barriers with relatively small efforts.



Fig. 6 : Detail view of a flexible catch fence

Downhill from the first barrier line of catch fences, biodegradable natural fiber mats and geomats were used to prevent surface erosion, and favor fast vegetation regrowth in the damaged areas were also used, followed by a hydro seeding treatment (Figs. 7, 8).



Fig. 7: Upper reach of the conoid, Biodegradable mats and hydro seeding



Fig. 8: Upper reach of the conoid, Turf reinforcement mats and hydro seeding

The mid reaches

From the middle reaches downhill (with gradients approx. between 10-20%), a series of gabion drainage works, integrated in a network of collectors, was used. Eventually a last barrier using reinforced soil embankments was used as the ultimate protection barrier, to deviate the path of future debris flows to a safe area far from the housings.

Since debris flows are originated by the formation of an unstable cortical layer of saturated soil, in most cases remediation measures shall include adequate drainage systems to ensure that the soil will still maintain its natural shear strength above the stability threshold.

To reestablish adequate drainage and geotechnical stability to the surface on the mid reaches, a series of gabion retaining structures was laid perpendicularly to the main gradient line. In order to harmonize these structures with the surrounding environment, vegetative pockets using jute netting followed by a hydro seeding treatment were also applied (Figs. 9, 10).



Fig. 9: overview of gabion drainage works



Fig. 10: view of the vegetative pockets

Gabions were chosen by the landscape engineers because of their ability to combine three main features in one system: 1) the strength to resist to the external forces due to the combined effect of the rock confined within the steel basket, 2) the high draining capacity due to their porous structure which prevents hydrostatic pressures from building up against the structure behind the wall, and 3) the ability to blend with the natural environment.

The presence of voids inside a component made of solid natural rock, makes these structures suitable for the incorporation of vegetative systems. During installation, on the outer side of the gabion structure a series of vegetative pockets were installed. This technique consists in unrolling a strip of jute netting in a channel like shape longitudinally to the gabion wall (Figs. 11, 12).

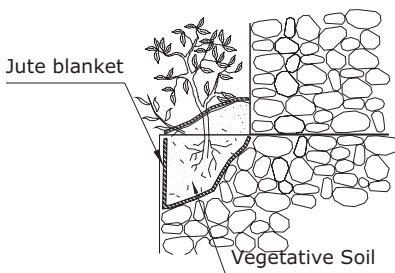


Fig. 11: detail of vegetative pocket



Fig. 12: view of vegetative pocket

In such way the jute will work as a confinement for the vegetative soil which will be then filled in. Once soil filling is complete and leveled to the top of the gabion course, the jute on the upper lateral sides is folded and the vegetative pockets are closed.

A drainage trapezoidal channel made with masonry cemented rock was laid in the center sections to convey the rainfall run off along the maximum gradient line (Fig.13). Alternatively for some areas, in order to control the flow conveyance, lateral timber piles (obtained using the logs from trees dragged by the flow) and drainage works were also laid in a fishbone pattern perpendicular to the flow direction (Fig.14).



Fig. 13: view of the drainage channel



Fig. 14: view of alternative drainage works

The lower reaches

Ultimately, on the lower side, where the gradients are moderate (less than 10%), the soil surface was cleaned, and just graded and seeded.

At the toe of most sites, as the last line of protection works, a series of reinforced soil embankment barriers were built. Their purpose will be in the event of future debris flows, to act as a passive barrier diverting mudflows on a safe sedimentation area at a safe distance away from the nearby housings. The morphology of the territory in the region is such that gradients vary very rapidly in a short distance (from steep to moderate) generating high risks of debris flows and landslides. In any event the landscape engineers decided that a safety barrier needed to provide protection to the ever increasing community living in the area at the bottom of the valley. The overall dimensions of the embankment, 4.5 m high, with slopes at 65 degrees, and a 2 m top width, were chosen to properly withstand the impact load of the debris for a design event equivalent to the one observed in October 2000.

The reinforced soil embankment barrier

The embankment barrier consists of a reinforced soil structure made of several layers with 0.73m vertical lifts of continuous steel mesh, wrapped around on the front face on both sides. Units are connected together prior to soil filling and compaction, proceeding by successive

strata until the top of the embankment is reached. Units have different sizes to match with the trapezoidal cross section. The cross section is reported in Fig.15.

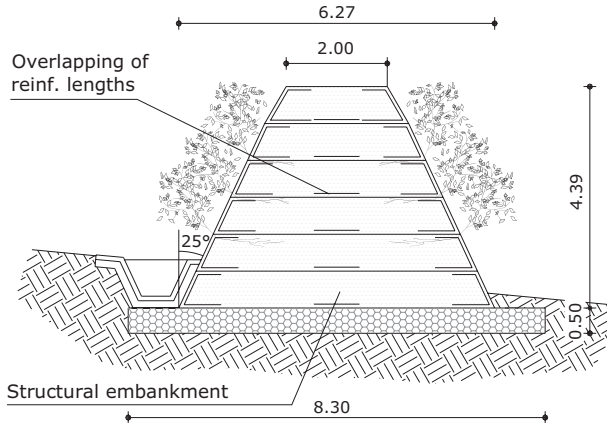


Fig. 15: Typical cross section of debris flow embankment

The embankment overall dimensions are 4.39 m in height, 6.27 m as the base width, 2 m as the embankment top width. Slopes are at 65 deg to the horizontal on both sides, allowing an effective hydro seeding treatment on both faces. This will ultimately favor the formation of a dense vegetative cover on the surface resulting in both an overall improvement of the aesthetics as well as in a better structural resistance.

The structural fill is made of granular material with high permeability, following A2-4 and/or A-2-5 (according to AASHTO classification). Filling and compaction operations were done using conventional earth moving equipment, at 250-300 mm lifts.

The embankment foundation is made by a 500 mm gabion apron (Fig.16), which will provide further draining capacity to the whole structure. A small channel on the uphill side lined with an antierosive geomat was included, with the purpose to catch all the surface runoff and drain it away.



Fig. 16: Rovarey, deflecting wall at the beginning of construction



Fig. 17: Rovarey, deflecting wall at end of construction

Advantages of building reinforced soil embankments were twofold: a) compared to conventional earth filled embankments they require a limited base width (sloping the sides at 65 degrees) hence a lesser amount of fill (Figs.17, 18), b) due to their ability to incorporate vegetative soil they allow a naturally green face to develop along their slopes which will soon turn the structure to blend with the natural surrounding (Fig.19). Furthermore, the vegetation growth will provide additional strength to the embankment through the rooting and the overall vegetation establishment. Appropriate drainage measures were also used to ensure the stability of the embankment's foundation.



Fig. 18: Miseregne, openings to let the flow through without pressure build-up



Fig. 19: Nus, deflecting wall at downstream end

The design of debris flow embankments was made assuming they shall withstand the dynamic impact generated by a colliding mass (Kar, et al). This assumption, although conservative in its whole, was chosen due to the absence of specific tests and of a more accurate numerical simulation method.

The Kar's theory used, assumes that penetration of a mass impacting against a wall barrier is given by:

$$Z = \frac{27183}{\sqrt{Y}} \cdot N \cdot \left(\frac{E}{E_s} \right)^{1.25} \cdot \frac{P}{d^{2.31}} \cdot \left(\frac{V}{1000} \right)^{1.25}$$

Where $Z = (z/2d)^2$; if $z/d \leq 2$ $Z = (z/d - 1)$; if $z/d \geq 2$

and

Y = soil compression resistance

N = shape factor (1 very sharp – 0.72 flat)

E = elastic modulus of rock [kN/m²]

Es = elastic modulus of steel = 206850 · 10³ [kN/m²]

P = weight of rock = 2000 [kg]

V = impact velocity (horizontal component)

The soil compression resistance is assumed based on failure criteria proposed by T.Kawamura for reinforced soils

$$\tau = c + \frac{P_r}{A_s} \cdot (\sin \vartheta \cdot \tan \phi + \cos \vartheta) + (1 + \beta) \cdot \sigma_n \cdot \tan \phi$$

where

ϑ = failure plane ref. to horizontal

ϕ = soil friction angle

β = 0.2 ÷ 0.4, confining factor, to account for the resistance to expansion induced in the granular fill

Velocities considered in the analysis are 20 and 30 m/s, assuming average values for landslides are in the range of 10 ÷ 30 m/s.

Results show that, for the assumed energy and dimension values, max penetration values of 1.8 m were obtained; taking into account the conservativeness of the Kar relationship, max penetration values in the range of 1-1.5 m are expected still with a safety margin against breakthrough.

CONCLUSIONS

Since the year 2001, the training works of Fenis, Miseregne, Rovarey and Nus in the Aosta Valley were subject to constant monitoring from the Regional Authority (Figs. 20, 21).

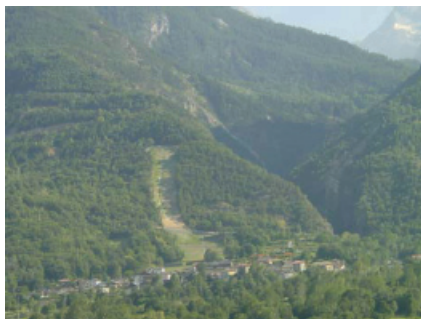


Fig. 20: 2002, aerial view of the Miseregne area.



Fig. 21: 2002, Rovarey, view of a vegetated barrier

Results have been satisfactory and encouraging. They have shown that the principle of diversifying the type of structures from the top hill down is fundamental when dealing with vast areas subject to unpredictable and hazardous debris flows. Another positive reason is that all structures used were particularly suitable for incorporation of soil bioengineering techniques. This aspect was fundamental to provide a sustainable ecologically balanced recovery. In this regard all the recovery works demonstrated the ability to blend with the surrounding environment, soon reestablishing the original and natural wildlife of the valley. Particularly successful in this regard were the vegetative embankment barriers where vegetation took over right after the first season.

Most structures chosen required minimal use of artificial material. They were designed with the engineering principles to combine the geotechnical and hydraulic stability with the modern environmentally balanced practices of soil bioengineering.

Over the last few years, the ever increasing occurrence of debris flow natural disasters in Europe, has raised the concern among the engineering community on how general guidance shall be provided for a sustainable environmentally balanced approach, in order to correctly address these project scenarios, or at least to provide a sensible engineering guidance in this regard.

Since technical literature on debris flows is still uncharted for the most part, it is believed that engineers could start learning from the field experience, by closely monitoring the environment where structures have been installed. This will ultimately allow to gather further data on how tests should be performed and to calibrate the field empirical results with the future laboratory research.

- Arpa Piemonte, Agenzia Regionale per la Produzione Ambientale (2003) – *Eventi Alluvionali in Piemonte, Evento Alluvionale Regionale del 13-16 ottobre 2000*, ed AGES Arti Grafiche Torino.
- Nimbus, Rivista della Società Meteorologica Italiana Onlus (N.2/2001) – *Alluvione Alpi Occidentali ottobre 2000*, ed. Graficat, Torino.
- Kar A.K., J.Of the Srtic - *Projectile penetration into buried structures*, Div. ASCE, 1978
- Paolo Paronuzzi, *Criteri di progettazione dei rilevati paramassi*; Geologia Tecnica 1989
- Burroughs D.K. *Full scale geotextile rock barrier wall testing, analysis and prediction*; Geosynthetics 1993, Vancouver, 1993
- A.Lazzari, C.Troisi, G.Arcuri - *Protezione di nuclei abitati contro la caduta di massi mediante rilevati in terra rinforzata: esperienze Regione Piemonte*, Atti della giornata di studio sulla caduta massi, Torino, 24/10/1996
- Recent study on rockfall control in Japan, Joint Japan-Swiss Scientific Seminar on Impact Loads by Rockfalls and Design of protection structures, Kanazaka, Japan, 1998
- A.Carotti, D.Peila, P.Rimoldi - *Mathematical modelling of geogrid reinforced embankments subject to high energy rock impacts*, Eurogeo 2000, Ottobre 2000
- D.Peila, C.Castiglia, C.Oggeri, G.Guasti, P.Recalcati, F.SAssudelli - *Full scale tests on geogrid reinforced embankments for rockfall protection* - Eurogeo 2000, Ottobre 2000
- T: Kawamura, T.Umezaki, HOchiai, N.Yasufuku, T.Hirai - *Confining effect of geogrid-reinforced soil: introduction into design method*, Eurogeo 2000, Ottobre 2000.

SEDEX – EINE PRAXISTAUGLICHE METHODIK ZUR BEURTEILUNG DER FESTSTOFFLIEFERUNG IN WILDBÄCHEN

SEDEX – A PRACTICAL TOOL TO ESTIMATE SEDIMENT DELIVERIES IN MOUNTAIN TORRENTS

Eva Frick^{1/2}, Hans Kienholz², Heinz Roth³

ZUSAMMENFASSUNG

Die Beurteilung von Wildbächen erfordert die Erhebung, Analyse und Interpretation zahlreicher Daten und Informationen. Ein wichtiger Bestandteil ist die Abschätzung der Feststofflieferung. SEDEX (SEDiments and EXperts) ist eine neue Methodik zur Herleitung der Feststoff-Szenarien, welche neben den hydrologischen Kenngrößen und dem Verlagerungsprozess bestimmen, mit welchen Prozessen am Kegelhals gerechnet werden muss.

SEDEX führt den Anwender mittels eines Manuals mit Checklisten sowie einer dazugehörigen Software systematisch durch alle Geländeaufnahmen und Auswertungen.

Der Anspruch der Praxistauglichkeit bedingt, dass SEDEX effizient – d.h. innert nützlicher Frist – auf einen Wildbach anwendbar ist. Besonderer Wert wird dabei auf eine gute Nachvollziehbarkeit und hohe Transparenz gelegt. Entscheidend für die Qualität der Beurteilung ist, dass auch Informationen betreffend der Bandbreite der Resultate erhoben werden. Das Bewusstsein für diese Unsicherheiten ist wichtig, wenn die Ergebnisse der Gutachten beispielsweise in der Bemessung von Schutzbauten oder in der Raumplanung umgesetzt werden.

Keywords: Wildbachbeurteilung, Feststofflieferung, praxistaugliches Beurteilungsverfahren, Berücksichtigung der Unsicherheiten

ABSTRACT

For the evaluation of mountain numerous data and information have to be collected, analysed and interpreted. Thereby one important element is the assessment of sediment deliveries. SEDEX, an acronym standing for SEDiments and EXperts, is a project with the aim of

¹ tur gmbh, Promenade 129, CH-7260 Davos-Dorf, Switzerland (phone: +41(0)81 420 15 34, fax: +41(0)81 420 15 32, e-mail: frick@tur.ch)

² University of Bern, Geographical Institute, Hallerstrasse 12, CH-3012 Bern, Switzerland (e-mail: efrick@giub.unibe.ch, kienholz@giub.unibe.ch)

³ Civil Engineering Office of the Canton of Berne, Department of Flood Protection, Reiterstrasse 11, CH-3011 Bern, Switzerland (e-mail: heinz.roth@bve.be.ch)

designing a practical method to estimate the sediment deliveries for events with certain recurrence periods. This tool needs to be linked with other assessment methods, such as runoff estimation and the debris flow potential.

SEDEX consists of different tools, such as a manual with checklist and a corresponding software. The method is designed to systematically guide a user through all the field work and analysis steps.

The requirement of being a method for practice implies that SEDEX is applicable to a catchment within a short time. This means it has to be a handy and very efficient tool. Furthermore, the new proceeding ensures a good traceability and transparency, which are both essential characteristics in the quality management of a project.

For the quality of the results, exact data is just as important as information about the range of uncertainty. The awareness of uncertainties is crucial when the findings of an expertise are implemented e.g. in the design of countermeasures or land use planning.

Keywords: Assessment of mountain torrents, sediment delivery, practical tool for assessment, awareness of uncertainties.

ZIELSETZUNG

SEDEX verfolgt das Ziel, ein praxistaugliches Beurteilungsverfahren für die Abschätzung von ereignisspezifischen Feststofffrachten in Wildbächen zur Verfügung zu stellen. Dies primär für Wildbäche mit Einzugsgebieten von weniger als 10 km² im alpinen und voralpinen Raum.

Die Methodik konzentriert sich auf die Erhebung, Analyse und Umsetzung der Grössen bezüglich Feststoffmobilisation und -verlagerung. Die Zahlen zur Feststofflieferung am Kegelhalss sind ein Teil der nötigen Grundlagen für die Gefahrenbeurteilung. Um Aussagen zur Gesamtbeurteilung eines Wildbaches zu formulieren, muss SEDEX mit Methoden zur Abflussabschätzung, Schwachstellenanalyse und Schutzbautenbeurteilung kombiniert werden.

Bezüglich Jährlichkeiten orientiert sich SEDEX an den Szenarien, welche in der Praxis der Schweiz für die Gefahrenbeurteilung und Massnahmenplanung angewandt werden, d.h. an Ereignissen mit theoretischen Wiederkehrperioden von bis 30, bis 100 und bis 300 Jahren (BWW et al., 1997).

ZIELPUBLIKUM

SEDEX soll für verschiedene Anwendergruppen Nutzen bieten. Fachleute aus privaten Ingenieurbüros, welche mit Gefahrenbeurteilungen (für Gefahrenkarten, Verbauungsprojekte) beauftragt sind, sollen die Feststofflieferung – bei gleichem oder reduziertem Zeitaufwand – besser, vergleichbarer und vor allem mit grösserer Nachvollziehbarkeit für Aussenstehende beurteilen können. Für Wasserbaufachleute der Verwaltung soll die neue Beurteilungssystematik eine bessere Nachvollziehbarkeit der Gutachten und eine gut handhabbare Hilfe bei Stichproben im Gelände liefern. Wer in die Wildbachbeurteilung einsteigt, hat mit dem SEDEX Manual ein Nachschlagewerk, das mithilft, bestehende Gutachten und deren Herleitung nachvollziehen zu können.

Obwohl SEDEX auch für weniger erfahrene Benutzer anwendbar sein soll, sind für die Beurteilung eines Wildbaches umfassendes Expertenwissen und viel Erfahrung unerlässlich. Trotz Anleitungen und Vorgaben bleiben Ermessensspielräume, die stark von den lokalen Gegebenheiten abhängig sind.

NEUERUNGEN

SEDEX soll bezüglich inhaltlicher Aussagen zur Feststofflieferung in folgenden Elementen zu Neuerungen gegenüber bestehenden Methoden führen:

- Über ein ganzes Einzugsgebiet gesehen, können die für die Feststofflieferung und Ereignisabläufe entscheidenden Bausteine klar und nachvollziehbar identifiziert werden. Diese Informationen dienen auch als Grundlage für die allfällige Planung von Massnahmen.
- Auch für häufige und sehr seltene Ereignisse (30-jährlich, 300-jährlich) können Aussagen systematisch abschnittsweise hergeleitet werden. Dies ist insbesondere von Bedeutung, als dass diese Bemessungsgrössen für die Gefahrenbeurteilung benötigt werden und bisher kaum Anleitungen zu deren Bestimmung bestehen.
- Die Entscheidungshilfen von SEDEX ermöglichen es, die für den Ereignisablauf wichtigen Bausteine zu erkennen und die gegenseitigen Abhängigkeiten und Wechselwirkungen zu ermitteln. So wird die Bandbreite von möglichen Szenarien systematisch erarbeitet und beschrieben.
- Zusätzlich zu den Resultaten bezüglich Feststofflieferung soll SEDEX Aussagen über die Qualität der Resultate ermöglichen. Die konsequente Aufnahme von Fehlerbereichen und möglichen Bandbreiten erleichtert die Deklaration der vorhandenen Unsicherheiten und deren Reflexion.

TEILPRODUKTE

SEDEX beinhaltet verschiedene Teilprodukte. Eine konzise Geländeversion des Manuals enthält alle Checklisten und Entscheidungsbäume zur zielgerichteten, rationellen und nachvollziehbaren Beurteilung der Geländebeziehungen. Eine ausführliche Version des Manuals erläutert das Verfahren detailliert und soll als Nachschlagewerk oder zu Ausbildungszwecken dienen.

Zusätzlich wurde die Methodik in eine eigens entwickelte Software umgesetzt. Ein Erfassungsprogramm für PDA's (SEDEXfield) leitet den Benutzer systematisch durch die Erhebungen im Gelände und nimmt ihm die Berechnung der Kubatur ab. Ein Auswertungsprogramm (SEDEXoffice) ermöglicht die Überarbeitung, Auswertung und automatische Visualisierung der Geländedaten in Form von Grafiken und Tabellen.

BEURTEILUNGSABLAUF

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Arbeitsschritte der Methodik SEDEX, welche sich in Vorarbeiten, Geländeaufnahmen und Auswertungen gliedern. In den nachfolgenden Abschnitten finden sich genauere Informationen zu den einzelnen Arbeitsschritten.

DEFINITION DER BEARBEITUNGSTIEFE

Die Genauigkeitsansprüche an die Aussagen variieren in Abhängigkeit des Zwecks eines Gutachtens, der zur Verfügung stehenden Mittel sowie der Charakteristik eines Wildbaches. Vor Beginn der Arbeiten muss deshalb die Bearbeitungstiefe definiert werden. Oft gibt bereits das Auftragsziel den benötigten Tiefgang der Untersuchungen vor. Ansonsten wird der Detaillierungsgrad in Absprache mit dem Auftraggeber festgelegt.

Sowohl beim Manual wie auch in der SEDEX-Software kann je nach Fragestellung die Bearbeitungstiefe angepasst werden. Der Benutzer kann bei den einzelnen Beurteilungsschritten den Detaillierungsgrad seiner Angaben wählen.

FESTLEGUNG DES GRUNDSZENARIOS

Um schon zu Beginn der Geländeaufnahmen bereits Feststoffabschätzungen vornehmen zu können, muss der Gutachter von einem vorläufigen „Grundszenario“ ausgehen. Dieses definiert er aufgrund der Vorarbeiten und seiner Erfahrung. Erst nach der Begehung des ganzen Einzugsgebietes kann die definitive Festlegung der relevanten Szenarien erfolgen (s. Abschnitt Beurteilung von Zusatz-Szenarien).

PLANUNG DER GELÄNDEBEGEHUNG

Anhand der Auswertung des Ereigniskatasters, der Beurteilung des allgemeinen Gebietscharakters und der Gefällsverhältnisse wird hergeleitet, welche Flächen des Einzugsgebietes begangen werden müssen.

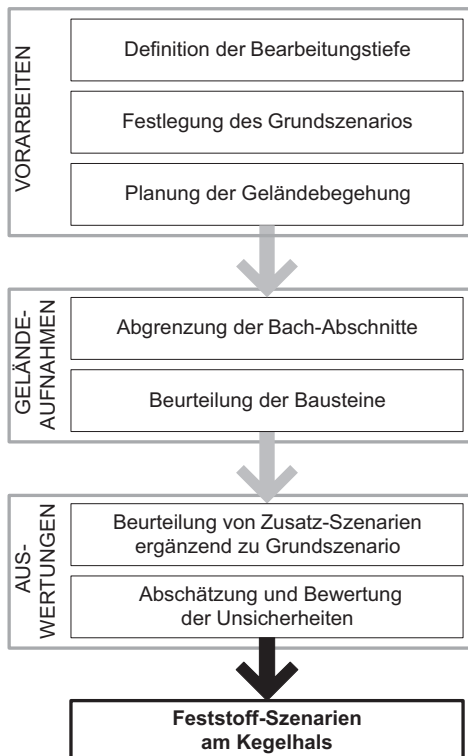


Abb1: Arbeitsschritte der Beurteilungssystematik SEDEX
Fig1: Work steps of the assessment systematics of SEDEX

ABGRENZUNG DER BACH-ABSCHNITTE

Grundlage für die Beurteilung nach SEDEX ist die Unterteilung eines Wildbaches in Abschnitte und Bausteine. In einem ersten Bearbeitungsschritt werden während der Geländebegehung die Gerinne in Abschnitte unterteilt, welche bezüglich der zu erwartenden Prozesse, deren Aktivität sowie der Feststoffkubaturen möglichst homogen sind.

BEURTEILUNG DER BAUSTEINE

Die SEDEX-Bausteine

Abbildung 2 zeigt schematisch, dass jeder Abschnitt aus einem bis fünf Bausteinen besteht, nämlich einem Gerinnebaustein, in der Regel beidseits je einem Böschungsbaustein und oft – seitlich anschliessend – beidseits je einem Hangbaustein. Diese räumlichen Einheiten werden folgendermassen definiert:

- Als Gerinne wird die eigentliche Sohle des Wildbaches bezeichnet, welche ständig oder zeitweise von Wasser überflossen wird. Hier finden Erosions-, Umlagerungs- oder Ablagerungsprozesse statt.
- Als Böschung wird jener Bereich des Hanges bezeichnet, welcher noch durch Gerinneprozesse beeinflusst werden kann. Die geschieberelevanten Prozesse in den so definierten Böschungen sind Seitenerosion innerhalb des Hochwasserprofils und Rutschungen, welche durch Böschungsfuss-Erosion ausgelöst werden. All diese Prozesse werden unter dem Begriff „Nachböschung“ zusammengefasst.
- Im Gegensatz zur Böschung finden in den Hangbereichen vom Geschehen im Gerinne (Hochwasserprofil) unabhängige Prozesse statt. Hier muss zusätzlich beurteilt werden, ein wie grosser Anteil der mobilisierten Feststoffe das Gerinne erreicht. Hang-Bausteine umfassen Rutschungs- und Runsenprozesse.

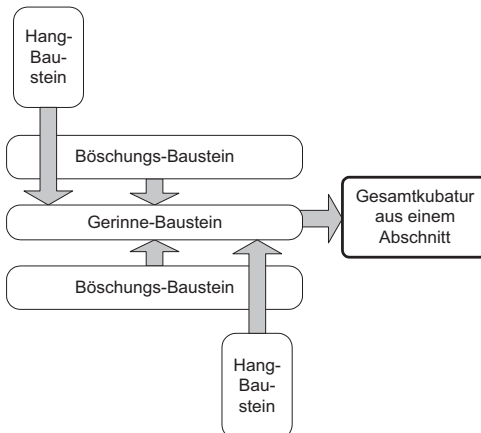
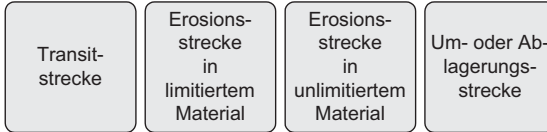


Abb2: Schematische Darstellung der Feststofflieferung aus den Hang- Böschung- und Gerinnebausteinen eines Bach-Abschnittes

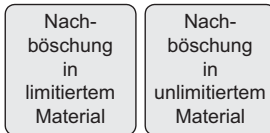
Fig2: Schematic diagram of sediment delivery from slope, embankment and channel units of one section

Es gibt je verschiedene Gerinne-, Böschungs- oder Hangbausteine (s. Abbildung 3). Jeder Baustein stellt eine funktionale Einheit im System Wildbach dar. Er steht für einen relativ homogenen Gerinne-, Böschungs- oder Hangabschnitt, der durch die gleichen feststoffrelevanten Prozesse dominiert wird und sich im Ereignisfall ähnlich verhält.

Gerinne-Bausteine



Böschungs-Bausteine



Hang-Bausteine

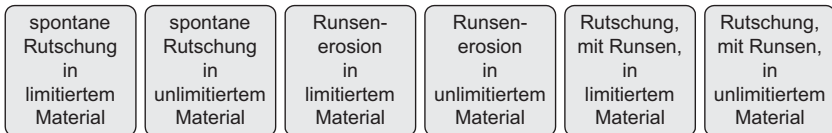


Abb3: Die zwölf SEDEX Bausteine
Fig3: 12 SEDEX units

Bei allen Bausteinen wird unterschieden, ob sie sich in „limitiertem“ oder „unlimitiertem“ Lockermaterial befinden. Diese Definition erfolgt in Anlehnung an die Unterteilung von Wildbach-Einzugsgebieten in Altschutt- und Jungschuttgebiete (Zimmermann et al., 1997 und Stiny, 1931).

In limitiertem Lockermaterial können einzelne Ereignisse sämtliche Feststoffe ausräumen. Diese Prozesse sind bis zu einem gewissen Grad als einmalig zu klassieren. Bis die gleiche Fläche bzw. der gleiche Gerinneabschnitt erneut geschieberelevant ist, muss sich das entsprechende Feststoffpotenzial erst wieder ansammeln. Bezüglich Entstehungsart handelt es sich meist um vor Ort entstandenen Verwitterungsschutt oder Bach- und Murschutt, der in Zwischendeponien abgelagert wurde. Es sind somit Jungschuttherde, bei denen die Menge der Feststofflieferung durch das Materialangebot begrenzt ist.

Unlimitiertes Lockermaterial kann durch ein einzelnes (oder auch mehrere) Ereignisse nicht ausgeräumt werden. Hier ist die Lieferungsrate durch die Transportkapazität limitiert. Diese Feststoffherde sind somit wiederholt von Bedeutung. Bezüglich der Entstehungsart handelt es sich dabei meist um Altschuttherde, die nicht unter heutigen Bedingungen entstanden sind. Dies können eiszeitliche Sedimente (Moränen, Talverfüllungen), alte Sturzschutthalde oder Bach- und Murschutt sein.

Bestimmen der Aktivierungswahrscheinlichkeit

In einem zweiten Beurteilungsschritt interessiert es für jeden Baustein zu erfahren, bei welcher Ereignisgrösse eine Aktivierung und damit eine Feststofflieferung erfolgt. Der betrachtete Baustein muss somit einer von drei definierten Aktivierungswahrscheinlichkeiten (bis zu 30-jährlichen, bis zu 100-jährlichen, bis zu 300-jährlichem) zugeordnet werden (s. Abbildung 4).



Beispiel für Böschungsbaustein mit hoher Aktivierungswahrscheinlichkeit

Die Böschungen sind von einem kürzlichen Ereignis durchgehend aufgerissen und destabilisiert. Das feinkörnige Lockermaterial ist leicht mobilisierbar und es sind keine stabilisierenden Elemente vorhanden (Val Mulin, Domat-Ems, GR).



Beispiel für Böschungsbaustein mit mittlerer Aktivierungswahrscheinlichkeit

Entlang dieses Abschnittes kam es lokal zu Nachrutschungsprozessen. Die übrigen Bereiche weisen momentan keine Anzeichen von Aktivität auf. Die Grunddisposition ist jedoch gegeben, dass bei grösseren Ereignissen weitere Nachböschungen möglich sind (Schauensteintobel, Cazis, GR).



Beispiel für Böschungsbaustein mit geringer Aktivierungswahrscheinlichkeit

Diese Böschungen zeigen keinerlei Spuren von aktiven Prozessen. Die gleichmässige Morphologie weist darauf hin, dass hier die Grunddisposition für Nachböschungen gering ist (Stadlerbach, Davos, GR).

Abb4: Beispiele für Böschungsabschnitte mit unterschiedlicher Aktivierungswahrscheinlichkeit (tur gmbh)

Fig4: Examples for embankment sections with different activation probability (tur gmbh)

Die Bestimmung der Aktivierungswahrscheinlichkeit wird in SEDEX durch sog. Aktivierungs-Checklisten unterstützt. Diese sind Beobachtungshilfen, welche den Anwender Schritt für Schritt durch die notwendigen Überlegungen leiten. Dazu werden qualitative und semi-quantitative Merkmale so dargestellt, dass der Anwender die Ergebnisse seiner Beobachtungen zusammenfassend bewerten kann.

Die Funktionsweise der Checklisten ist in Abbildung 5 illustriert: In einer Tabelle sind Beurteilungskriterien aufgeführt. In den Zeilen befinden sich verschiedene Abstufungen eines Merkmales. Je weiter rechts sich die Abstufung pro Merkmal befindet, umso stärker weist diese auf Stabilität hin. Im Gelände werden alle beobachtbaren Merkmale markiert. Über den visuellen Schwerpunkt aller Markierungen wird schliesslich bestimmt, welche Aktivierungsstufe dem betreffenden Baustein zuzuordnen ist. Sind die beobachteten Merkmale stark verteilt und der visuelle Schwerpunkt nicht eindeutig, gelangt man über einen Vergleich mit dem allgemeinen Eindruck oder über eine subjektive Gewichtung der Merkmale zu einem Resultat.

Indem die Spalten oder Aktivierungsstufen bestimmten Ereignisgrössen zugeordnet sind, resultiert eine Aussage, ab welchem Ereignis mit einer Aktivierung des betrachteten Bausteines zu rechnen ist.

AKTIVIERUNGS-CHECKLISTE NACHBÖSCHUNG				
Stabilität der Böschung	Neigung	mittel (ca. 20-50°)	niedrig (ca. < 20°) hoch (ca. > 50°)	
	Morphologie	strukturiert	gleichmässig	
	Korngrössen	grösstenteils mobilisierbar	grösstenteils nicht mobilisierbar	
	Verfestigung	unverfestigt, locker	verfestigt	stark verfestigt
	Wasserhaushalt	Wasseraustritte, Vernässungen		
	Vegetation Böschungsfäche	keine Vegetationsdecke	Vegetationsdecke (fast) geschlossen	
	Vegetation Böschungsfuss	Böschungsfuss offen	Böschungsfuss bewachsen	
Erosionskraft	Zuverlässigkeit Bauwerke bei G ₁₀₀	gering	eingeschränkt	hoch
	Böschungsfuss	leicht mobilisierbares Material	meist grosse Blöcke	
	Gerinnelauf	oft deutliche Prallhänge	Gerinne meist gestreckt	
	Gerinnegefälle	steil oder deutlich steiler als in Abschnitt oberhalb	flach oder Verflachung gegenüber Abschnitt oberhalb	
	Gerinnebreite	eng oder Verengung gegenüber oben	breit oder Verbreiterung gegenüber oben	
Prozessspuren	Prozess in Gerinnesohle	starke Tiefenerosion erwartet		
	Anbrüche	offene Anrissflächen	überwachsene Anrissflächen	Geländemorphologie mit Hohlformen
	Unterspülung	unterspült, aktive Gerinnerosion		
	Materiallieferung	nachgerutschtes Material im Gerinne		
Böschungskanten	zahlreiche aktive Anrissränder			einzelne aktive Anrissränder
		zumindest lokal leicht aktivierbar	über ganzen Böschungsbereich gewisse Stabilität, bei seltenen Ereignissen Aufreissen über Grossteil der Fläche möglich	zumindest lokal sehr hohe Stabilität
	30-jährliches Ereignis	100-jährliches Ereignis	300-jährliches Ereignis	

Abb5: Anwendungsbeispiel Checkliste Nachböschung mit dem Beispiel einer möglichen Beurteilung (markiert)

Fig5: Checklist for the assessment of the activity of bank failure with an example of a possible assessment (marked)

Abschätzung der Feststofflieferung

Schliesslich muss für jede Ereignisgrösse, bei der ein Baustein aktiv ist, abgeschätzt werden, wie viele Feststoffe mobilisiert werden können. Bei Erosionsprozessen oder Nachböschungprozessen ist diese Kubatur v.a. abhängig von der Widerstandsfähigkeit des Lockermaterials sowie der lokalen Schleppkraft des Gewässers. Bei Rutschungen bestimmen Eigenschaften des Untergrundes sowie des Wasserhaushaltes das bewegte Volumen. SEDEX stellt für die Abschätzung der Feststofflieferung Checklisten zur Verfügung. Die vorgeschlagene Berechnungsart basiert bei allen Bausteinen auf geometrisch einfachen Anriss- und Erosionsformen bzw. vordefinierten Querschnittsflächen, welche die natürlichen Prozesse näherungsweise abbilden.

Von zentraler Bedeutung in der Systematik SEDEX ist das seltene – so genannt „100-jährliche“ – Ereignis mit einer theoretischen Wiederkehrperiode von bis zu 100 Jahren. Es wird hier als Referenzereignis bezeichnet, wofür die Beurteilung in erster Linie durchgeführt wird. Die Beurteilung der kleineren und grösseren Ereignisse wird meist durch eine Abminderung bzw. Verschärfung der Schätzwerte mittels von Faktoren von diesem Referenzereignis hergeleitet. (s. Abbildung 6). Dieses Vorgehen bietet den Vorteil, dass die Nichtlinearität zwischen den Ereignisgrössen besser abgebildet werden kann als wenn ein Faktor über den ganzen Wildbach festgelegt wird. Zudem erlaubt die Implementierung der Faktoreingaben im PDA-Programm die Durchführung einfacher Sensitivitätsanalysen durch das Verändern einzelner Faktoren.

Wichtig bei der Betrachtung verschiedener Ereignisgrössen ist, dass dabei nicht nur die Feststoff-Quantitäten angepasst werden, sondern auch andersartige Prozessabläufe in Betracht gezogen werden. So kann beispielsweise in einem Wildbach das Szenario für das Referenzereignis einen Murgang zugrunde legen, bei einem 30-jährlichen Ereignis beinhaltet das Szenario dagegen nur fluvialen Geschiebetransport.



Abb6: Herleitung der Feststofflieferung von 30- und 300-jährlichen Ereignissen basierend auf 100-jährlichen Referenzereignis und mittels Faktoren

Fig6: Derivation of sediment deliveries of events with recurrence period of 30 and 300 years by means of the reference event and factors

Die Gesamtkubatur aus einem Abschnitt ergibt sich aus der Summe der Feststofflieferungen aller Bausteine (Gerinne, Böschungen, Hänge). Die Aufsummierung der Feststoffkubaturen aus allen Abschnitten eines Wildbaches ergibt ein vorläufiges Resultat für die Feststofflieferung am Kegelhals. Die Bausteine und Abschnitte stehen jedoch nicht isoliert da. Es muss nun beurteilt werden, ob die Transportkapazität in jedem Abschnitt ausreicht, um die Geschiebefracht aus den oberhalb liegenden Abschnitten auch weiterzutransportieren. In transportlimitierten Abschnitten muss die während eines Ereignisses transportierbare Geschiebefracht basierend auf Transportkapazitäts-Formeln berechnet oder vor Ort gutachtlich abgeschätzt werden.

BEURTEILUNG VON ZUSATZ-SZENARIEN ERGÄNZEND ZU GRUNDSZENARIO

Die vorläufige Feststofflieferung am Kegelhals wird durch die einfache Bilanzierung aller Bausteine berechnet. Dabei erfolgt die Beurteilung eines einzelnen Bausteines immer für den Ereignisablauf, welcher als Grundszenario definiert wurde. In einem weiteren Beurteilungsschritt geht es darum, das angenommene Grundszenario zu verifizieren und falls nötig die abgeschätzten Geländedaten anzupassen. Anschliessend erfolgt die Überprüfung, ob ergänzend zum Grundszenario Zusatz-Szenarien berücksichtigen werden sollen, weil sie aufgrund der vorkommenden Bausteine, der Charakteristika des Wildbaches oder erwarteten Teilereignissen als wahrscheinlich betrachtet werden (s. Abbildung 7).

SEDEX berücksichtigt sechs solche Zusatz-Szenarien, für deren Beurteilung Checklisten zur Verfügung stehen. Die Checklisten sollen in erster Linie ein systematisches Durchdenken verschiedener Zusatz-Szenarien ermöglichen. Sie können aber keine abschliessende Anleitung zur Auswirkung dieser Zusatz-Szenarien bieten. Dies muss der Experte – unter Miteinbezug der lokalen Verhältnisse – beurteilen

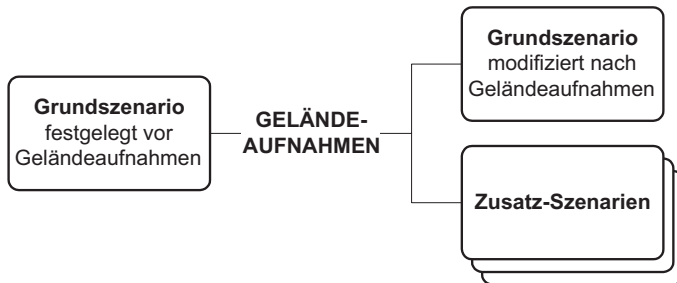


Abb7: Schematische Darstellung der Modifizierung und Erweiterung des Grundszenarios nach Abschluss der Geländeaufnahmen

Fig7: Schematic diagram on modification and completion of basic scenario after completion of field work

Es muss somit in jedem Wildbach beurteilt werden, ob Elemente vorhanden sind, welche zu unterschiedlichen Szenarien führen können. Folgende Elemente können szenarienrelevant sein:

- Einzelne Bausteine, bei welchen verschiedene Feststofflieferungs-Szenarien zu einer relevanten Veränderung des Ereignisablaufes führen können. Das können Geschiebeherde mit sehr hohen Feststoffeinträgen (z.B. tiefgründige Rutschkörper), Abschnitte mit erwartetem Bauwerksversagen und der plötzlichen Freisetzung von hohen Kubaturen oder auch Umlagerungsstrecken mit wechselnder Funktion sein.
- Teilereignisse, welche eine deutliche Verstärkung oder Abschwächung der Feststofflieferung zur Folge haben können. Dabei handelt es sich um punktuell zufällige Ereignisse wie Verklausungen oder das Anhalten/Bremsen eines Murganges. Solche Teilereignisse können anhand von Bausteinen, Bausteinkombinationen oder anderen Charakteristika abgeleitet werden.
- Künftige Veränderung der Disposition eines Wildbaches, welche berücksichtigt werden soll. Darunter fallen z.B. die Erhöhung des Feststoffpotenzials durch sehr aktive

Verwitterungsprozesse oder die Stabilisierung oder Destabilisierung grösserer Geschiebeherde.

Bezüglich der möglichen Auswirkungen auf die Gefahrenbeurteilung ist zu bemerken, dass die betrachteten Zusatz-Szenarien nicht nur eine Erhöhung oder Reduktion der Ereigniskubatur zur Folge haben können. Für die weitere Beurteilung von Ausbruchs-, Ausbreitungs- und Einwirkungs-Szenarien ist gleichermaßen von Bedeutung, ob eine relevanten Abschwächung oder Verstärkung der Prozessintensität im Kegelbereich möglich ist. Dies kann beispielsweise bei einer Abschwächung oder Verstärkung von Murgängen oder Hochwasserwellen der Fall sein.

ABSCHÄTZUNG UND BEWERTUNG DER UNSICHERHEITEN

Jeder Arbeitsschritt in der Beurteilung von Wildbachgefahren ist mit Unsicherheiten verbunden. Je nach Wildbachcharakteristik bestehen kleinere oder grössere Unsicherheiten in der Beurteilung der Murfähigkeit, des Spitzenabflusses, der Ereignisfrachten, der möglichen Ereignisabläufe sowie der Ausbreitung und Prozessintensitäten im Wirkungsbereich.

Bei der Quantifizierung der Feststofflieferung muss sich der Bearbeiter pro Szenario auf einen Wert innerhalb einer oft grossen möglichen Bandbreite festlegen. Um Aussagen über die Qualität dieses Wertes zumachen, ist eine Fehleranalyse im statistischen Sinn nicht anwendbar, da die Bestimmung des möglichen Fehlerbereiches gleich subjektiv ist wie die Festlegung des relevanten Wertes. Generell ist die Qualitätskontrolle eine der Herausforderungen in der Abschätzung der Feststofflieferung. Es existieren zwar Daten über Ereigniskubaturen von abgelaufenen Wildbachereignissen, die Zuordnung von Wiederkehrperioden zu diesen Ereignissen ist jedoch schwierig. Sie erfolgt aufgrund von semi-quantitativen Erwägungen und lässt sich kaum hart begründen.

Untersuchungen und eigene Fallbeispiele zeigen jedoch, dass mehrere Gutachten bei der gleichzeitigen Beurteilung desselben Baches zu ähnlichen Resultaten kommen. Bei der Abschätzung der Feststofflieferung eines Abschnittes waren die Ergebnisse durchwegs vergleichbar. Die grössten Unterschiede entstanden durch die Festlegung verschiedener Ereignisszenarien (Herzog et al., 2000).

Nachvollziehbare Beurteilung der Unsicherheiten in SEDEX

Die von SEDEX entwickelten Tools sollen es dem Experten ermöglichen, den Einfluss der Unsicherheiten auf das Endresultat der Feststofflieferung zu beurteilen und die Konsistenz seiner Beurteilung zu überprüfen. Es soll ein standardisiertes Vorgehen angeboten werden, welches die Erkenntnisse, welche ein Experte nach seiner Beurteilung hat, ausformuliert und visualisiert.

Bereits auf Bausteinebene kann in SEDEX beurteilt werden, wie gross der Unsicherheitsbereich für die abgeschätzte Feststofflieferung ist. Diese Angabe wird als positive und negative Abweichung von der geschätzten Kubatur in % formuliert. Solche Unsicherheitsbereiche sind grundsätzlich besonders hoch bei Bausteinen in unlimitiertem Lockermaterial, bei Bausteinen mit hohen freisetzbaren Kubaturen bedingt durch Bauwerkversagen, bei Hangbausteinen und bei Um- oder Ablagerungsstrecken.

Die Unsicherheiten sind auch abhängig von der Ereignisgrösse. Bei Bausteinen in unlimitiertem Lockermaterial wird es mit zunehmender Ereignisgrösse immer schwieriger abzuschätzen, ein wie grosser Anteil des unbegrenzt vorhandenen Materials mobilisiert wird. Im Gegensatz dazu ist die Beurteilung bei Bausteinen in limitiertem Material für ein grösseres

Ereignis sicherer, da hier oft davon ausgegangen werden kann, dass sämtliches bereit liegende Material mobilisiert wird.

Aufsummiert über das ganze Einzugsgebiet ergeben die pro Baustein definierten Unsicherheitsbereiche die Bandbreite der möglichen Kubatur für das betrachtete GrundszENARIO. Die Plausibilisierung der Feststofffracht muss jedoch auch anhand der Unsicherheiten bezüglich des Ereignisablaufes und den definierten Zusatz-Szenarien erfolgen. Die wichtigsten dieser Unsicherheitsfaktoren können in SEDEX anhand einer Checkliste nachvollziehbar beurteilt werden.

Es resultiert eine qualitative Aussage, ob die Unsicherheiten „hoch“ oder „gering“ sind. Werden die Unsicherheiten als hoch eingeschätzt, muss der Gutachter beurteilen

- ob die resultierende Bandbreite der Feststofflieferung weiter eingegrenzt werden kann,
- und ob das Resultat den Projektanforderungen genügt oder ob weitere Abklärungen nötig – und fachlich auch möglich – sind.

Kommunikation von Unsicherheiten

Bei den Evaluationen von SEDEX durch beteiligte Experten bestand ein Konsens, dass die vorhandenen Unsicherheiten offen gelegt und berücksichtigt werden müssen. Man war sich zudem auch einig, dass es in der Verantwortung des jeweiligen Gutachters liegt, aus der möglichen Bandbreite von Ereigniskubaturen einen Wert festzulegen, welcher den Genauigkeitsanforderungen des Projektziels entspricht. Schliesslich ist es der Gutachter selber, der über die besten Entscheidungsgrundlagen verfügt, um die meist grosse Bandbreite – soweit als möglich – einzugrenzen.

LITERATUR

- BWW, BRP, BUWAL (1997): „Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten“, Bern.
- Herzog, B., Lehmann, C., Spreafico, M., 2000: „Fehlerquellen und Ermessensspielraum bei der Beurteilung des Feststoffpotentials in Wildbächen“. Internationales Symposium Interprävent 2000, Klagenfurt.
- Stiny, J. (1931): „Die geologischen Grundlagen der Verbauung der Geschiebeherde in Gewässern“. Springer, Wien.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O., Hunziker, G. (1997): „Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz“. vdf Hochschulverlag, Zürich.

GESCHIEBELIEFERUNG ALPINER WILDBACHSYSTEME BEI GROSSEREIGNISSEN

BED LOAD DELIVERY OF ALPINE MOUNTAIN TORRENT SYSTEMS DURING EXTREME EVENTS

Eva Gertsch¹, Hans Kienholz²

ZUSAMMENFASSUNG

Bei Hochwasserereignissen ist das Geschiebe der Wildbäche oft für enorme Schäden auf den besiedelten Schwemmkegeln verantwortlich. Die Abschätzung von Geschiebefrachten in Wildbächen bildet eine wichtige Grundlage für Gefahrenbeurteilungen. Sie ist aber mit grossen Unsicherheiten verbunden, da die Prozesse komplex, teils chaotisch und deshalb nicht bis ins Detail fassbar sind. Im Projekt „Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Grossereignissen“ werden 61 abgelaufene ≥ 100 jährliche Wildbachereignisse im Schweizer Alpenraum bezüglich der Geschiebeherkunft und den an der Geschiebelieferung beteiligten Voraussetzungen und Prozesse analysiert. Ziel ist, das Prozessverständnis zu verbessern und ein einfaches, GIS-basiertes Geschiebe-Abschätzverfahren zu entwickeln. Erste Ergebnisse der Ereignisanalysen zeigen, dass die Geschiebemobilisierung neben den lokalen Standortfaktoren Gerinneneigung, Lockermaterial- und Abflussangebot vor allem auch von den Bedingungen und vom Geschehen in den oberhalb liegenden Gerinne- und Hangabschnitten abhängig ist. Besondere Negativfaktoren, beispielsweise ausbrechende Flutwellen oder spontane Grossrutschungen, sind zudem fähig, die Geschiebemobilisierung im gesamten Einzugsgebiet um Grössenordnungen zu steigern. Das geplante GIS-basierte Geschiebe-Abschätzverfahren liegt in einer Konzeptphase vor. Kernpunkt bildet eine Beurteilungsmatrix zur Abschätzung der Geschiebebilanz in einzelnen Gerinneabschnitten.

Keywords: Wildbach, Geschiebe, Extremereignisse, Fallstudien, Abschätzverfahren, GIS

ABSTRACT

Many villages situated on alluvial fans have been heavily damaged by bed load during flood events. Estimations of bed load volumes in mountain torrents build the base of hazard analysis. However, they include many uncertainties, because the processes in mountain torrents are complex with a chaotic compound and are therefore not understood in all details. In the project “Bed load delivery of alpine mountain torrent systems during extreme events” 61 torrent-

¹ Dipl. Geographin, Ph. D. Student, Gruppe für Angew. Geomorphologie und Naturgefahren, Geographisches Institut Universität Bern, Hallerstr. 12, 3012 Bern, Schweiz (Tel.: +41 31 631 88 41; Fax: +41 31 631 85 11; email: gertsch@giub.unibe.ch) und Mitarbeiterin, belop GmbH Ingenieure und Naturgefahrenfachleute, Schwanderstr. 25, 6063 Stalden OW, Schweiz (Tel.: +41 41 661 02 70; Fax: +41 661 02 64; email: gertsch@belop.ch)

² Prof. Dr. phil. nat., Leiter Gruppe für Angew. Geomorphologie und Naturgefahren, Geographisches Institut Universität Bern, Hallerstr. 12, 3012 Bern, Schweiz (Tel.: +41 31 631 47 18; Fax: +41 31 631 85 11; email: kienholz@giub.unibe.ch)

tial disasters in the Swiss Alps have been analysed. All events have a return period of ≥ 100 and were dealt with major respect on bed load sources, triggering conditions, and involved transportation processes. The aim is to contribute to a better understanding of bed load processes and to develop a simple GIS-based bed load assessment method. First results of event analysis show, that beside local dispositions as channel slope, bed load and runoff supply, bed load mobilisation depends also on the conditions and the occurrence in upstream lying channel and hillslope sections. Special negative factors as an outburst of a flood wave or the release of a large landslide can increase bed load mobilisation to a higher level. The concept of the planned GIS-based bed load assessment method is finished. An assessment matrix to assess bed load balances in single channel sections builds the main part of the method.

Keywords: mountain torrent, bed load, extreme events, case studies, assessment method, GIS

EINLEITUNG

Murgänge und Hochwasserereignisse mit Geschiebetransport führen in Siedlungen auf Schwemmkegeln immer wieder zu enormen Schäden. Neben hohen Abflüssen tragen vor allem die mittransportierten Geschiebemassen wesentlich zu Zerstörungen bei. Im Rahmen von Gefahrenbeurteilungen werden unter anderem Abschätzungen von zu erwartenden Geschiebefrachten in Abhängigkeit vordefinierter Szenarien als Grundlage benötigt.

Der Geschiebehaushalt in Wildbachsystemen ist jedoch komplex. Quantitative Voraussagen von Geschiebefrachten sind deshalb schwierig und werden aufgrund teils chaotischer Ereignisabläufe, aber auch aufgrund noch nicht bis ins Detail fassbarer Prozesse immer mit Unsicherheiten behaftet sein. Gezielte Grundlagenforschung, z.B. in Hegg et al. (2002), Hürlimann et al. (2003), Hübl et al. (2007) oder Kienholz et al. (1997) hat hier zu Fortschritten geführt. Und mit Ereignisanalysen wie nach den Unwettern von 1987 (BWW, 1990) oder nach den Ereignissen im August 2005 (BAFU, WSL, 2007) lassen sich erste Lehren ziehen.

Bestehende Abschätzverfahren für Geschiebefrachten bei Grossereignissen können eingeteilt werden in einfache empirische Abschätzformeln, z.B. von D'Agostino et al. (1996) oder Hampel (1980), in physikalisch begründete Transportkapazitätsformeln aufgrund von Laborversuchen, z.B. in Rickenmann (1990), oder in aufwändigere, jedoch detaillierte Feldanleitungen wie z.B. die Empfehlungen von Spreafico et al. (1996) oder Frick et al. (2007). GIS-basierte Abschätzverfahren sind beispielsweise in Zimmermann et al. (1997), Heinimann et al. (1998) oder Brauner (2001) beschrieben.

„Geschiebelieferung alpiner Wildbachsysteme bei Grossereignissen“ ist ein vom Bundesamt für Umwelt der Schweiz finanziertes Projekt. Dabei werden Ereignisse mit einer geschätzten Wiederkehrdauer von ≥ 100 Jahren als Grossereignis bezeichnet. Ziel des Projektes ist es, auf der Basis der Analyse von 61 abgelaufenen Grossereignissen, ein Beitrag zu einem besseren Prozessverständnis des Geschiebehaushalts in Wildbächen zu liefern und daraus ein einfaches, GIS-basiertes Geschiebe-Abschätzverfahren zu entwickeln. Dieses soll eine erste grobe Gebietsbeurteilung und Abschätzung der Geschiebefracht am Kegelhals als Vorarbeit für detaillierte Feldaufnahmen ermöglichen. Das Projekt wird Ende 2008 abgeschlossen.

UNTERSUCHUNGSGEBIETE MIT ANALYSIERTEN GROSSEREIGNISSEN

In einem ersten Schritt wurden geeignete Wildbachsysteme als Untersuchungsgebiete ausgewählt. Die Kriterien zur Auswahl waren:

- Einzugsgebietsfläche möglichst $< 10 \text{ km}^2$;
- Abgelaufenes Grossereignis in den letzten 20 Jahren, dessen Geschiebebilanz im Einzugsgebiet ausreichend dokumentiert ist oder
- Abgelaufenes Grossereignis zwischen 2004 bis 2006, dessen Geschiebebilanz im Einzugsgebiet anhand der Ereignisspuren im Feld eigens detailliert abgeschätzt werden konnte.

Mit diesen Kriterien wurden 61 Untersuchungsgebiete im Schweizer Alpenraum ausgewählt und die dort abgelaufenen Grossereignisse analysiert (Abb. 1).



Abb. 1: Lage der 61 Untersuchungsgebiete

Fig. 1: Location of the 61 analysed mountain torrents

Die untersuchten Grossereignisse traten bei folgenden Situationen ein:

9 während der Unwetterperiode vom Juli und August 1987;

4 im niederschlagsreichen Frühling nach dem Lawinenwinter 1999;

2 im Oktober 2000, in dem vor allem der Kanton Wallis betroffen war;

5 im November 2002 in den Kantonen Graubünden und Tessin und

22 während der verheerenden Hochwasserkatastrophe im August 2005;

19 mehr oder weniger isolierte, lokale Einzelereignisse in verschiedenen Jahren.

Tab. 1 gibt einen Überblick über Einzugsgebietsflächen, mittlere Höhe, mittlere Hangneigung sowie Hauptgeologie der Untersuchungsgebiete:

Tab. 1: Einzugsgebietsflächen, mittlere Höhe, Hangneigung und Hauptgeologie der Untersuchungsgebiete
Tab. 1: Catchment area, average altitude, average slope, and principal geology of the analysed torrents

Einzugsgebietsfläche Anzahl [N =61]	0.1-2 km ² 23	2.1-4 km ² 18	4.1-6 km ² 10	6.1-9 km ² 5	9.1-13 km ² 5
Mittlere Höhe Anzahl [N =61]	800-1500 m ü. M 21	1501-2000 m ü. M. 22	2001-2500 m ü. M. 12	2501-3000 m ü. M. 5	3000-3500 m ü. M. 1
Mittlere Hangneigung Anzahl [N =61]	20-25° 8	25.1-30° 21	30.1-35° 21	35.1-40° 8	40.1-45° 3
Hauptgeologie Anzahl [N =61]	Kristallin 23	Kalk 20	Flysch 17	Molasse 1	

47 der 61 analysierten Ereignisse wurden durch advective, langanhaltende Niederschläge ausgelöst, 11 durch konvektive, lokale Gewitter und 3 durch Schwallwellen. Die grosse Anzahl Ereignisse aufgrund langanhaltender Niederschläge erklärt sich aus den Auswahlkriterien der Untersuchungsgebiete: Die Auswahl der 34 vor 2004 abgelaufenen Grossereignisse erfolgte aufgrund des Kriteriums guter Dokumentation. Systematische und ausführliche Dokumentationen werden durch die Behörden oftmals nur nach grossräumigen Schäden in Auftrag gegeben. Grossräumige Schäden entstehen fast immer durch advective und somit lang anhaltende und ergiebige Niederschläge. Zusätzlich fallen auch die 22 Grossereignisse vom August 2005 in die Kategorie „langanhaltende Niederschläge“.

Bei 6 Grossereignissen wurde das Geschiebe durch fluvialen Geschiebetransport verlagert, bei 55 Ereignissen durch Murgänge oder murgangähnlichen Transport.

METHODEN

Abb. 2 gibt einen Überblick über den Ablauf der Untersuchungen und der Entwicklung des Geschiebe-Abschätzverfahrens. Die einzelnen Schritte werden unten detailliert erklärt.

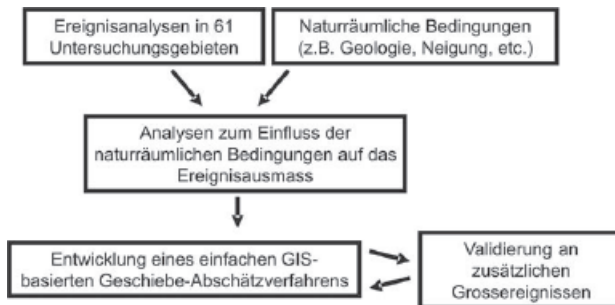


Abb. 2: Ablaufschema der Untersuchungen
Fig. 2: Flowchart of investigations

Ereignisanalysen in 61 Untersuchungsgebieten

Zu jedem Grossereignis wurden bestehende Ereignisdokumentationen zusammengetragen bzw. bei den nach 2004 eingetretenen Ereignissen eigene Dokumentationen erstellt. Dabei wurden die folgenden Parameter erhoben, digitalisiert und als Rasterdatensätze aufbereitet:

Hang: geschieberelevante Fläche, geschiebeliefernder Prozess, gelieferte Kubatur
Gerinne: geschieberelevante Gerinneabschnitte und deren Funktion während des Ereignisses, Mobilisierungsprozess und dabei beobachtete Netto-Erosionsleistungen, Transportprozess, Ablagerungsprozesse und dabei abgelagerte Kubatur, gesamtete Geschiebefracht aufsummiert bis zum Kegelhal

Um die analysierten Ereignisse in die Ereignisgeschichte einordnen und einer Jährlichkeit von mindestens 100 zuordnen zu können, wurde zu jedem Untersuchungsgebiet ein Ereigniskataster erstellt und das untersuchte Grossereignis mit früheren Ereignissen verglichen. Zusätzlich wurden Analysen der Ereignisniederschläge erstellt. Daten zum Abfluss während der Ereignisse waren nur in seltenen Fällen vorhanden, ebenso Informationen zum zeitlichen Verlauf der Ereignisse. Die Daten der mobilisierten Geschiebekubaturen sind somit die Summe über das gesamte Ereignis und können beispielsweise nicht in einzelne Murschübe unterteilt werden.

Naturräumliche Bedingungen

Von jedem Untersuchungsgebiet wurden digitale Daten zu den naturräumlichen Bedingungen zusammengetragen und aufbereitet:

Zur Reliefinformation stand das DHM25 als Basishöhenmodell (Höhenlinien) des Bundesamts für Landestopographie zur Verfügung. Um dieses im Gerinnebereich zu verbessern, wurden die Hauptgerinne und Runsen digitalisiert und als Bruchkanten in das Höhenmodell integriert. Aus diesem Datensatz wurden weitere wichtige Datenlayer abgeleitet, zum Beispiel die Hang- und Gerinneneigung, die Fliesswege als Gerinnenetz oder die Einzugsgebietsfläche bei jedem Pixel (flowdirection und flowaccumulation).

Da in der Schweiz keine genügend aufgelöste digitale geologische Grundlagendaten vorliegen, wurden die Lithologie und Lockermaterialbedeckungen aus den Kartenblättern des Geologischen Atlas der Schweiz (1:25'000) des Bundesamts für Landestopographie digitalisiert und in einem Geologie-Layer gespeichert. Zusammen mit der Information zur Bodenbedeckung aus den Primärflächen des GEOSTAT Datensatzes des Bundesamts für Landestopographie wurde in einem Verschnitt ein Datenlayer „Lockermaterialangebot“ erstellt.

Analysen zum Einfluss der naturräumlichen Bedingungen auf das Ereignisausmass

Ziel dieser Analysen sind neue Erkenntnisse zum Prozessverständnis sowie die Beschaffung von quantitativen Daten für die Kalibrierung des zu entwickelnden GIS-basierten Geschiebe-Abschätzverfahrens.

Bei den Analysen wurden von den naturräumlichen Bedingungen her homogene Hang- und Gerinneabschnitte abgegrenzt. Anschliessend wurde deren Einfluss auf die beim Ereignis beobachteten Geschiebeprozesse und Geschiebebilanz sowohl qualitativ als auch quantitativ analysiert. Dadurch können Erfahrungswerte und Schwellenwerte zur Abschätzung z.B. der

Geschiebemobilisierung im Gerinne in Abhängigkeit von den verschiedenen naturräumlichen Bedingungen definiert und eingegrenzt werden.

Entwicklung eines GIS-basierten Geschiebe-Abschätzverfahrens und Validierung

Aus obigen Erkenntnissen soll ein einfaches, GIS-basiertes Abschätzverfahren für die Geschiebelieferung in Wildbacheinzugsgebieten während Grossereignissen entwickelt werden. Dieses wird anschliessend validiert mit zusätzlichen Grossereignissen, die sich nicht in der Stichprobe der 61 Untersuchungsgebiete befinden.

ERSTE ERGEBNISSE ZUR GESCHIEBEMOBILISIERUNG IM HANG

Die Auswertung aller Hangprozesse zeigt, dass vor allem Rutschungen effektiv Geschiebe in das Gerinne geliefert haben. Ausgewertet wurden 139 Rutschungen (Sterchi, 2007). In 90% der Fälle lag die Hangneigung bei den Auslösepunkten der Rutschungen zwischen 20° und 48°. In 90% der Fälle lag das Pauschalgefälle zwischen dem obersten Anrisspunkt und dem Gerinne zwischen 20° und 56°. Die Auslösepunkte der Rutschungen lagen in 75% der Fälle nicht weiter entfernt vom Gerinne als 100 m. Bei flachgründigen Rutschungen lösten sich je rund 50% im Freiland und 50% im Wald. Die mittlere Hangneigung bei den Auslösepunkten der flachgründigen Rutschung lag im bewaldeten Gebiet bei rund 34°, im Freiland bei 31°.

ERSTE ERGEBNISSE ZUR GESCHIEBEMOBILISIERUNG IM GERINNE

Die Datenanalysen hierzu stehen in der Auswertungsphase. Nachstehende Ergebnisse sind dementsprechend als erste Resultate anzusehen, die durch weitere Analysen ergänzt und quantitativ untermauert werden.

Die Auswertungen der Gerinneprozesse zeigen, dass die Menge des mobilisierten Geschiebes während der untersuchten Grossereignisse hauptsächlich von drei Faktoren gesteuert wird:

- von den lokalen Bedingungen (in der Folge „Standortfaktoren“ genannt) im betreffenden Gerinneabschnitt: Gerinneneigung, Lockermaterial- und Abflussangebot
- von den vorherrschenden Bedingungen in den oberhalb liegenden Gerinneabschnitten, die in ihrer Gesamtheit vor allem via Transportkapazität auf unterhalb liegende Abschnitte Einfluss ausüben
- von zusätzlichen Bedingungen (in der Folge „Negativfaktoren“ genannt), die das Ausmass der Geschiebemobilisierung durch besondere Abfluss- oder Geschiebeerhöhende Faktoren stark steigern können

Einfluss der lokalen Standortfaktoren

Damit effektiv in der Gerinnesohle Geschiebe mobilisiert werden kann, müssen die drei lokalen „Standortfaktoren“ Lockermaterialangebot, Abflussangebot und Gerinneneigung einzeln, aber auch in Kombination, minimale Schwellenwerte übersteigen. Aufgrund der Daten aus den 61 Ereignisanalysen können diese limitierenden Schwellenwerte, einzeln betrachtet, wie folgt definiert werden:

- Es muss erodierbares Lockermaterial vorhanden sein. Felsabschnitte im Gerinne kommen als Erosionsstrecken nicht in Frage, sondern können entweder als Ablagerungsstrecken oder als Transitstrecken funktionieren.
- Das Einzugsgebiet muss eine minimale Grösse von ca. 2.5 ha aufweisen, damit genügend Abfluss entstehen kann, um effektiv zu erodieren.
- Effiziente Erosionsstrecken können nur bei Gerinneneigungen von $> 10\%$ beobachtet werden. Bei kleineren Gefällen wurde fast immer Ablagerung festgestellt.

Liegen alle drei Standortfaktoren über den erforderlichen Schwellenwerten, kann Erosion stattfinden. Die Kombination dieser drei Faktoren bestimmt einerseits über den vorherrschenden Transportprozess, andererseits über die Netto-Erosionsleistung. Je limitierender einer dieser Standortfaktoren ist, umso mehr Einfluss hat er in der gesamten Kombination.

Einfluss der Bedingungen in oberen Gerinneabschnitten

Das Geschehen und die Bedingungen in oberhalb liegenden Gerinneabschnitten beeinflussen zusätzlich das Ausmass der Geschiebemobilisierung in einem Gerinneabschnitt, z.B. durch den vorherrschenden Transportprozess und durch die Transportkapazität.

Eine verhältnismässig starke Zunahme der Erosionsleistung im Vergleich zu oberhalb liegenden Erosionsstrecken konnte bei ähnlichen Standortfaktoren nach folgenden Gerinneabschnitten beobachtet werden:

- nach langen, steilen Transitstrecken im anstehenden Fels
- nach langen Strecken, in denen das Lockermaterialangebot limitiert war
- nach langen verbauten Gerinnestrecken
- nach Ablagerungsstrecken, wenn die Gerinneneigung wieder grösser wurde
- nachdem ein Hochwasser führendes Seitengerinne in das Hauptgerinne einmündet. Je mehr Abfluss dieses Seitengerinne führt und je weniger Geschiebe in diesem mobilisiert wurde, umso höher ist der Anstieg in der Erosionsleistung im Hauptgerinne.

Kleinere Erosionsleistungen wurden bei Geschiebetransport beobachtet, wenn oberhalb einer Erosionsstrecke viel Geschiebe aus dem Hang in das Hauptgerinne geliefert worden war, die Transportkapazität also durch zusätzliches Geschiebe aus dem Hang ausgelastet wurde.

Als Beispiel zur Demonstration des Einflusses von oberhalb liegenden auf unterhalb liegende Gerinneabschnitte dient ein Ereignis im Rote Bach, Lauterbrunnen, BE, am 4.8.2004: Durch ein plötzliches Ausbrechen eines subglazialen Sees beim Hubelgletscher gelangte eine Flutwelle von rund 25'000 m³ Gesamtwasserfracht vom relativ flachen Gletschervorfeld über die felsige Karschwelle auf eine kurze Strecke mit unlimitiertem Lockermaterialangebot (Moräne). Hier konnte sich ein Murgang bilden (Erosionsleistung 40 m³/Laufmeter), der über knapp 700 Höhenmeter durch eine steile (ca. 60%), felsige Transitstrecke talwärts schoss. In diesem Abschnitt konnte sich die Energie und Transportkapazität des Murgangs stark aufbauen. Auf dem Kegelbereich stiess der Murgang auf einen Gerinneabschnitt im unlimitierten Lockermaterial und konnte dank der oberhalb gewonnenen freien Transportkapazität mit grosser Energie erodieren. Abb. 3 zeigt ein Übersichtsbild des Kegelbereichs und einen Fotovergleich vor und nach dem Ereignis an der markierten Stelle. Als Grössenvergleich beachte man den Mann mit Hund auf dem Weg auf dem Bild des 5.8.2004. Hier wurde eine Erosionsleistung von

rund 80 m³/Laufmeter abgeschätzt. Auf dem ganzen Kegel wurden knapp 10'000 m³ Geschiebe mobilisiert.



Abb. 3: Erosionsspuren im untersten Gerinneabschnitt des Roten Bachs, 4.8.2004 (Fotos: Eva Gertsch)

Fig. 3: Erosion in the lowest channel part of Rote Bach, 4th of august 2004 (Pictures: Eva Gertsch)

Besondere Negativfaktoren

Lokale Standortfaktoren und die Bedingungen in oberhalb liegenden Gerinneabschnitten sind nicht die einzigen Einflussfaktoren auf das Ausmass der Erosionsleistung in Erosionsstrecken. Bei den 61 Ereignisanalysen konnten zusätzlich sog. Negativfaktoren definiert werden, die verantwortlich sind für extrem hohe Erosionsleistungen. Sie können als Schwellen wirken, die das gesamte Ereignisausmass um eine Grössenordnung erhöhen. In den Ereignisanalysen konnten vier Abfluss beeinflussende (die Transportkapazität erhöhende) und vier Geschiebe beeinflussende (das Lockermaterialangebot erhöhende) Negativfaktoren definiert werden:

Abfluss beeinflussende Negativfaktoren mit Abkürzungen und Beispielen:

- Austritt von Kluftwasser (KW) (z.B. Fangtobel, Engelberg; 22.8.2005; Foribach, Kerns, 22.8.2005; Lauibach, Stans, 22.8.2005)
- Plötzliches Auslaufen von glazialen oder subglazialen Seen oder Änderungen von glazialen Abflusssystemen (FW) (z.B. Rote Bach, Lauterbrunnen, 4.8.2004; Vadret d'Alp Ota, Samedan, 11.7.2006; Reuses du Dolent, Orsières, 10.7.1990)
- Plötzlicher Durchbruch einer Verklausung durch Schwemmholz, Geschiebe oder Schnee/Eis (VK) (z.B. Val Varuna, Poschiavo, 19.7.1987)
- Vereinigung von mehr als zwei Gerinnen mit ungefähr gleicher Einzugsgebietsgrösse und Form an einem Punkt (3HG) (z.B. Val Valdun, Rueun, 15.11.2002; Rotlauhgraben, Guttannen, 22.8.2005)

Geschiebe beeinflussende Negativfaktoren mit Abkürzungen und Beispielen:

- Auslösung spontaner Grossrutschungen mit Volumina $> 20'000 \text{ m}^3$ (GR) (z.B. Flybach, Weesen, 23.5.1999; Acherlibach, Kerns, 22.8.2005)
- Ausräumung steiler ($> 50\%$) mit Lockermaterial gefüllter Felscouloirs durch Sohlenverflüssigung oder rückschreitende Erosion (FC) (z.B. Minstigerbach, Münster, 24.8.1987; Tüfelal, Gurtellen, 3.5.2002)
- Murganganrisse in der aktiven Auftauschicht von steilen Permafrostgebieten (PF) (z.B. Ritigraben, St. Niklaus, 24.9.1993)
- Murganganrisse in steilen Bastionsmoränen (BM) (z.B. Reuses du Dolent, Orsières, 10.7.1990, Rotlauigraben, Guttannen, 22.8.2005)

Es können auch Kombinationen von solchen Negativfaktoren auftreten. Im Rotlauigraben, Guttannen, BE, führten am 22.8.2005 zwei der oben genannten Negativfaktoren (BM, 3HG) zu einem extremen Ereignis, das gegen $500'000 \text{ m}^3$ Geschiebe zu mobilisieren vermochte. Die Auslösung des Murganges erfolgte in der Bastionsmoräne des Homadgletschers auf 2350 m ü. M. (Abb. 4, rechts). Die Erosionsleistung betrug hier zwischen 130 und $150 \text{ m}^3/\text{Laufmeter}$.

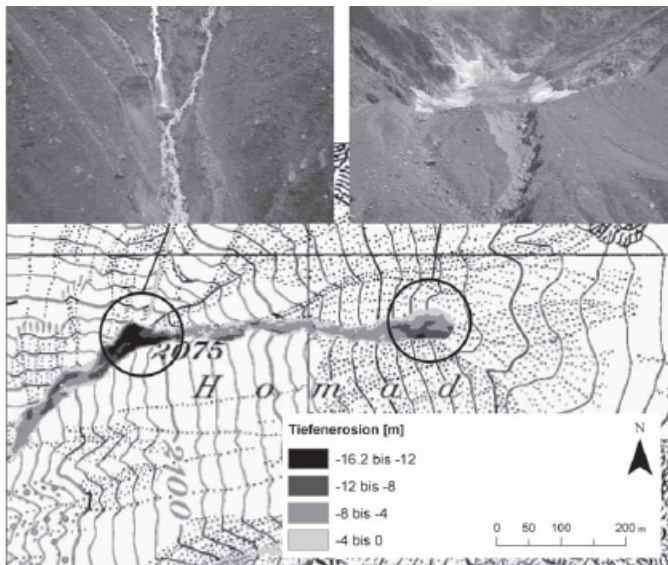


Abb. 4: Fotos (Flotron AG Meiringen) und Höhenmodellvergleich vor und nach dem Ereignis im Rotlauigraben, 22.8.2005. Pixelkarte PK25 (Reproduziert mit der Bewilligung DV 351.5 der Swisstopo)

Fig. 4: Pictures (Flotron AG, Meiringen) and comparison of digital terrain models before and after the event in Rotlauigraben, 22nd of august 2005. Pixelkarte PK25 (Reproduced with authorisation DV 351.5 of swisstopo)

Die lokal höchste Erosionsleistung mit $580 \text{ m}^3/\text{Laufmeter}$ wurde weiter unten, beim Zusammenfluss dreier Gerinne mit ähnlich grossem Einzugsgebiet beobachtet (Abb. 4, links). Auch hier wurden die erodierten Volumina durch einen Vergleich zwischen einem Höhenmodell vor und nach dem Ereignis abgeschätzt (Abb. 4, unten). An der Stelle nach der Vereinigung der drei Gerinne wurden zwischen 12 und 16 m Tiefenerosion gemessen.

KONZEPT FÜR DAS GIS-BASIERTE GESCHIEBE-ABSCHÄTZVERFAHREN

Das geplante GIS-basierte Geschiebe-Abschätzverfahren soll rein auf digitalen Input-Daten basieren. Dadurch ist die Aussagekraft auf die Gefahrenhinweisstufe beschränkt. Für detailliertere Aussagen sind ergänzende Feldaufnahmen unerlässlich. Das Verfahren soll es Praktikern aber erlauben, innerhalb von maximal 2 Stunden Arbeit einen ersten groben Eindruck der bei einem Grossereignis in einem Wildbacheinzugsgebiet ablaufenden Prozesse und der dabei zu erwartenden groben Geschiebefracht bei einem eigens gewählten Szenario zu erhalten.

In einem ersten Schritt werden im GIS aufgrund vordefinierter Klassen Gerinneabschnitte mit homogenen Neigungs- und Lockermaterialeigenschaften abgegrenzt und räumlich verknüpft. Im zweiten Schritt wird jeder homogene Gerinneabschnitt hinsichtlich seiner lokalen Standortfaktoren (Gerinneneigung, Abfluss- und Lockermaterialangebot), Transportprozess, Negativfaktoren und allfälligem Geschiebeinput aus dem Hang beurteilt. Zusätzlich werden die Bedingungen aus den oberhalb liegenden Gerinneabschnitten einbezogen und es wird beurteilt wie die oberen Abschnitte den zu beurteilenden Abschnitt beeinflussen (Negativfaktoren und vorherrschende Transportkapazität beim Eintreffen in den zu beurteilenden Gerinneabschnitt). Für diesen zweiten Schritt ist eine Beurteilungsmatrix vorgesehen, wie sie vom Prinzip her in Abb.5 dargestellt ist, jedoch derzeit noch unvollständig, stark vereinfacht und rein qualitativ.

Im obersten Teil der Beurteilungsmatrix (Abb. 5) werden die lokalen Standortfaktoren und Bedingungen im Gerinneabschnitt selber beurteilt, im mittleren Teil die Beeinflussung des Gerinneabschnitts durch oberhalb liegende Hang- oder Gerinneabschnitte. Im untersten Teil wird die Funktion des Gerinneabschnitts während dem Ereignis festgelegt und die Geschiebebilanz quantitativ abgeschätzt. Ausgangspunkt ist das Feld A7 (dicker Pfeil auf Abb.5).

Während der Beurteilung eines Gerinneabschnitts wird Zeile um Zeile, resp. Beurteilungskriterium um Beurteilungskriterium analysiert und der Verlauf der Beurteilung mit einer ausgezogenen Linie (=Beurteilungslinie) durch die Beurteilungsmatrix hindurch dargestellt. Je Erosions-fördernder ein Beurteilungskriterium im Gerinneabschnitt ist, umso mehr Felder werden auf dieser Zeile nach rechts gesprungen (dargestellt mit feinen Pfeilen pro Klasse des Beurteilungskriteriums in Abb. 5), je Erosions-hemmender ein Beurteilungskriterium ist, umso mehr wird nach links gesprungen. Hat ein Beurteilungskriterium keinen Einfluss, wird gerade nach unten zum nächsten gesprungen. Es gibt Beurteilungskriterien, bei denen je nach Bedingung nicht eine relative Bewegung nach rechts oder links erfolgt, sondern direkt auf ein bestimmtes Feld gehüpft werden muss (z.B. Beurteilungskriterium Zeile J, Transportkapazität überlastet zu Feld J6 in Abb. 5). Bei anderen Beurteilungskriterien wird eine absolute Grenze für den weiteren Verlauf der Beurteilungslinie festgelegt, die gegen die rechte Seite nicht durchbrochen werden kann. So kann zum Beispiel in einem Gerinneabschnitt im limitierten Lockematerial nur soviel Geschiebe mobilisiert werden, bis die Felssohle ansteht. Zusätzliche Erosions-fördernde Beurteilungskriterien haben keinen Einfluss mehr auf die Erosionsleistung in diesem Gerinneabschnitt (Beurteilungskriterium Zeile C, Lockermaterial limitiert in Abb.5)

Am Ende der Kriterienliste kann unten abgelesen werden, welche Funktion der Gerinneabschnitt hat und es erfolgt die Quantifizierung. Es wird abgeschätzt, wie gross die Erosionsleistung oder die abgelagerte Kubatur in diesem Gerinneabschnitt bei einem 100 jährlichen Ereignis aufgrund des gewählten Szenarios ist. Die gesamte Geschiebefracht pro Gerinneabschnitt wird nun bei der Funktion Erosion durch Multiplikation der abgeschätzten Erosi-

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die 61 analysierten Grossereignisse bilden einen wertvollen Datensatz, aus dem neue Erkenntnisse zum Prozessverständnis gewonnen werden können. Weitere detaillierte quantitative Analysen im Rahmen des Projekts (Abschluss Ende 2008) sollen die Abschätzung von zu erwartende Geschiebefrachten in verschiedenen Wildbachsystemen verbessern und das daraus entwickelte Geschiebe-Abschätzverfahren eine rasche, prozessbasierte Erstbeurteilung von Wildbachsystemen und der zu erwartenden Geschiebefracht bei Grossereignissen erlauben.

LITERATUR

- BAFU (Bundesamt für Umwelt), WSL (Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft) (2007): Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung, Bern 2007.
- Brauner, M. (2001): Aufbau eines Expertensystems zur Erstellung einer ereignisbezogenen Feststoffbilanz in einem Wildbacheinzugsgebiet. Dissertation am Institut für Forstliches Ingenieurwesen und Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien 2001.
- BWW (Bundesamt für Wasserwirtschaft) (1990): Ursachenanalyse Unwetterereignisse 1987, A5 "Geschiebelieferung durch Wildbäche", Schlussbericht, Bern 1990.
- D'Agostino, V., Cerato, M., Coali, R. (1996): Il trasporto solido di eventi estremi nei torrenti del trentino orientale. *Interpraevent* 1996, Tagungspublikation, Band 1, 377 – 386.
- Frick, E., Kienholz, H. (2007): SEDEX (Sediments and Experts), Eine praxistaugliche Methodik zur Beurteilung der Feststofflieferung in Wildbächen. Entwurf September 2007, Geographisches Institut Universität Bern, 2007.
- Hampel, R. (1980): Die Murenfracht von Katastrophenhochwässern. *Wildbach- und Lawinnenverbau*, Dezember 1980, H2, 71 – 102.
- Hegg, Ch., Rickenmann, D. (2002): Geschiebetransport in Wildbächen - Erfahrungen aus 15 Jahren zeitlich hochaufgelösten Messungen. In: *Proc. Internationales Symposium 2002, Zürich. Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau*. 39-48.
- Heinimann, H.R., Hollenstein, K., Kienholz, H., Krummenacher, B., Mani, P. (1998): Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren. *Umwelt-Materialien* Nr. 85. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bern 1998.
- Hübl, J., König, U. (2007): Real scale debris flow experiments at Schesatobel/Austria. *Geophysical Research Abstracts*, 9, 03436; ISSN 1029-7006.
- Hürlimann, M., Graf, C., Rickenmann, D., Näf, D., Weber, D. (2003): Murgang-Beobachtungsstationen in der Schweiz: Erste Messdaten aus dem Illgraben. *Phys. Geogr.* 41.
- Kienholz, H., Keller H.M., Ammann, W., Weingartner, R., Germann, P., Hegg, Ch., Mani, P., Rickenmann, D. (1997): Zur Sensitivität von Wildbachsystemen. *Schlussbericht NFP 31*, Zürich: vdf, Hochsch.- Verl. an der ETH.
- Rickenmann, D. (1990): Bedload transport capacity of slurry flows at steep slopes. *Mitteilung* Nr. 103 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, Zürich 1990.
- Spreafico, M., Lehmann, Ch., Naef, O. (1996): Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen, *Mitteilung* Nr. 4, *Landeshydrologie und Geologie*, Bern 1996
- Sterchi, R. (2007): GIS-Analysen zur Auslösung und Geschiebelieferung durch Hangmuren/Rutschungen während Grossereignissen in Wildbächen. *Seminararbeit* am Geographischen Institut der Universität Bern.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P. (1997): Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. *Schlussbericht NFP 31*, Zürich: vdf, Hochsch.- Verl. an der ETH.

EXPERIMENTAL APPROACH ON MEASUREMENT OF IMPULSIVE FLUID FORCE USING DEBRIS FLOW MODEL

Nobutaka Ishikawa¹, Ryuta Inoue², Kenjiro Hayashi³, Yuji Hasegawa⁴
and Takahisa Mizuyama⁵

ABSTRACT

This paper presents an experimental approach on measurement of impulsive fluid force using several materials of debris flow model. First, the hydrodynamic test for only water was performed by using water in stead of debris flow in order to confirm the measurement accuracy of impulsive fluid force as a preliminary test. Second, three kinds of debris flow model, i.e., sediment with water, gravel with sediment including water and beads with water were used as the quasi-debris flow by using channel test with a sharp slope. Third, the pumice stone produced at the Sakurajima volcanic mountain was used as the quasi-debris flow by flowing it naturally. This final test resulted in showing the impulsive load –time relation by presenting the surge in front wave.

Keywords: debris flow model, impulsive loading, pumice stone, fluid force, hydrodynamic test

INTRODUCTION

Recently many sediment disasters of Sabo dam as shown in Fig. 1 have occurred at the mountainous area in Japan by local downpour based on the global warming (Sabo Technical Center, 2005). These disasters may be caused by the impulsive loading of debris flow in the steep slope. In the current design of Sabo dam, the impulsive loading of debris flow is divided into two categories, i.e., the one is the impact



Fig.1: Debris flow disaster

load due to a huge rock based on the impact theory of solid body and the other is the fluid force due to the dynamic fluid theory (Mizuyama, 1979). However, the latter is acted on the Sabo dam as a static load based on the dynamic water pressure theory. On the other hand, the dynamic response analysis for the single degree of freedom system structure tells us that the dynamic deformation becomes two times larger than the static one, if the fluid force acts on

¹ Professor Emeritus of National Defense Academy, Research Adviser, Society for the Study of Steel Sabo Structures, 6-20-68, Kugo-cho, Yokosuka, 238-0022, Japan (e-mail; cgishikawa@m4.dion.ne.jp)

² Civil Engineer, Kyosei-Kiko, 1-23-1 Shinjiku, Shinjiku-ku, 160-0022 Japan (e-mail; inoue@kyosei-kk.co.jp)

³ Associate Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, National Defense Academy, 1-10-20 Yokosuka, 239-8686, Japan (e-mail; hayashik@nda.ac.jp)

⁴ Researcher, Civil Engineering Research Laboratory, 904-1, Tohigashi, Tukuba-shi, Ibaraki, 300-2633, Japan (e-mail; hasegawa@crl.or.jp)

⁵ Professor, Department of Forestry, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Kitashirakawa, Oiwake-cho, Sakyo-Ku, Kyoto, 606-8502, Japan (e-mail; mizuyama@kais.kyoto-u.ac.jp)

the structure impulsively (Ishikawa, et al. 2005). This means that the structural response will be changed by the action of static or dynamic loading. To this end, many studies have been made on the fluid force of debris flow based on the dynamic fluid theory (Hirao, et al.1970, Daido,1988, Miyamoto and Daido,1983, Mizuyama, et al. 1985, Miyoshi and Suzuki,1990, Horii, et al. 2002).

However, the measurement device with high frequency is required in order to measure the impulsive loading of fluid force accurately. Further, it should be considered for the occurrence device for the debris flow, the measurement of flow velocity and discharge. It should be also properly selected for the materials of debris flow model.

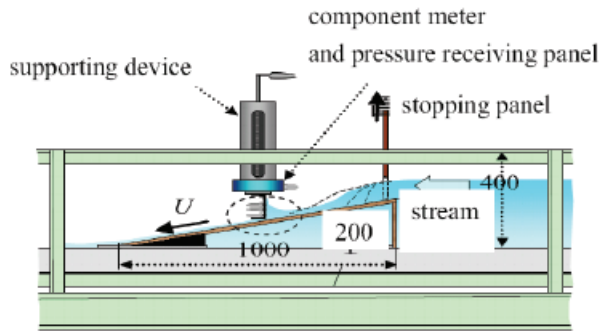
In this study, the hydrodynamic test was first carried out in order to confirm the accuracy of measurement of impulsive loading of fluid force by using only water as a preliminary test (Ishikawa, et al. 2006). Herein, both the force component meter and the pressure sensor were used to measure the fluid force simultaneously. Second, the hydrodynamic channel test with a steep slope was performed to examine the fluid force-time relations of sediment with water, gravel with sediments including water and beads with water. Third, the channel test was also executed for the measurement of the fluid force-time relation by using the pumice stone produced in the Sakurajima volcanic mountain. Finally, the current design load of fluid force is compared with the peak load and the stabilized load after the peak load obtained by the test results using the different materials of debris flow model.

PRELIMINARY TEST BY WATER

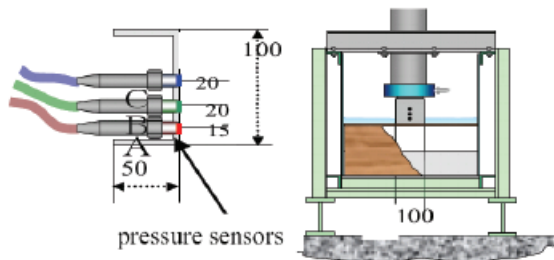
The hydrodynamic channel test was set up to measure the load –time relation at the instant of impact of fluid force by using only water in stead of debris flow model as a preliminary test. Both the force component meter and the pressure sensor were used to measure the fluid force at the same time. The slope of channel can be changed from 1/50 to 1/5 and the channel has the length of 12m, the width of 0.5m and height of 0.4m as shown in Fig.2. The water was flown suddenly by taking off the stopping panel. The pressure receiving panel is composed of the channel made by Aluminum in which the length is 100mm, the width is 100mm and the thickness is 5mm and is set up vertically as shown in Fig 2.

Measurement Items

The fluid force is measured by the force component meter (frequency is 700Hz) and the three pressure sensors (frequency is 2.5KHz) as shown in Fig. 3. The flow velocity is measured by the Laser-Doppler type meter.



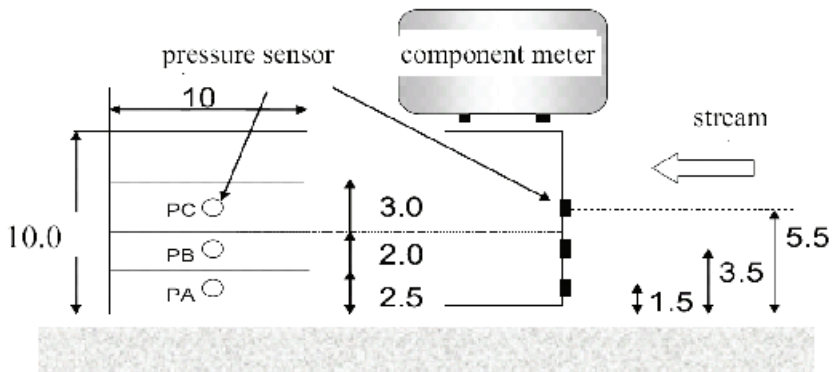
(a) 1/5 slope channel [mm]



(b) measurement

(c) front plan

Fig2: Hydrodynamic test [mm]



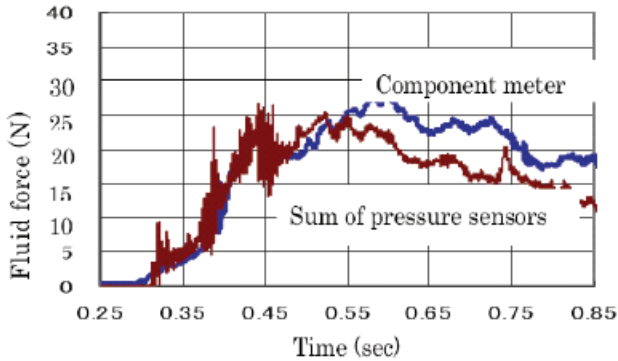
Sum of pressure sensors: $F_x = 10 \cdot (2.5 PA + 2.0 PB + 3.0 PC)$ [N]

Fig3: Measurement system [cm]

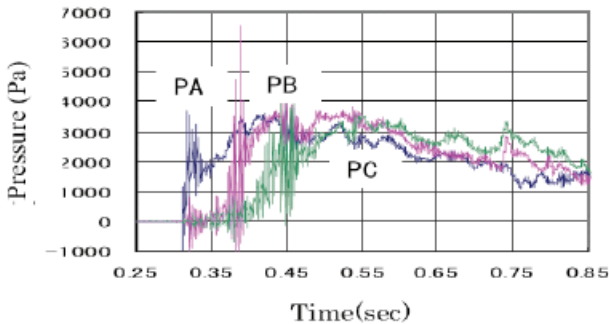
Accuracy of Measurement

Figure 4 (a) shows the fluid force- time relation in case of slope 1/50 and flow velocity of 1 2.6m/sec. The fluid force measured by the force component meter is almost agreement with the one by the sum of pressure sensors, but is a little different from after 0.55 sec. This may be caused by no existence of pressure sensor at the upper of pressure receiving panel. Figure 4(b) illustrates the local pressure – time relation measured at the points PA, PB, PC which are occurred from the bottom of channel in turn. The rise time (0.01 sec) to the peak pressure measured by the pressure sensors is smaller than the one (0.13 sec) measured by the force component meter in Fig.4 (a). This may be due to the difference between the frequencies of pressure sensor and component meter.

Figure 5 also shows the fluid force- time relation in case of 1/5 and velocity 2.0 m/sec. It is noted that fluid force measured by the force component meter is completely agreement with the one by the sum of pressure sensors. This may be due to the steep slope channel and therefore, the starting times of PA, PB, PC are almost the same. The rise time to the peak load by the pressure sensors is quite quick (0.01 sec) in this case.



(a) Fluid force-time relation



(b) Pressure-time relation

Fig4: Fluid force-time relation (water, channel slope 1/50, flow velocity 2.6 m/sec.)

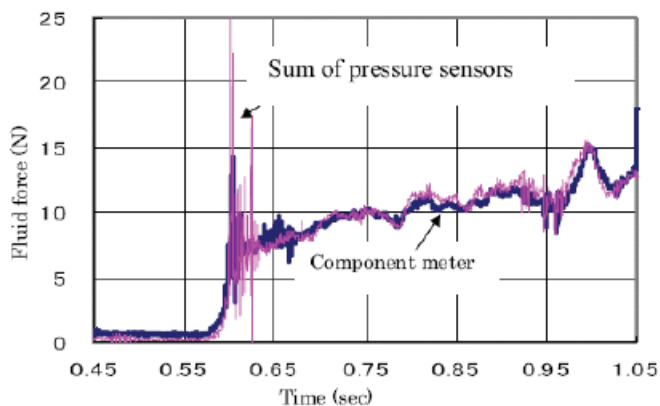


Fig.5: Fluid force-time relation
 (water, channel slope 1/5, flow velocity 2.0m/sec)

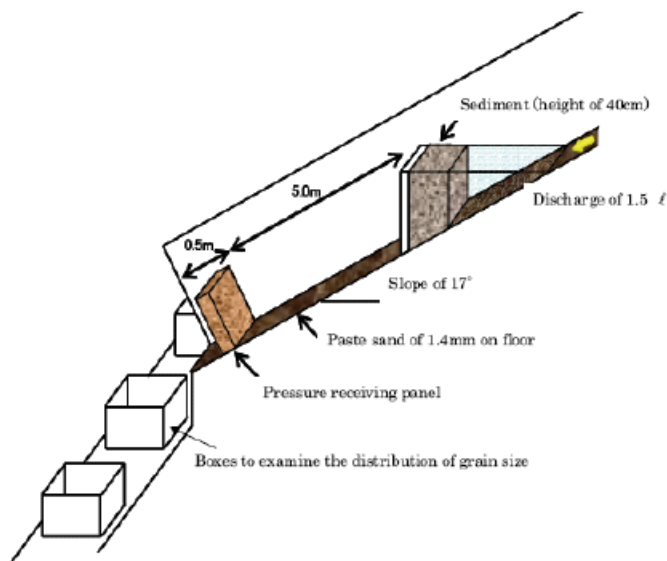


Fig6: Steep channel test set-up

STEEP CHANNEL TEST OF DEBRIS FLOW MODEL

Figure 6 shows the steep channel test set-up in which the debris flow model (sediment etc.) is flown by taking off the stopping panel after piling up the sediment to the height of 40cm. The channel has the slope of 17 degree, the width of 10cm and the slope length of 5m. The discharge of water is 1.5 l/sec and 4 kinds of debris flow model are used as follows:

(1) only water, (2) sediment with water, (3) gravel with sediment including water and (4) beads with water. In order to examine the distribution of grain size in the sediment, the boxes are used at the lower channel end by running them instantly as shown in Fig.6.

Fluid Force-Time Relation

Figures 7, 8, 9 and 10 show the fluid force-time relations of (1) only water, (2) sediment with water, (3) gravel with sediment including water and (4) beads with water, respectively. Table 1 illustrates the test results.

- 1.) The fluid force-time relations of (1) only water (Fig.7) and (3) gravel + sediment + water (Fig.9) show the bilinear shape with steep rise time. On the other hand, the fluid force-time relations of (2) sediment + water (Fig.8) and (4) beads + water (Fig.10) represent the bilinear type with slow rise time.
- 2.) It is considered that the latter tendency may be caused by the reason why the consistency is not reached to the equilibrium and the head of flow becomes to the wedge shape.

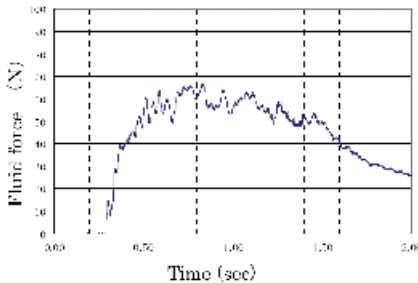


Fig7: Fluid force-time relation at sharp channel (only water)

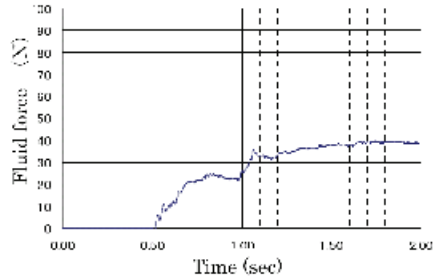


Fig8: Fluid force-time relation at sharp channel (sediment with water)

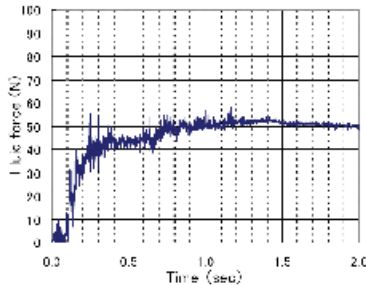


Fig9: Fluid force-time relation at steep channel (gravel with sediment including water)

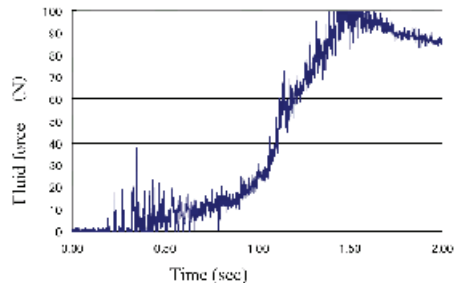


Fig10: Fluid force-time relation at sharp channel (bead with water)

Tab1: Test results using water, sediment, gravel and bead

Case	Peak Load F_{max} (N)	Stabilized Load F_u (N)	Ratio F_{max}/F_0	Rise time t_r (s)	Flow Velocity v (m/s)	Flow depth h (cm)	Design load F (N)	Ratio F_{max}/F	Ratio F_u/F
1(water)	60.5	50.0	1.21	0.10	3.42	4.05	47.4	1.27	1.05
2(water)	60.5	51.0	1.11	0.10	3.26	3.93	41.8	1.45	1.22
3(sediment +water)	40.0	40.0	1.00	0.20	3.05	2.34	39.2	1.02	1.02
4(gravel + sediment +water)	50.0	55.0	0.91	0.20	2.38	4.91	46.5	1.08	1.18
5(gravel + sediment +water)	50.5	52.5	0.96	0.15	2.54	4.84	52.2	0.96	1.01
6(gravel + sediment +water)	50.0	51.5	0.97	0.20	1.96	-----	-----	-----	-----
7(gravel + sediment +water)	45.0	46.0	0.98	0.20	2.21	-----	-----	-----	-----
8(bead +water)	100.0	90.0	1.11	0.40	2.35	6.98	79.6	1.13	1.13
9(bead +water)	100.0	89.0	1.12	0.50	2.40	6.91	83.6	1.08	1.055

PEAK LOAD AND STABILIZED LOAD

The peak load of (4) beads +water in Fig.10 is the largest among all cases. Because the impact load of fluid force may be due to the hardness of bead, although the rise time to the peak load is the latest. The stabilized load means when the fluid force becomes constant after the peak load. These loads of materials (1), (2) and (4) are smaller than the peak load except the material (3). The reason why the stabilized load of material (3) (cases 4-7 in Tab.1) becomes larger than the peak load may be due to the effect of sedimentation of gravel.

RISE TIME TO THE PEAK LOAD

The rise time to the peak load is found as shown in Tab.1 by the fluid force –time relations in Figs.7, 8, 9 and 10. The rise times of materials (2), (3) and (4) are very slow compared with (1) only water. This may be the same reason as mentioned in fluid force-time relation 2.).

Design Load

The design fluid force load is computed by using Eq.(1) as shown in Table 1.

$$F = \rho \cdot A \cdot v^2 \quad (1)$$

where, ρ is the density (g/cm^3), A ($b \times h$) is the sectional area of channel (cm^2), b , h are the channel width and the average water depth, v is the flow velocity (cm/sec).

It should be noted from Tab.1 that the design loads in all cases are almost smaller than the peak loads. This may be the reason why the design loads in all cases are almost the same as the stabilized loads after the peak and the average water depth may be estimated as the smaller than the depth after the sedimentation.

DEBRIS FLOW MODEL TEST USING PUMICE STONE

Outline of Test

The pumice stone produced in the Sakurajima volcanic mountain was used as the debris flow model. The slope of channel is 10° and the density of pumice stone is 1.29g/cm^3 . The method of flow is performed in the two ways as follows as shown in Fig.11.

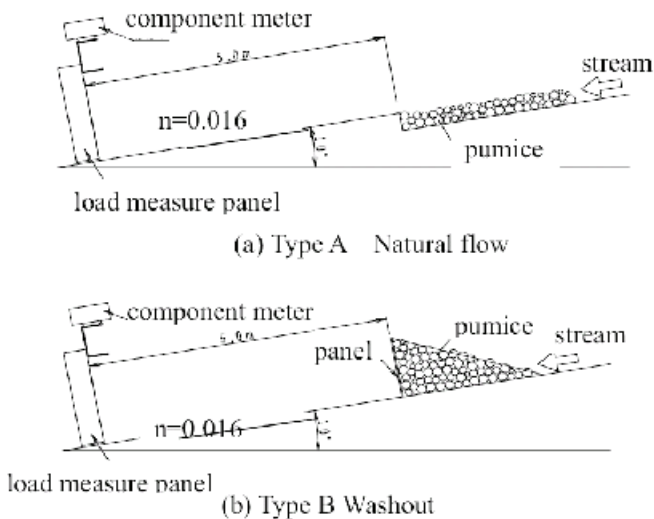


Fig. 11: Model test using pumice

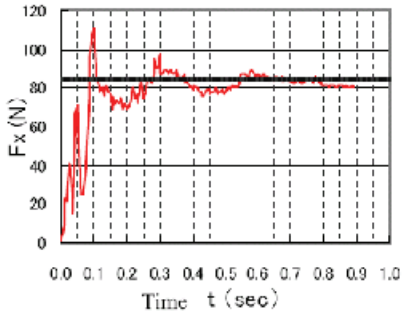


Fig.12: Case 1: Fluid force-time relation
(pumice Type B) [Thick line: design load]

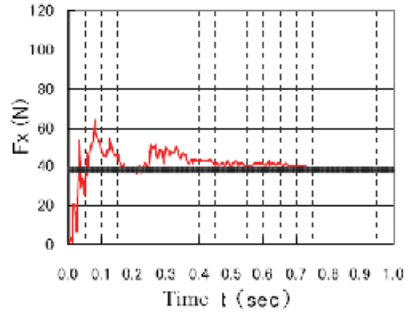


Fig.13: Case 2: Fluid force-time relation
(pumice, Type A) [Thick line: design load]

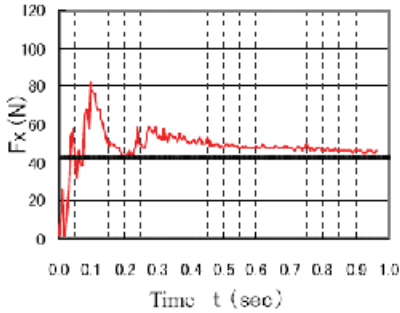


Fig.14: Case 3: Fluid force-time relation
(pumice, Type A) [Thick line: design load]

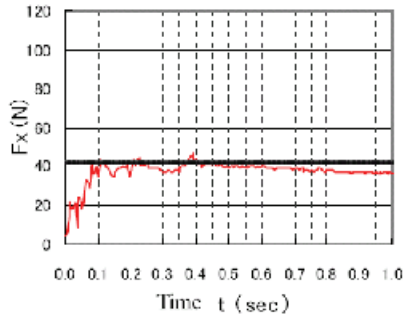


Fig.15: Case 5: Fluid force-time relation
(pumice, Type C) [Thick line: design load]

Furthermore, it is added to change the channel slope 17° (Type C).

- (1) Type A (Natural flow, channel slope with 10°): The pumice stones are flown naturally without using the stopping plate.
- (2) Type B (Washout, channel slope with 10°): The pumice stones are flown by taking off the stopping plate after sedimentation.
- (3) Type C (Natural flow, channel slope with 17°): The pumice stones are flown naturally as the same manner as Type A by only changing the channel slope with 17° .

The flow velocities in all cases are about 1.6-1.7m/sec.

Fluid Force-Time Relations

Figures 12, 13, 14 and 15 show the fluid force-time relations in cases 1,2,3 and 5 in Tab. 2 , respectively.

- (1) It is found that the fluid force-time relations in all cases show the bilinear behavior with very steep slope rather than the cases of water in Fig.7 and gravel +sediment +water in Fig.9.
- (2) This tendency may be due to the reason why the head flow of pumice forms the surge shape by coming up to the surface at the front of pumice stones.
- (3) It is interested to note that the rise times in all cases are very quick rather than the cases of sediment + water, gravel + sediment +water and bead + water. This may be caused by the surge shape in which the front wave of pumice is flown as stepwise.

The Peak Load and Stabilized Load

Table 2 shows the peak load and the stabilized load after the peak in all cases of pumice stones.

- (1) The ratios of peak load and stabilized load (F_{\max} / F_0) are almost 1.7-1.9 and this tendency means the impulsive loading, because of forming the surge shape due to the effect of rising up to the surface of pumice stones.
- (2) However, the ratio (F_{\max}/F_0) was 1.2 in case 5 of type C. This may be the reason that the velocity of front wave increases and as such, the front pumice did not rise up to the surface and did not represent the surge shape.

Rise Time to the Peak Load

Table 2 shows the rise time to the peak load in all cases using pumice stone.

- (1) The rise times of cases 1-4 are all less than 0.1 sec except case 5. This is regarded as the impulsive loading –time relation, and the structural dynamic response will become two times larger than the static loading, if this impulsive loading acts on the structure (Ishikawa, N. et al. 2005).
- (2) Therefore, the rise time is important factor for the judgment of impulsive loading or not, although this value is actually compared with the natural frequency of the structure.

Design Load

The thick line in Figs.12-15 and Table 2 show the design fluid force load which is computed by using the average water depth, the average velocity and the density of pumice stones ($\rho = (1.29 \times (0.44 + (1.00 \times (1 - 0.44))) = 1.13 \text{ g/cm}^3$), because the transportation consistency of pumice stones is measured as 0.44.

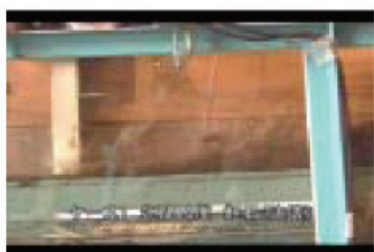
- (1) The ratios of stabilized load and design load (F / F_0) in all cases become almost 1.0. This fact indicates that the design load coincides with the stabilized load.
- (2) The ratios of peak load and design load (F / F_{\max}) of cases 2, 3, 4 are about 1.7-1.8 and as such, the impulsive loading is 1.7-1.8 times larger than the design load. This means that the impulsive load acts on the Sabo dam large rather than the design load.

Tab2: Test results using pumice

Case (Type)	Peak load $F_{max}(N)$	Stabilized load $F_{\sigma}(N)$	Ratio F_{max}/F_{σ}	Rise time $t_r(\text{sec})$	Flow velocity $v(\text{m/sec})$	Flow depth ht(cm)	Design load F(N)	Ratio F_{max}/F	Ratio F_{σ}/F
1 (B)	112.2	80	1.4	0.098	2.54	11.6	84.6	1.3	0.95
2 (A)	63.9	38	1.7	0.078	1.60	13.4	38.8	1.7	0.98
3 (A)	82.7	47	1.8	0.092	1.84	12.9	49.4	1.7	0.95
4 (A)	89.2	48	1.9	0.070	1.84	13.0	49.7	1.8	0.97
5 (C)	45.4	38	1.2	0.112	1.71	13.0	43.0	1.2	0.88

Sedimentation Profile

Figure 16 shows the sedimentation profile before the impact to the panel in Cases 1, 2, 3 and 5. It is noted that the front waves in Cases 2 and 3 resulted in showing the surge shape, but the front waves in Cases 1 and 5 illustrated the wedge shape.



(a) Case 1 (Type B)



(b) Case 2 (Type A)



(c) Case 3 (Type A)



(d) Case 5 (Type C)

Fig.16: Sedimentation profile of pumice before impact to pannel

CONCLUSIONS

The following conclusions are drawn from this study.

- (1) It is confirmed that the fluid force measured by the force component meter is almost good agreement with the sum of pressure sensors. Therefore, the force component meter can measure the fluid force of debris flow models, i.e., water, sediment +water, gravel +sediment +water, bead +water and pumice +water.
- (2) It is found that it is difficult to get the impulsive loading in cases of sediment +water, gravel + sediment +water, even if the channel slope becomes steep.
- (3) It is interested to note that the front wave of debris flow model using pumice stone resulted in showing the surge shape and as such, the ratio of the peak load and the stabilized load became quite large (1.7-1.8). This phenomenon is called as the impulsive fluid force.
- (4) The rise time in fluid force-time relation using pumice stone became faster than other debris flow model materials. This may be due to the effect of forming the surge shape.
- (5) These phenomena will be simulated by using the particle method which may be used for the Sabo dam design in the near future.

REFERENCES

- Daido, J. (1988): Impact Load of Debris Flow acting on Sabo Dam Proc. of Sabo Society Meeting, pp.275-276.
- Hirao, K., Tenda, K., Tabata, S., Matsunaga, M. and Ichinose, E. (1970): Fundamental Test on the Impulsive Pressure of Surge(Part 1), Journal of Shin-Sabo, Vol.76, pp.11-16.
- Horii, N., Toyosawa, Y., Tamate, S. and Hashizume, H. (2002): Special Research Report of Industrial Safety Institute, No.25, pp.17-23.
- Ishikawa, N., Shima, J., Yoshida, K. and Beppu, M. (2005): A Study on the Behavior of Sabo Dam under Debris Fluid Force, Proc.of the Sabo Society Meeting, pp.224-225.
- Ishikawa, N., Hayashi, K., Shima, J. and Mizuyama, T. (2006): Measurement Test of Impulsive Fluid force acting on Sabo Dam Model, Proc. of the Sabo Society Meeting, pp.226-227.
- Mizuyama, T. (1979): Evaluation of Debris flow Impact on Sabo Dam and Its Problems, Journal of Shin-Sabo, 112, pp.40-43.
- Mizuyama, T., Shimohigashi, H., Nakanishi, H. and Matsumura, K. (1985): Experimental Study on Debris Flow Loads for Steel Slit Type Sabo Dam, Journal of Shin-Sabo, Vol.37, No.5, pp.30-34.
- Miyamoto, K. and Daido, J. (1983): A Study on Impact Load acting on Sabo Dam (Part 1), Memoirs of Science and Engineering Institution of Ritsumeikan University, Vol.41, pp.61-79.
- Miyoshi, I. and Suzuki, M. (1990): Experimental Study on Impact Load of Debris Flow, Journal of Shin-Sabo, Vol.43, No.2, pp.11-19.
- Sabo Technical Center (2005): Actual Conditions of Sediment Disaster.

NUMERISCHE HYDROLOGISCHE UND HYDRAULISCHE SIMULATION DER AUSWIRKUNGEN EINER MÖGLICHEN FLUTWELLE IM RAHMEN EINER RISIKOANALYSE UND RSIKOMANAGEMENTS AM SUGGADINBACH

NUMERICAL HYDROLOGICAL AND HYDRAULIC SIMULATION OF THE EFFECTS OF A POSSIBLE FLOOD WAVE AS PART OF RISK ANALYSIS AND RISK MANAGEMENT AT THE SUGGADINBACH

Gerald Jäger¹, Markus Moser²

ZUSAMMENFASSUNG

Das Mäbtobel, mit einem Einzugsgebiet von 0,42 km², stellt aufgrund einer Felsgleitung im Oberlauf ein großes Gefahrenpotential dar. Im Jahre 1999 hat sich diese Felsgleitung laut einer geologischen Untersuchung beschleunigt und dadurch besteht die Gefahr einer Verklauung des Vorfluters „**Suggadinbach**“ durch herab fallende Fels- bzw. Murmassen von ca. 800.000 m³. Die weitere Folge ist laut Experten ein Dammdurchbruch mit anschließender Hochwasserwelle, welche direkt auf die Ortschaft St. Gallenkirch trifft. Aufgrund dieses Szenarios wurde ein Projekt ausgearbeitet, welches aufbauend auf den neuen Erkenntnissen und Messungen im Einzugsgebiet des Mäbtobels, das Gefahrenpotential und die Auswirkungen dieser Flutwelle für den Siedlungsraum von St. Gallenkirch beurteilt und Maßnahmen im Rahmen eines Risikomanagements beinhaltet.

Als Projektgrundlagen wurden dem Stand der Technik entsprechend Laser-Scan Daten zur Erstellung eines Geländemodells herangezogen. Ebenfalls als Grundlage diente eine geologische Detailuntersuchung durch das Büro Geognos Bertle, wonach mit einer Entlastung der labilen Hangbereiche zu rechnen ist. Aufgrund dieser geänderten Ausgangssituation wurde von Experten für das Bemessungsereignis eine Kubatur von ca. 150.000 m³ Fels- und Murmassen im unmittelbaren Einstoßbereich in den Vorfluter Suggadinbach festgelegt. Die hydrologische Berechnung erfolgte mit dem Modell HEC-HMS. Die Plausibilitätsprüfung und Kalibrierung des Modells konnte mithilfe der dokumentierten Anschlaglinien und Niederschlagsmengen des Ereignisses vom August 2005 durchgeführt werden.

Der Einfluss des Dammbrechens auf die Überflutung des Siedlungsgebietes erfolgte durch die hydraulische Berechnung und Analyse verschiedener Szenarien. Zur Genauigkeitssteigerung

1 Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Sektion Vorarlberg, Gebietsbauleitung Bregenz Rheinstraße 32/5; A 6900 Bregenz (Tel.: +43 – 5574 – 74995/414; Fax: +43 – 5574 – 74995/5; email: gerald.jaeger@die-wildbach.at)

2 Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Sektion Salzburg, Gebietsbauleitung Tamsweg Raiffeisenstraße 258; A 5580 Tamsweg (Tel.: +43 – 6474 – 2256/16; Fax: +43 – 6474 – 2256/17; email: markus.moser@die-wildbach.at)

und Plausibilitätsprüfung wurde der Simulationsabschnitt nach hydraulischen und topographischen Gesichtspunkten in 3 Abschnitte gegliedert. Im Abschnitt 1 wird ein Murgang im Mäbtobel mit Einstoß in den Vorfluter und möglicher maximaler Aufstauhöhe simuliert. Diese Simulation erfolgte mit dem Softwarepaket FLO-2D. Eine Grundlage dafür ist eine rheologische Untersuchung des Murmaterials. Abschnitt 2 beschäftigt sich mit dem Dammbuchsenzenario, welches mögliche Varianten eines Dammbuchsen mit anschließender Flutwelle beinhaltet. Im dritten Abschnitt befindet sich die Schluchtstrecke und der Schwemmkegel bzw. das Siedlungsgebiet von St. Gallenkirch. In diesem Abschnitt wird das „Worst Case Szenario“ einer Flutwelle simuliert und die potentiell gefährdeten Bereiche am Schwemmkegel ermittelt. Aufbauend auf diesen Ergebnissen und Erkenntnissen konnte ein Maßnahmenkatalog im Rahmen des Risikomanagements ausgearbeitet werden.

Keywords: Muren, Hydraulik und Hydrologie, Simulationen

ABSTRACT

The Maesstobel bears high risks due to a rockslide in the upper reach. There is the danger of debris jam in the receiving stream Suggadinbach caused by tumbling rock and debris flows of approximately 800,000 cubic metres. According to experts, dam failure and a consecutive flood wave would follow. The flood wave would then directly hit the town of St.Gallenkirch. Due to this scenario, a project was designed which assesses the hazard potential and the effects of this flood wave on the residential area of St. Gallenkirch. The fundamental question is if the discharge peak, together with dam failure, means a higher hazard potential for the residential area at the deposition fan, or if the discharge peak gets flatter through the 2.2 kilometres of canyon reach – which would mean a slimmer hazard potential. Corresponding to the latest technical standard, laser scan data was used in the project to set up a digital terrain model. Another basis was a detailed geological scan. The hydrologic calculations were carried out with the aid of the HEC-HMS model. As to how much dam failure would flood residential areas, various scenarios were assumed in hydraulic calculations and analyses. So as to increase accuracy and test plausibility, the simulation section was split into three sub sectors according to topographic and hydraulic aspects. In sector 1, debris flow in the Maesstobel is simulated (FLO-2D), involving its flow into the receiving river and the possible maximum height of retained debris and water. Sector 2 deals with the scenario of dam failure (HEC-RAS), and it contains different variants of dam failure and the consecutive flood wave. The failure takes place at the discharge peak of 180 m³ per second. The breach reaches its peak after roughly 10 minutes and increases the discharge of the Suggadinbach from 180 to 380 m³ per second. This is pure water discharge. The peak is reached approximately 25 minutes after the beginning of the failure. For further calculation of the flood wave, a corresponding debris ratio was added to water hydrograph dam failure, as the deposited bedload of the Maesstobel is subsequently eroded by water and then carried on to lower reach or deposited at the fan. The discharge scenario assumed is a debris flow with 350.000 m³ of sediment. A discharge peak of 380 m³ per second plus bedload makes a peak of approximately 760 m³ per second. In the third sector, there is debris cone and the residential area of St.Gallenkirch. In this section, the worst case scenario is simulated (FLO-2D). The threatened areas on the debris cone are defined. On the basis of these findings and results, a bundle of active and passive measures could be worked out as part of a risk management concept. Moreover a new technical construction project, which contains 3 debris-sorting dams, was carried out. In addition to the active measurement passive mitigation measures

such as a monitoring system have been installed. This monitoring system is technically improved in order to provide information to local authorities if a debris flow will occur.

Keywords: debris flow, Hydraulics and hydrology, Flood risk, simulation

EINLEITUNG

Steigender Siedlungsdruck im alpinen Lebensraum und ein erhöhter Sicherheitsanspruch der Öffentlichkeit verbunden mit der technologischen Entwicklung fordern vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung (WLVB) in Österreich eine ständige Weiterentwicklung und den Einsatz neuester Technologien und Instrumente für den präventiven Schutz der Menschen und des Lebens- und Kulturraumes. Umfassende Risikoanalysen und ein Risikomanagement bilden das Grundkonzept eines umfassenden Naturgefahrenmanagements. Im gegenständlichen Projekt wurde die Auswirkung einer möglichen Flutwelle im Rahmen einer Risikoanalyse und Risikomanagements am Mäbtobel mittels neuester Simulationstechniken untersucht.

PROBLEMSTELLUNG

Das Mäbtobel, mit einem Einzugsgebiet von 0,42 km², stellt aufgrund einer Felsgleitung im Oberlauf ein großes Gefahrenpotential dar [8].



Abb1: Lage des Einzugsgebietes Mäbtobel [8]

Fig1: Location of the catchment area [8]

Im Jahre 1999 hat sich diese Felsgleitung laut einer geologischen Untersuchung beschleunigt und dadurch besteht die Gefahr einer Verklausung des Vorfluters durch herabfallende Fels- bzw. Murmassen von ca. 800.000 m³ [3]. Die weitere Folge ist laut Experten ein Dammdurchbruch mit anschließender Hochwasserwelle im Suggadinbach, welche direkt auf die Ortschaft St. Gallenkirch trifft. Daher wurden bei der Gefahrenzonenplanung für die Gemeinde St. Gallenkirch große rote Gefahrenzonen für den Schwemmkegelbereich ausgeschieden. Nach dem Hochwasserereignis von 2005 wurde das Verbauungskonzept des Mäßtobels bzw. Suggadinbaches nochmals überarbeitet.



Abb2: Geschiebestausperre während dem Hochwasserereignis aus dem Jahre 2005

Fig2: Debris sorting dam during the event in August 2005

ZIELSETZUNG UND METHODIK

Die vorliegende Arbeit, die den Einsatz neuester Technologien und Simulationstechniken beinhaltet, soll die Auswirkung und den Einfluss eines Verklausungsbruchs (Dammdurchbruch) im Mäßtobel/Suggadinbach auf das Siedlungsgebiet von St. Gallenkirch quantifizieren. Die grundsätzliche Frage lautet, ob die Abflussspitze mit Verklausungsbruch ein erhöhtes Gefahrenpotenzial für die Siedlung am Schwemmkegel bedeutet, oder ob sich durch die 2,2 km lange Schluchtstrecke die Abflussspitze abflacht und somit das Gefahrenpotenzial gering gehalten werden kann? [1]

Mit Hilfe einer detaillierten Ereignisdokumentation und Ereignisanalyse des Ereignisses vom 22. auf den 23. August 2005 werden die Grundlagen zur Rückrechnung des Ereignisses ermittelt. Die hydrologischen Berechnungen erfolgen mit dem hydrologischen Modell HEC-HMS. An ausgewählten Querprofilen werden die errechneten Abflüsse mit den

dokumentierten und rückgerechneten Abflüssen zeitlich und in ihrer Größenordnung gegenübergestellt und somit die Ergebnisse des Niederschlag-Abfluss-Modells verifiziert. Diese Grundlagen dienen als Basis für die hydraulische Simulation des Ereignisses. Die Berechnungen konzentrieren sich auf den Gerinneabschnitt im Zusammenfluss Mäßtobel und Suggadinbach, indem laut Experten die Verklausung erwartet wird. Um die auftretenden Prozesse (Murgang, Dammbbruch, geschiefbeführendes Hochwasser) möglichst realitätsnah nachzubilden, wird der Gerinneabschnitt in 3 Berechnungsabschnitte gegliedert, und eine Kombination von 1- und 2D Modellen durchgeführt.

HYDROLOGISCHE UND HYDRAULISCHE SIMULATION

Die Eingangshydrographen basieren auf den Ergebnissen, die im Zuge der hydrologischen Simulation (Programm HEC-HMS) ermittelt wurden. Exemplarisch zeigt die nachfolgende Grafik die Abflussganglinie des Hauptbaches Suggadinbach am Knoten Zubringer Mäßtobel. Das Bemessungsszenario ergibt eine Abflussspitze von 180 m³/s.

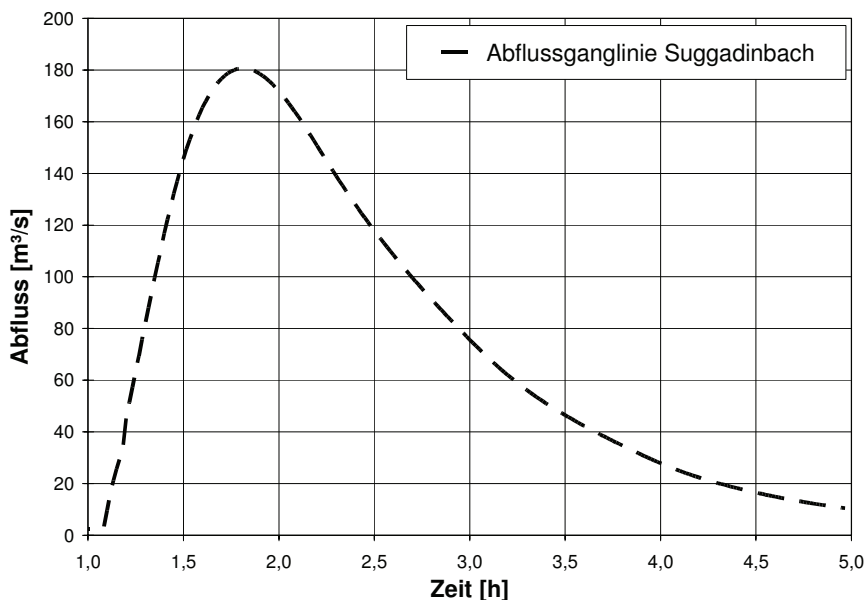


Abb3: Abflussganglinie Suggadinbach

Fig3: Discharge peak of the Suggadinbach

Die nachfolgende Abbildung 3 zeigt schematisch die prozessorientierte Gliederung der hydraulischen Simulation in 3 Abschnitte. Jeder Simulationsabschnitt besitzt einen Eingangs- und Ausgangsknoten. Die für das jeweilige Szenario berechnete Abflussganglinie am Ausgangsknoten dient als Eingangsganglinie für den nächsten Abschnitt.

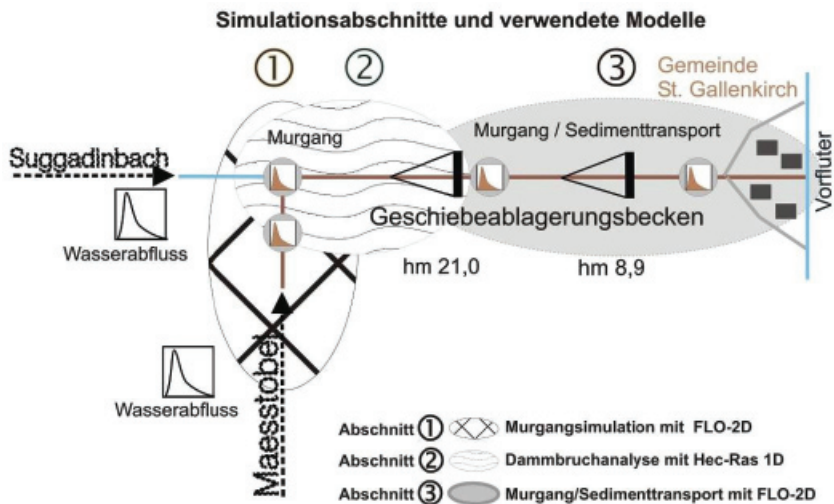


Abb4: Simulationsbereich und Abschnitte

Fig4: Simulation area and sectors

Der erste Abschnitt dient der Simulation des Murganges, der zweite Abschnitt der Simulation der Verklauung (Dammbuch) und der dritte Abschnitt der Simulation der Wellenverformung bis zum Schwemmkegel [11].

1. Abschnitt:

Simulation 1: Murgang des Mäbtobels in den Suggadinbach – Die Murmasse führt zu einem Aufstau des Suggadinbaches von ca. 15 m Höhe (FLO 2D) [6].

2. Abschnitt:

Simulation 2: Dammbuchzenario mit dem Softwarepaket HEC-RAS; die entstehende Bresche erhöht die Abflussspitze des Suggadinbaches von 180 m³/s auf 380 m³/s [2,4].

3. Abschnitt:

Simulation 3: Murgang durch den Mittellauf des Suggadinbaches (FLO 2D) [6]; Zu der Reinwasserabflussganglinie kommt noch der Geschiebeanteil dazu – Abflussspitze: 380 m³/s + Geschiebe ergibt eine Spitze von ~760 m³/s [2]

Simulation des Murgangs aus dem Mäbtobel im Abschnitt 1

Die Grundlage für die Berechnung des Murgangs mit dem Softwarepaket FLO-2D stammt aus der geologischen Studie Bertle, einer rheologischen Untersuchung des Murmaterials am Institut für Alpine Naturgefahren der BOKU Wien, der Aufbereitung der Laser-Scan Daten und einer Detailbegehung des Einzugsgebietes. Die laut Experten zu erwartenden Szenarien eines Aufstaus des Suggadinbaches durch das Mäbtobel (ohne Hochwasserführung des Suggadinbaches) und ein Murgang des Mäbtobels mit gleichzeitiger Hochwasserspitze des Suggadinbaches bilden die Ausgangslage für die Simulation 1 und 2.

Als Ergebnis liegen somit zwei Szenarien für einen Mureinstoß in den Vorfluter vor, die als Grundlage für den Damm- bzw. Verklauungsbruch im Abschnitt 2 dienen.

Ermittlung des Hydrographen infolge Sperrenbruch im Abschnitt 2

Bisher gibt es nur wenige Beispiele von Verkläuerungsbrüchen durch Wassereinstau. Erkenntnisse aus der Literatur werden als Anhaltswerte für die Abschätzung des Breschenabflusses und der Ausflusszeiten verwendet.

Die Größe und Einstauhöhe am Knoten Maßtabel/Suggadinbach konnte auf Basis der Ergebnisse im Abschnitt 1 mit ca. 15 m über Bachsohle festgelegt werden. Als Abflussszenario wird ein Murgang mit ca. 350.000 m³ Sedimentanteil und laut Expertenschätzung eine Breschengröße mit einer Breite von 25 m und einer Höhe von 10 m festgelegt. Der Bruch erfolgt bei Abflussspitze des Suggadinbaches mit 180 m³/s. Die Bresche erreicht den Höchststand nach ca. 10 min und erhöht den Abfluss des Suggadinbaches von 180 m³/s auf 380 m³/s. Dabei handelt es sich um einen Reinwasserabfluss. Die Abflussspitze wird ca. nach 25 min nach Bruchbeginn erreicht [1,5].

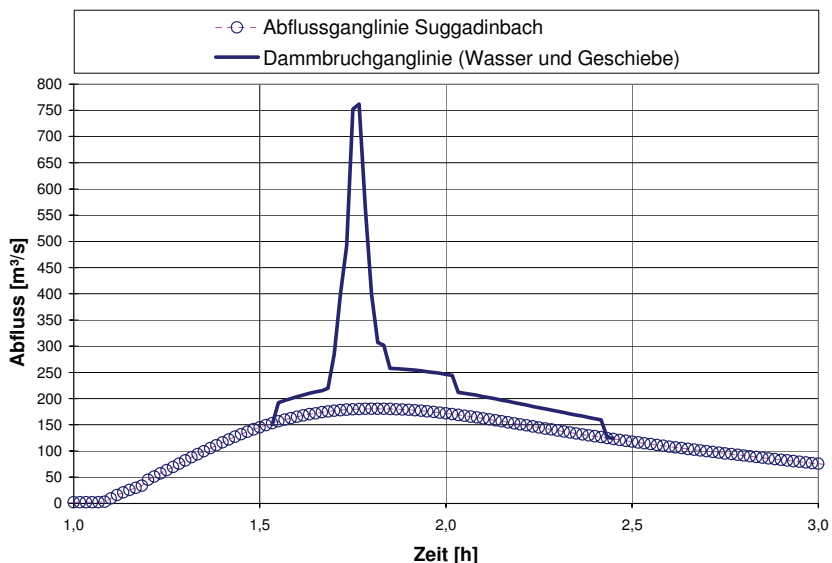


Abb5: Abflussganglinie Dammdurchbruch (schwarz) und Ganglinie des Vorfluters Suggadinbach (punktiert)

Fig5: Runoff hydrograph of dam failure (black) and inflow hydrograph Suggadinbach (dotted)

Abschnitt 3

Für die weitere Berechnung der Flutwelle im Abschnitt 3 wurde der Reinwasserdammdurchbruchganglinie noch ein entsprechender Geschiebeanteil hinzugefügt, da das abgelagerte Geschiebe vom Maßtabel in weiterer Folge durch die Wassermassen erodiert und in den Unterlauf bzw. am Schwemmkegel abtransportiert wird [6]. Die Simulationsergebnisse sind ein Teil der Prozessanalyse, wodurch mögliche Gefahren am Schwemmkegel bzw. im Siedlungsgebiet identifiziert, lokalisiert und in ihrer räumlichen Ausbreitung abgegrenzt werden können.

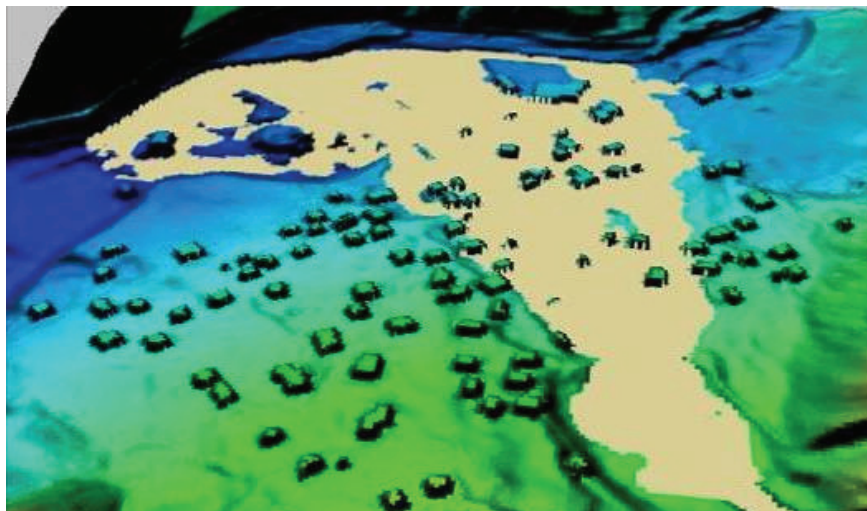


Abb6: Gefährdete Bereiche am Schwemmkegel des Suggadinbaches (Ergebnis der Simulation)

Fig6: Threatened areas on the fan of St. Gallenkirch (result of the simulation)

ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Gemeinde St. Gallenkirch hat einen Antrag an den Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung um Ausarbeitung einer Studie bzw. eines Projektes zur Erhöhung der Sicherheit im Siedlungsraum von St. Gallenkirch gestellt. Nach Einschätzung von Experten besteht die Gefahr einer Verklauung durch den Einstoß von Fels- und Murmassen aus dem Mäbtobel und somit ein möglicher Dammdurchbruch mit anschließender Flutwelle.

Aufgrund dieses Szenarios wurde ein Projekt ausgearbeitet, welches aufbauend auf den neuen Erkenntnissen und Messungen im Einzugsgebiet des Mäbtobels, das Gefahrenpotential und die Auswirkungen dieser Flutwelle für den Siedlungsraum beurteilt und Maßnahmen im Rahmen eines Risikomanagements beinhaltet. Dieses Risikomanagement beinhaltet eine Risikoanalyse mit einer Ereignisdokumentation und eine Gefahrenanalyse. Durch eine Gefahrenanalyse, die sich in Prozessanalyse und Wirkungsanalyse gliedert, können mögliche Gefahren identifiziert, lokalisiert und in ihrer räumlichen Ausbreitung abgegrenzt werden. Da die räumliche Ausbreitung bei großen und seltenen Ereignissen vor allem bei Murgängen nur schwer vorhersehbar ist, wird durch sinnvolle Szenarienbildung versucht, die Vorhersagesicherheit zu erhöhen. Das Ziel ist die Klassifizierung der Art, der Ausdehnung und des Grades der Gefährdung am Schwemmkegel.

Als Ergebnis dieser Studie wurde festgestellt, dass sich die Gefährdungsbereiche („Rote“ und „Gelbe Gefahrenzonen“) im Wesentlichen mit dem erstellten Gefahrenzonenplan aus dem Jahre 2003 decken. Als Maßnahmen im Rahmen des Risikomanagements Mäbtobel/Suggadinbach sieht das Projekt nun die Errichtung von weiteren 2 Wildbachsperrern

mit Retentionsräumen vor, die die Abflussspitze bei einem eventuellen Dammbbruch abflachen und entschärfen sollen [7].



Abb7: Verbauungskonzept Mästobel/Suggadinbach

Fig7: Protection concept and mitigation measures Mästobel/Suggadinbach

Eine derartige Sperre wurde im Jahr 2002 bereits errichtet und hat sich beim Hochwasser im August 2005 bestens bewährt [7].

Das Sicherungssystem beinhaltet ebenfalls ein Frühwarnsystem, wodurch eine Warnung der Bevölkerung im Siedlungsbereich erfolgt. Die Vorwarnzeit beträgt bei Unterstellung der in der Literatur angegebenen Fließgeschwindigkeiten von Murgängen bzw. Hochwasserabflüssen mit starkem Geschiebetransport [12] zwischen 10 und 15 min. Im Rahmen des bestehenden Katastrophenplans können die unmittelbar betroffenen Bewohner informiert und evakuiert werden [10].

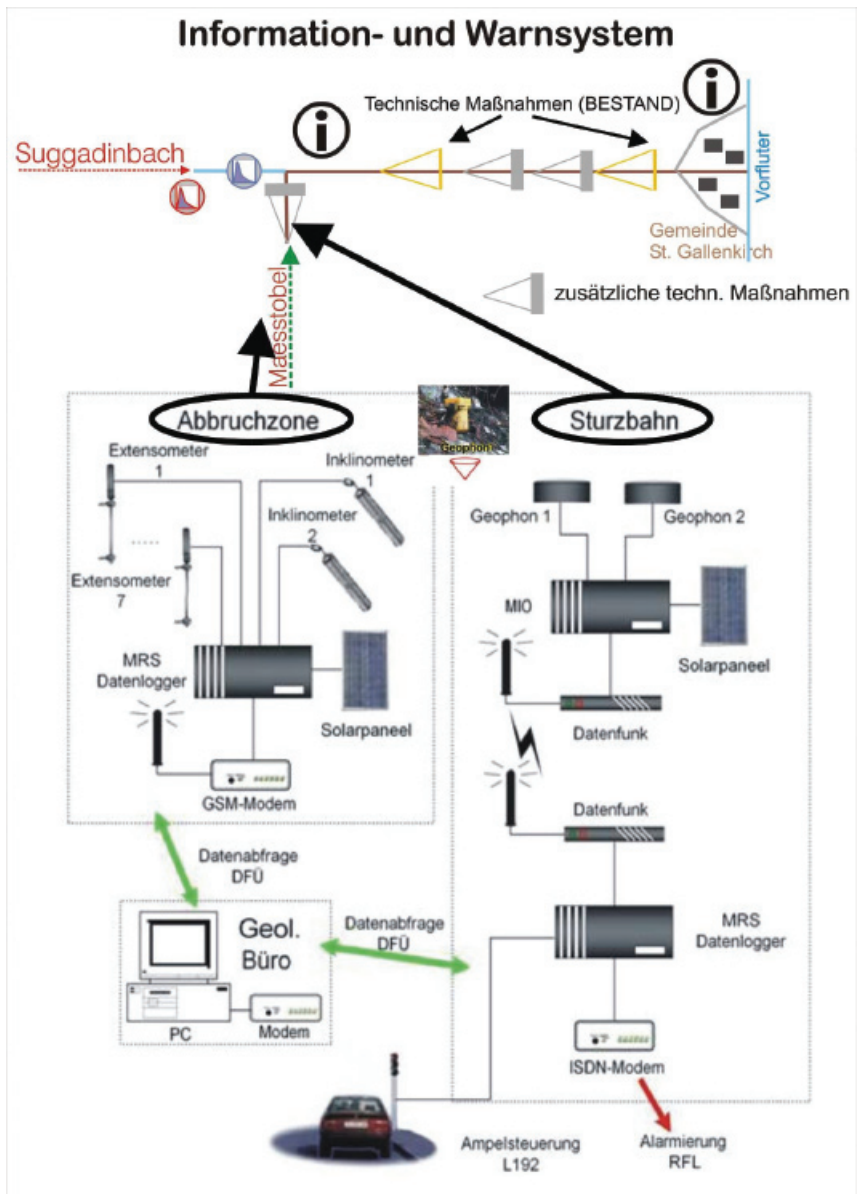


Abb8: Information-/Warnsystem
Fig8: Information and warning system

Das Projekt Mätsstobel/Suggadinbach kann als ein gelungenes Beispiel vom Zusammenwirken von temporären und permanenten Verbauungs-/ Schutzmaßnahmen angesehen werden.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BEFFA, C. (2001): Diagramme zur Bestimmung der flächigen Ausbreitung von Breschenabflüssen, In: Wasser, Energie, Luft, Heft ¾
- [2] BEFFA, C. (2002): Integration ein- und zweidimensionaler Modell zur hydrodynamischen Simulation von Gewässersystemen, Int. Symposium „Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau“; 7.-9. Oktober 2002, ETH Zürich
- [3] GEOGNOS BERTLE (2004): Felsgleitung Mäbtobel – geologisch-geomorphologisch-hangtektonische Detailuntersuchung; Jahresbericht 2004
- [4] FRANK, J. (1951): Betrachtungen über den Ausfluss beim Bruch von Stauwänden; In: Schweizerische Bauzeitung, 69 Jg., Juli 1951, Seite 401 – 406
- [5] HAMPEL, R. (1960): Bruchversuch an einer Bogensperre der Wildbachverbauung; In: Österreichische Wasserwirtschaft, Heft 8/9, Jahrgang 12
- [6] FLO-2D, 2-dimensional Flood Routine Model Manual. Version 2006, FLO-2D Software Inc.
- [7] FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG – GEBIETSBAULEITUNG BLUDENZ (WLW 2000): Suggadinbach, Verbauungsprojekt 2000, Technischer Bericht und diverse Unterlagen
- [8] FORSTTECHNISCHER DIENST FÜR WILDBACH- UND LAWINENVERBAUUNG – GEBIETSBAULEITUNG BLUDENZ (WLW 2002): Mäbtobel, Bauprogramm für Einzelbaumaßnahmen 2003, Technischer Bericht und diverse Unterlagen
- [10] SCHMIDT, R. (2002): Warnsysteme in Wildbacheinzugsgebieten; Wildbach- und Lawinenverbauung Vorarlberg, 6900 Bregenz, Rheinstrasse 32/4
- [11] STEINWENDTNER, H. (2002): Einsatzmöglichkeiten von Numerischen Modellen im Zuge der Maßnahmenplanung in geschiebeführenden und murfähigen Wildbächen; unveröffentlicht.
- [12] HÜBL, J., GANAHL, E., GRUBER, H., HOLUB, M., HOLZINGER, G., MOSER, M., PICHLER, A. (2004): Risikomanagement Lattenbach, Risikoanalyse, IAN Report 95 Band 1, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien (unveröffentlicht)

OPTIMIERUNG DES GESCHIEBEABLAGERUNGSPLATZES VORDERBERGERBACH, ÖSTERREICH

EIN PHYSIKALISCHER MODELLVERSUCH

OPTIMISATION OF A BEDLOAD RETENTION BASIN VORDERBERGERGBACH, AUSTRIA

A PHYSICAL SCALE MODEL

Roland Kaitna¹, Matthias Kerschbaumer¹, Hannes Kapeller¹, Janja Zlatic-Jugovic¹, Fritz Zott¹
und Johannes Hübl¹

ZUSAMMENFASSUNG

Um das Risiko zukünftiger Überflutung in der Gemeinde Vorderberg / St. Stefan in Kärnten zu vermindern, plant die Dienststelle der Wildbach und Lawinenverbauung (WLV) den bestehenden Geschiebeablagerungsplatz (GAP) oberhalb des Ortes Vorderberg zu modifizieren. Im Zuge des Projekts wurde am Institut für Alpine Naturgefahren (BOKU, Wien) ein physikalisches Modell im Maßstab 1:30 entwickelt. Anhand verschiedener hydrologischer Szenarien wurde das Konzept des vorgeschlagenen GAP inklusive unterschiedlicher baulicher Varianten evaluiert.

Keywords: Geschiebeablagerungsplatz, Modellversuch, Geschiebetransport

ABSTRACT

In order to minimise the risk of severe flood destruction in the community Vorderberg / St. Stefan in Carinthia, Austria, the Torrent and Avalanche Control Service (WLV) plans to modify the existing bedload retention basin located upstream of the village Vorderberg. In the course of the project a physical scale model 1:30 has been developed at the Institute for Mountain Risk Engineering (BOKU, Vienna). The modelled sedimentation process has been analysed subject to various hydrological scenarios and different configurations of structures.

Keywords: retention area, physical scale model, bedload transport

¹ Institut für Alpine Naturgefahren, BOKU, Peter Jordanstr. 82, 1190 Wien, Österreich (Kontakt: Tel.: +43-1-47654-4372; Fax: +43-1-47654-4392; email: roland.kaitna@boku.ac.at)

EINFÜHRUNG

Infolge heftiger Regenfälle kam es am 29. August 2003 in der Gemeinde Vorderberg/St. Stefan zu heftigen Überschwemmungen. Im Ort Vorderberg wurden 2/3 aller Gebäude durch Wasser und Sedimentablagerungen in Mitleidenschaft gezogen (Hübl et al. 2004).

Die in den Karnischen Alpen erreichte Niederschlagsmenge wird vom Hydrographischen Dienst auf 285 mm geschätzt. Der rückgerechnete Spitzenabfluss des Vorderbergerbachs (Vorderberger Wildbaches) von 120 m³/s entspricht einem Spitzenabfluss des Bemessungsereignisses mit einer Wiederkehrperiode von etwa 105 Jahren. Im Einzugsgebiet führte der stark erhöhte Abfluss im Gerinnesystem zu starker Erosion der Sohl- und Bankbereiche sowie zu Unterschneidung der Einhangbereiche. Weiters kam es in gerinnefernen Bereichen zur Ausbildung von Gleithorizonten, meist an der Grenze zwischen anstehenden Festgesteinen (Ederkalk, Orovizische Schiefer) und Quartären Sedimenten (Stausedimente am Eisrand) bzw. Hangschuttmassen, wodurch die Sedimentverfügbarkeit erheblich erhöht wurde.

Im Zuge einer anschließenden Ereignisdokumentation (Hübl et al. 2004) wurde eine Erosionsleitung von über 450 000 m³ Sedimentvolumen abgeschätzt, wovon etwa 200 000 m³ im Einzugsgebiet retendiert und etwa 250 000 m³ zum Schwemmkegel transportiert wurden. Von diesem Volumen lässt sich circa 50 000 -80 000 m³ Geschiebe abschätzen, welches teilweise im Ablagerungsplatz oberhalb des Ortes Vorderberg zur Deposition kam, teilweise außerhalb des Gerinne (d.h. im Ortsbereich) abgelagert und teilweise zum Vorfluter (Gail) transportiert wurde.

Ziel der hier vorgestellten und von der Gebietsbauleitung Gailtal und mittleres Drautal der WLW in Auftrag gegebenen Studie ist es, den Geschiebeablagerungsplatz (Abb1) für den Vorderbergerbach neu zu konzipieren und das Grundkonzept sowie verschiedene Varianten mittels eines hydraulischen Modellversuchs zu evaluieren.



Abb1: Luftbilder des Ortes Vorderberg im Gailtal und des Geschiebeablagerungsplatzes (GAP); Quelle: Archive IAN

Fig1: Aerial views of the bedload retention area; source: Archive IAN

GESCHIEBEABLAGERUNGSPLATZ NEU

Konzept

Aufbauend auf Überlegungen von Zollinger (1983) zur Bemessung und Ausführung von Geschiebeablagerungsbecken werden drei Ansätze zur Optimierung des Anlagerungsplatzes vorgeschlagen:

- *Erweiterung des Fließquerschnitts:* Durch die maximale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden Geländes ist es möglich den GAP zu verbreitern. Dadurch wird zum einen das potentielle Ablagerungsvolumen vergrößert und zum anderen der Fließquerschnitt aufgeweitet. Dies führt zu einer Reduktion der Wassertiefe, der Fließgeschwindigkeit und dadurch zu einer Reduktion der Transportkapazität des Wassers.
- *Reduktion des Gerinnegefälles / Teilung des Platzes in drei Bereiche:* Das Längsgefälle des bestehenden GAP beträgt ca. 2 ‰. Durch Teilen des bestehenden Beckens mittels zweier Abstürze, entstehen drei kleinere Teilbereiche mit einem Längsgefälle von 1 ‰. Die Reduktion des Längsgefälles führt zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit und so zu einer weiteren Reduktion der Transportkapazität.
- *Abflussdosierung im Becken durch verschiedene Einbauten:* Durch einen Wasserrückstau kommt es zu einer Reduktion der Fließgeschwindigkeit und ergo zu einer Reduktion der Transportkapazität.

Um den Verkleinerungsmaßstab möglichst groß zu halten wird beim hydraulischen Modellversuch nur der oberste Bereich des GAP mit einer Länge von ca. 180 m nachgebildet. Die Erkenntnisse aus den Modellversuchen dieses Abschnitts werden infolge auf die anderen Abschnitte übertragen. Dieser Ansatz scheint berechtigt, da aufgrund des geplanten Einbaus von Sohlrampen als Einlaufbauwerke für die einzelnen Ablagerungsbereiche, einer ähnlichen Geometrie sowie der gleicher Neigung und Rauigkeit die hydraulischen Grenzbedingungen für alle Abschnitte des Ablagerungsbereichs hinreichend ähnlich sind.

Letztendlich wurde ein Skalierungsmaßstab von 1:30 gewählt. Bei einer Länge von 180 m und einer mittleren Breite von 90 m des geplanten GAP ergibt das einen Platzbedarf im Labor von etwa 9 x 3 m.

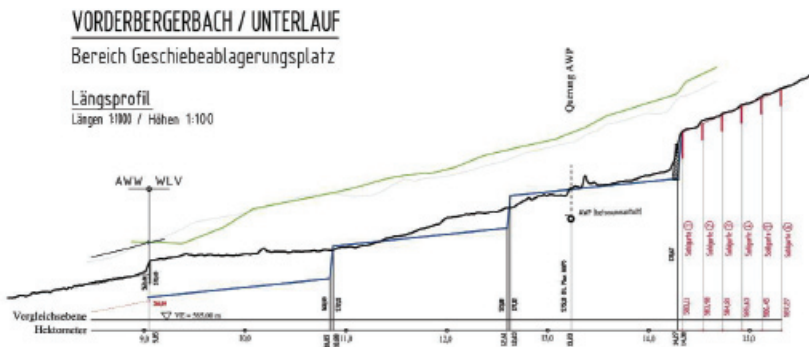


Abb2: Längsprofil des Geschiebeablagerungsplatzes neu
Fig2: Longitudinal profile of the new bedload retention area

Varianten

Um einen zusätzlichen Wasserrückstau und damit eine erhöhte Ablagerungsbereitschaft zu erreichen, wird der Effekt von drei verschiedenen Einbauvarianten am Ende des modellierten Abschnitts (kurz oberhalb der abschließenden Sohlrampe) untersucht. Für Vergleichszwecke wurden alle Versuche zusätzlich ohne ein konstruktives Abschlussbauwerk durchgeführt (Nullvariante).

Wildholzrechen

Bei der ‚Rechenvariante‘ wird ein Wildholzrechen über die gesamte Beckenbreite errichtet. Der Rechen besteht aus zwei Reihen von Säulen mit einem Durchmesser von 1 m (3,3 cm im Modell) und 2 m Zwischenraum (6,6 cm im Modell). Im Böschungsbereich haben die Rechelemente eine Höhe von 3 m (10 cm im Modell). An den Ufern wird ein Freibord von 1 m angenommen.

Buhnen

Die ‚Buhnenvariante‘ besteht aus zwei in der Mitte überlappenden Buhnen. Die Überlappung sowie der Abstand zwischen den Buhnen betragen in der Natur 4,5 m (15 cm im Modell). Die Buhnenkronen fallen im Verhältnis 1:20 vom Ufer in das Becken hin ab. Am Ufer haben die Buhnen eine Höhe von 2,7 m (9 cm im Modell).

Aufgelöste Schlitzsperre

Bei der ‚Sperrnvariante‘ werden Versuche mit einer ‚Kronenoffene Sperre mit fünf Schlitzten‘ durchgeführt. Die Flügel haben einen Anzug von 1:37. Es wird ein Freibord von 1 m angenommen. Im mittleren Drittel der Beckenbreite befinden sich 4 Scheiben, die eine Stärke von 1 m (3,3 cm im Modell) und eine Höhe von 2,5 m (8,5 cm im Modell) haben.

Nullvariante

Bei der Nullvariante werden keine Einbauten errichtet. Der Übergang vom ersten Drittel des GAP (physikalisches Modell) zum zweiten Drittel des GAP erfolgt ungehindert über die gesamte Breite.

Versuchsganglinien Reinwasser / Geschiebe

Als hydrologisch maßgebende Größen für die Optimierung des GAP wird die Bemessungsganglinie mit der Wiederkehrperiode von 150 Jahren (Szenario 1), sowie eine rekonstruierte Hochwasserwelle, die dem Ereignis von 29. August 2003 entspricht (Szenario 3), bestimmt. Als Szenario 2 wird die ‚doppelte‘ HQ_{150} Ganglinie definiert. In diesem Fall wird unterstellt, dass der GAP nicht geräumt ist und das anfallende Geschiebe auf ein teilverfülltes Becken trifft.

Die Ganglinie des Hochwasserereignisses von 2003 wurde mit der Software ‚Hydrologic Modeling System‘ - HEC HMS² ermittelt und die Ganglinie des HQ_{150} mittels ‚ZEMOKOST‘ (Kohl & Stepanek 2005), einer Excel Applikation basierend auf einem modifizierten Laufzeitverfahren nach Zeller (1974).

² Hydrologic Modeling System HEC HMS – US Army Corps of Engineers

Als Grenzbedingung für die im GAP anfallende Geschiebemenge bei den jeweiligen Szenarien wurde die Transportkapazität im Einlaufgerinne (Doppeltrapezprofil) herangezogen. Für jede ermittelte Hochwasserganglinie wurde eine entsprechende Sedimentganglinie mit den Formeln nach Rickenmann (1990), Meyer-Peter & Müller (1948) sowie Smart & Jäggi (1983) berechnet. Die Geschiebezugabe während der Versuche wurde letztlich nach der Formel von Rickenmann (1990) bestimmt.

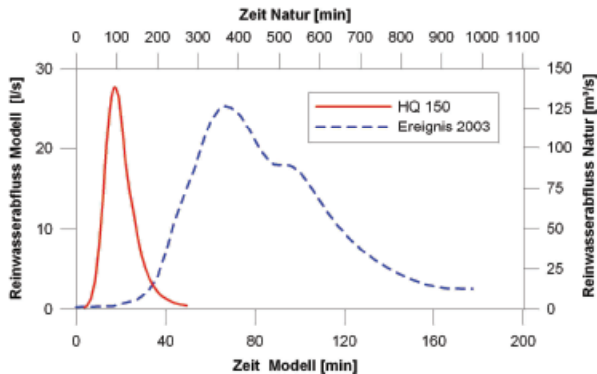


Abb3: Reinwasserganglinien für das HQ₁₅₀ (Szenario 1) und für das rekonstruierte Ereignis 2003 (Szenario 3)
Fig3: Clear water hydrograph for the design event HQ₁₅₀ (scenario 1), and for the reconstructed event of 2003 (scenario 3).

Geschiebe

Bei der Simulation der Feststoffe wurde im Labor nur der Geschiebetransport simuliert, da zum einen die Schwebstoffe im Maßstab 1:30 nicht simuliert werden konnten und zum anderen die Schwebstoffe für die Fragestellung (Optimierung des GAP) von geringer Bedeutung sind.

Als Modellgeschiebe wurde Quarzsand ($D = 0.8 - 1.5 \text{ mm}$) verwendet. Die Korngröße wurde entsprechend von Linienzahlanalysen, die im Bereich des aktuellen Geschiebeablagerungsplatzes entnommen wurden, ermittelt. Der Feinanteil wurde entsprechend der Methode nach Fehr (1987) komplettiert. Der D_{50} beträgt 0.022 m , D_{65} 0.035 m und D_{90} ist gleich 0.07 m , was einer Modellgröße für das Modellgeschiebe von 0.7, 1.11 und 2.3 mm entspricht.

Wildholz

Durch Erosionsprozesse an der Böschung entlang des Bachlaufes ist mit einem erheblichen Eintrag von Wildholz (v.a. Fichten, Buchen) zu rechnen. Da die Menge des anfallenden Wildholzes während eines Ereignisses schwer zu quantifizieren ist, wurden verschiedene Mengen von Modell – Wildholz bei den Versuchen verwendet. Ausgehend von der Erfahrung, dass das meiste Wildholz während des steigenden Astes der Ganglinie mobilisiert wird, wurde dieses bei den Modellversuchen berücksichtigt.

Das Wildholz wurde aufgrund von Photos und Beurteilung Vorort im Maßstab 1:30 modelliert.

MODELLVERSUCH

Skalierung

Für die Abbildung eines natürlichen Fließvorgangs (Prototyp) in einem physikalischen Modell, muss eine volle mechanische (Längen), kinematische (Zeitdimensionen) und dynamische (Kräfte) Ähnlichkeit gegeben sein (z.B. Preissler et al. 1989). Da im hydraulischen Modellversuchswesen in dem meisten Fällen (wie auch in dieser Studie) die Versuche mit dem gleichen Medium (Wasser) bei gleichem Schwerfeld ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$) durchgeführt werden, ist es unmöglich, eine volle dynamische Ähnlichkeit zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurde, wie bei Fragestellungen in einem offenes Gerinne im voll turbulenten Regime üblich (laminare Reibungskräfte vernachlässigbar), der Prototyp basierend auf der Froude Ähnlichkeit skaliert (relevante Kräfte: Trägheit und Gravitation).

Aufgrund des Maßstabs von 1:30 ergeben sich folgende Umrechnungsfaktoren zwischen Natur und Modell:

Geschwindigkeit:	$M_V = \sqrt{M} = 5.477$	1 m/s \rightarrow 0.18 m/s
Durchfluss:	$M_Q = M^{2.5} = 4929.5 \sim 4930$	1 m ³ /s \rightarrow 0.202 l/s
Volumen:	$M_{VOL} = M^3 = 27000$	1 m ³ \rightarrow 37 cm ³
Zeit:	$M_T = \sqrt{M} = 5.477$	1 min \rightarrow 11 sek.

mit M = Längenmaßstab.

Die Hauptschwierigkeit bei der hydraulischen Modellierung von Geschiebetransport und –ablagerung besteht darin, dass das Geschiebe nicht ohne weiteres im Modellmaßstab verkleinert werden kann, da bei allzu kleinen Durchmessern Kohäsionskräfte zwischen den Körnern entstehen können und sich das Material bindig verhält (Preissler et al. 1989). Große Bedeutung hat hier die Verwendung von Geschiebematerial kleiner Dichte und größerer Durchmesser (z.B. Braunkohlegrus).

Da aufgrund der Größe des Wildbachgeschiebes und resultierenden Größe des Modellgeschiebes (0.8 – 1.5 mm) keine kohäsiven Kräfte zu erwarten sind, wurde auf die Verwendung von Ersatzmaterial geringerer Dichte und größerer Körnung verzichtet.

Modell und gemessene Parameter

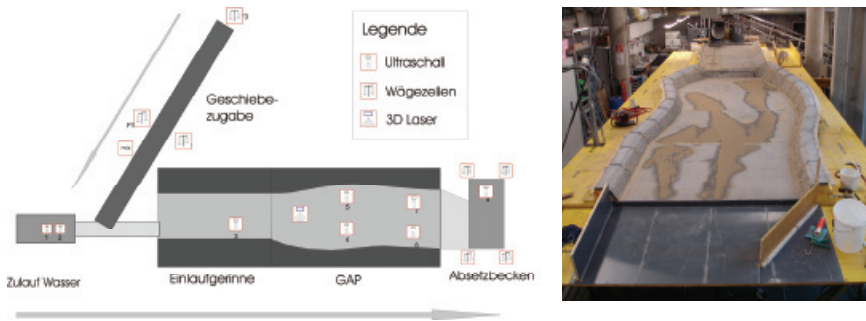


Abb4: Skizze (links) und Photo (rechts) des Modells des GAP inklusive Überblick über die gemessenen Parameter

Fig4: Sketch (left) and picture (right) of the physical model of the bedload retention area including an overview of the measured parameters

Abb4 zeigt eine Skizze des hydraulischen Modells. Die kontrollierte Zugabe des Reinwassers erfolgt über eine Tauchpumpe und ein Thomsonwehr. In einem Mischbereich wird dosiert über ein Förderband der Sand dem Wasser zugesetzt und in das Modell geleitet.

Um die Rauigkeiten im Böschungs- und Rampenbereich denen der Natur anzupassen, wurden Kieselsteine der Körnung 6 – 12 mm in den Beton gedrückt. Auf der Sohle des Ablagerungsbereiches wurde in gleicher Weise Sand mit der Körnung des Modellgeschiebes appliziert. Durch die Versuche wurden die Sandkörner zwar teilweise aus der Sohle ausgewaschen, die Rauigkeit blieb im Beton jedoch erhalten.

Es erfolgt eine kontinuierliche Messung des Reinwasserdurchfluss, der Sedimentzugabe, des Sedimentaustrags und der Abflusstiefen an verschiedenen Stellen im Modell (siehe Abb4). Um eine visuelle Beurteilung des Versuchsablaufes zu erhalten, nimmt eine digitale Kamera automatisch alle 10 sec ein Bild des gesamten Modells auf. Im Anschluss an jeden Versuch wird mittels eines Laserscans ein dreidimensionales Höhenmodell der Ablagerungen erzeugt und daraus das Depositionsvolumen errechnet.

Kalibrierung

Da keine Messungen in der Natur und keine Pegelschlüsselkurven vorhanden sind, wurde als Kalibrierungsbasis für das physikalische Modell die Berechnung der stationärungleichförmigen Wasserbewegung für die Maxima der maßgebenden Wasserwellen durchgeführt. Die Rauigkeit, die im numerischen Modell mit einem Manning-Koeffizienten von $0.038 \text{ m}^{0.33} / \text{s}$ für das Gerinne und 0.5 für die Böschung abgeschätzt wurde, entsprechen einem Strickler-Wert von 26.3 bzw. 20.

Vergleicht man die Ergebnisse der physikalischen Reinwassersimulation mit den Ergebnissen der numerischen (1D) Simulation, gibt es eine sehr gute Übereinstimmung im Einlaufgerinne. Im Bereich der GAP, im strömenden Bereich unterhalb des Wechselsprungs scheint das physikalische Modell hydraulisch ein wenig „glatter“ zu sein. Die Wassertiefen am physikalischen Modell sind in diesem Bereich ca. 7% kleiner und damit die

Geschwindigkeiten höher als beim numerischen Modell bei gleichem Durchfluss. Die Differenz, zwischen der 1D Simulation und dem physikalischen Modell, die bei allen Simulationen vorkommt, ist konstant. Dadurch kann diese Differenz beim Vergleich der verschiedenen Szenarios und Ausbauvarianten vernachlässigt werden. Andererseits weist eine höhere Abflusstiefe und die damit verbundene geringere Fließgeschwindigkeit (wie sie im numerischen Modell vorkommt) auf eine verminderte Transportkapazität des Wassers und eine stärkere (wünschenswerte) Ablagerungstendenz hin, womit die aufgrund der physikalischen Simulation erstellte Prognose auf der sicheren Seite liegt.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERGEBNISSE

Einen Überblick über die vorgestellten Versuche gibt Tab1. Es wird darauf hingewiesen, dass vier Versuche wiederholt wurden, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu überprüfen. Ein Beispiel für die Morphologie der Ablagerungen bei verschiedenen Varianten gibt Abb5.

Tab1: Überblick der Ergebnisse für den verschiedenen Szenarien und Varianten

Tab1: Overview of the model results for the different scenarios and variants

Szenario	Variante	Zugabe [kg]	Austrag		Ablagerung [kg]	Volumen [m³]	Ausnutzung [%]
			[kg]	[% Eintrag]			
1	Null	910	248±36	27	662±34	0,414	37
	Rechen	900	182±4	20	718±3	0,430	39
	Rechen + WH1	906	137	15	769	0,461	41
	Rechen + WH2	894	81	9	813	0,512	46
	Rechen + Sporn	901	133	15	768	0,485	44
	Buhnen	908	4±4	0	904±17	0,580	52
	Sperre	908	8±3	1	900±16	0,580	52
	Sperre + WH	890	2	0	888	0,566	51
	Null	1813	678	37	1135	0,612	55
2	Buhnen	1842	214	12	1628	1,092	98
	Sperre	1842	251	14	1591	1,034	93
	Null	3709	2249	61	1460	0,900	81
3	Rechen (+Sporn)	3701	2184	59	1517	0,921	83
	Buhnen	4058	2054	51	2004	1,249	112

Es zeigt sich, dass sowohl die Variante ‚Sperre‘ als auch ‚Buhnen‘ die effektivsten Maßnahmen zum Geschieberückhalt bei allen Szenarien darstellen. Für das Szenario HQ₁₅₀ erreicht die Verlandungsfront in beiden Fällen nicht das Ende des Ablagerungsbereiches (vgl. Abb5) und es ist kein nennenswerter Geschiebeaustrag zu beobachten.

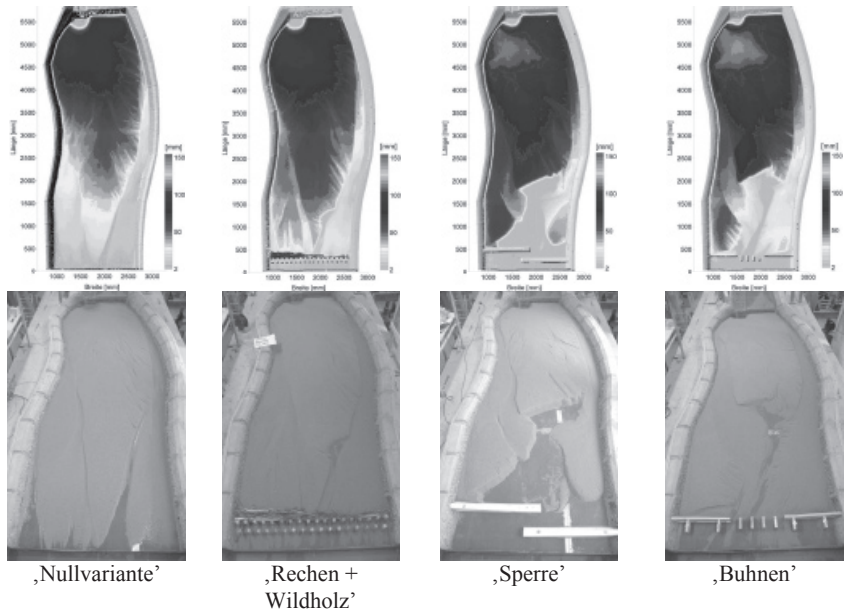


Abb5: Beispiel der Ablagerungsmuster verschiedener Varianten für das Szenario 1 (HQ₁₅₀)
Fig5: Examples of deposition pattern of different variants for the scenario 1 (HQ₁₅₀)

Die Variante ‚Rechen‘ zeigt einen verminderten Geschiebeaustrag verglichen mit der Nullvariante für das HQ₁₅₀ (20 % bzw. 27 % Austrag). Die Zugabe von Wildholz vermindert aufgrund einer gewissen Stauwirkung an der (sehr breiten) Rechanlage den Austrag deutlich (15 % Austrag bzw. 9 % bei Erhöhung der Wildholzzugabe). In Abb6 ist ein Vergleich des kontinuierlichen Geschiebeaustrags für die Nullvariante und die Variante Rechen und Rechen + Wildholz dargestellt.

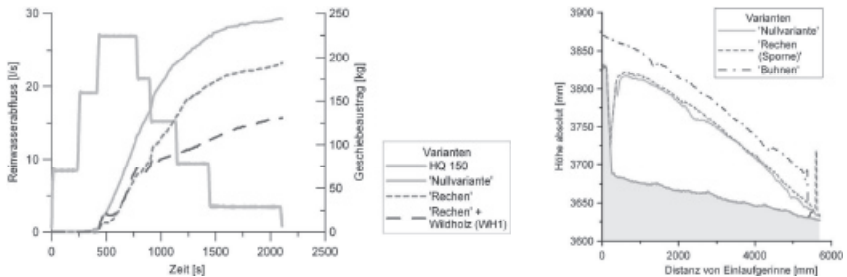


Abb6: Kontinuierlicher Geschiebeaustrag für die Varianten ‚Null‘, ‚Rechen‘ und ‚Rechen + Wildholz‘ für das HQ₁₅₀ (links); Längsschnitt der Ablagerungen für die Varianten ‚Null‘, ‚Rechen‘ und ‚Buhnen‘ für das rekonstruierte Ereignis 2003 (rechts)
Fig6: Continuous output of bedload from the retention area for the configurations ‘no structure’, ‘filter’, and ‘filter + woody debris’ for the design event HQ₁₅₀ (left); longitudinal section of the deposits for the configuration ‘no structure’, ‘filter’, and ‘groynes’ for the reconstructed event of 2003 (right)

Erst beim doppelten HQ150 bzw. bei der Ereignisganglinie 2003 stößt der modellierte Ablagerungsbereich an seine Kapazitätsgrenzen. Im Falle des Szenario 3 (Ereignis 2003) kommt es bei der Variante ‚Buhnen‘ zu rückschreitenden Ablagerungen bis ins Einlaufgerinne. In Abb6 (rechts) ist zu erkennen, dass das Verlandungsgefälle bei der Nullvariante und der Varianten ‚Rechen‘ und ‚Buhnen‘ gleich ist, das Ablagerungsvolumen allerdings bei der Buhnenvariante deutlich über dem der anderen Varianten liegt. Das Geschiebe lagert sich hier von der Oberkante der Buhnen bis in das Einlaufgerinne ab. Für alle drei Varianten ergibt sich einheitlich eine mittlere Neigung der Ablagerungen zwischen 2.07° und 2.09° (das ist ein leicht erhöhter Wert im Vergleich zu den Verlandungsgefällen der Szenarien 1 und 2). Das Verlandungsgefälle – berechnet mit der empirischen Formel nach Hampel (1974) – ist mit 1.84° leicht unter dem gemessenen Wert. Im Gegensatz dazu ergibt die Formel nach Smart und Jäggi (1983) einen Wert von 2.5°. Obwohl die Variante ‚Sperre‘ für das Szenario 3 nicht modelliert wurde, kann unter der Annahme eines ähnlichen Verlandungsgefälles davon ausgegangen werden, dass sich ein ähnliches Ablagerungsverhalten wie bei der Variante ‚Buhnen‘ einstellt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Physikalische Modelle stellen eine gute Möglichkeit dar, die Effektivität verschiedener Verbauungsmaßnahmen im Gerinnebereich zu evaluieren. Im Gegensatz zu flussbaulichen Fragestellungen wurden in Bereich der Wildbachverbauung selten solche physikalischen Modelle verwendet. Ein Beispiel ist die Optimierung zweier hintereinander geschalteter Retentionsbecken für die Geschiebeablagerung am Baltschiederbach in der Schweiz (Jordan et al. 2003 und Jordan et al. 2004). Ähnlich wie in dem hier vorgestellten Projekt wurde anhand verschiedener hydrologischer Szenarien die Funktionalität der Maßnahmen überprüft, das Hauptaugenmerk lag allerdings in der Optimierung der Geometrie des Auslasses des oberen Retentionsbecken. Im Falle des Vorderbergerbaches kann man eher von einem Geschiebeablagerungsplatz (GAP) sprechen, da die vorhandene Topographie und Bodennutzung eine flächige Ablagerung zulassen und die Stauwirkung eines möglichen Abschlussbauwerkes deutlich geringer ist als bei den Retentionsbecken des Baltschiederbaches.

Für das Modell des GAP Vorderbergerbach kann festgehalten werden, dass beim unterstellten Geschiebeanfall aufgrund der Ereignisganglinie vom August 2003 die Kapazitätsgrenzen des ersten Drittels des GAP erreicht und im Fall der Variante ‚Buhnen‘ überschritten werden. Bei allen Varianten kommt es zu einem erheblichen Geschiebeaustrag und somit einer Beanspruchung des geplanten zweiten Beckens. Ausgehend vom gemessenen Verlandungsgefälle ist jedoch damit zu rechnen, dass das aus dem ersten Becken ausgetragene Geschiebe gänzlich im zweiten und dritten Becken abgelagert wird.

Das Ablagerungsverhalten bei den Varianten ‚Null‘ und ‚Rechen + Sporne‘ kann als zufrieden stellend betrachtet werden. Ein großer Teil (ca. 40 %) des Geschiebeanfalls kommt zur Ablagerung, ohne eine Gefährdung von Überbordung oder Auflandung im Einlaufbereich zu verursachen. Bei der Variante ‚Buhnen‘ ist der höchste Grad der Beckenauslastung zu beobachten (50 % des Eintrags wird abgelagert), allerdings wurde eine starke Verlandungstendenz im Einlaufgerinne festgestellt. Dies könnte unter Umständen mit einer geringeren Buhnenhöhe reduziert werden. Die Buhnen haben die größte Rückstauwirkung mit dem Effekt einer Geschwindigkeitsreduktion des Abflusses und damit günstigeren Sedimentationsbedingungen.

Bei einem erheblichen Anfall von Wildholz mit größeren Ablagerungsmengen bei den Varianten ‚Sperre‘ und ‚Rechen‘ zu rechnen. Im Falle einer kompletten Verklausung des

Abflussquerschnitts (bei der Sperre wahrscheinlicher als beim Rechen), kann man von Ablagerungen basierend auf Modellbeobachtungen mit einem Gefälle im Bereich von 2° ausgehen, allerdings ist als Sohlenfixpunkt die Oberkante des jeweiligen Bauwerkes zu erwarten. Es ist anzumerken, dass bei den Versuchen von Jordan (2003) das im Modell gemessene Ablagerungsgefälle deutlich besser mit der Berechnung, basierend auf der Formel von Smart und Jäggi (1983), übereingestimmt hat. Der Grund hierfür mag in einer gestuften Kornverteilung im Modell liegen, auf die in der vorliegenden Studie verzichtet wurde. Ausgehend von einem Ablagerungsgefälle nach Smart und Jäggi von 2.5° für das Szenario 3 ist sowohl beim Rechen als auch bei der Sperre ist mit einer leicht erhöhten Wahrscheinlichkeit der Auflandung im Einlaufbereich (Doppeltrapezprofil) zu rechnen.

LITERATUR

- Fehr, R. (1987): Geschiebeanalysen in Gebirgsflüssen. Umrechnung und Vergleich von verschiedenen Analyseverfahren. Mitt. VAW Nr. 92 ETH-Zürich
- Hampel, R. (1974): Die Wirkungsweise von Wildbachsperrn, Oesterreichische Wasserwirtschaft, Heft 11/12 1974, S. 265-273
- Hübl, J., Leber, D., Brauner, M., Janu, S., Volk, G., Holzinger, H., Gruber, H. (2004): WLS Report 99: Dokumentation der Unwetterereignisse in den Gemeinden St. Stefan/Vorderberg und Feistritz an der Gail vom 29. August 2003.- 111 S., 78 Abb., 31 Tab., 1 Karte, 1 CD-Rom, Im Auftrag der WLW Sektion Kärnten, unveröffentlicht.
- Jordan, F., Jäggi, M., Nigg, U. (2003): Modélisation physique d'un piège à graviers, les cas du Baltschiederbach. Wasser Energie Luft, Heft 9/10, 283-290.
- Jordan, F., Jäggi, M., Nigg, U. (2004): Optimisation d'un piège à graviers par modelisation physique sur le Baltschiederbach en Valais (CH). Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent: Tagungsband des 10. Kongress Interpraevent in Riga, Italien, Band 3, 181-191.
- Kohl, B.; Stepanek, L. (2005): ZEMOKOST - neues Programm für die Abschätzung von Hochwasserabflüssen. BFW-Praxisinformation 8/2005, 21 – 22
- Meyer-Peter, E., and R. Müller (1948): Formulas for bedload transport, in Proceedings 2nd meeting Int. Assoc. Hydraulic Structures Res., Stockholm, Sweden, Appendix 2, 39-64, 1948.
- Preissler, G.; Bollrich, G.; Martin, H. (1989): Technische Hydromechanik. Band 2: Spezielle Probleme. Berlin: Verlag Bauwesen
- Rickenmann, D. (1990): Sediment transport capacity of slurry flows at steep slopes, Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Nr. 103, 249 p.
- Smart, G. M., Jäggi, M.N.R. (1983): Sedimenttransport in steilen Gerinnen. Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zurich, Nr. 64, 191 p.
- Zeller, J., (1974): Starkniederschläge und ihr Einfluss auf Hochwasserereignisse. Bericht Nr. 126, Eidg. Anst. f. forstl. Versuchswesen, Birmensdorf: 62
- Zollinger, F. (1983): Die Vorgänge in einem Geschiebeablagerungsplatz , Dissertation, ETH Zürich, Nr. 7419

VERGLEICHENDE RHEOLOGISCHE UNTERSUCHUNGEN VON MURGANGMATERIAL

ROTIERENDE TROMMEL UND KUGELRHEOMETER

COMPARATIVE RHEOLOGIC INVESTIGATIONS OF DEBRIS FLOW MATERIAL

ROTATING DRUM AND BALL MEASURING SYSTEM

Roland Kaitna¹, Dieter Rickenmann^{1,2} und Markus Schatzmann³

ZUSAMMENFASSUNG

Murgänge repräsentieren eine erhebliche Gefahr in alpinen Einzugsgebieten. Um das Fließverhalten von Murgängen zu beschreiben werden in der Praxis oft rheologische Modelle verwendet. In der vorliegenden Studie wird zum einen eine neuartige ‚Trommel-Versuchsanlage‘, zum anderen ein ‚Kugelhrometer‘ vorgestellt, um Murgangmischungen mit maximalen Korngrößen von 1-5 mm zu untersuchen und rheologische Parameter für verschiedene Modelle abzuleiten.

Keywords: Trommel-Versuchsanlage, Kugelhrometer, Rheologie, Bingham Modell

ABSTRACT

Debris flows represent a serious hazard in alpine regions. In order to describe the flow behaviour of debris flows often rheologic models are used. This study introduces two novel facilities to determine rheologic parameters of different models for debris flow material mixtures containing maximum grain sizes of 1-5 mm.

Keywords: rheology, rotating drum, ball measuring system

EINLEITUNG

Murgänge sind seltene, natürliche Prozesse, angesiedelt zwischen Hochwasser, Erdbeben und Felsstürzen, bei denen sich ein Gemisch von Sediment, Wasser und zum Teil Wildholz kanalisiert und meist sehr schnell zu Tal bewegt.

1 Institut für Alpine Naturgefahren, BOKU, Peter Jordanstr. 82, 1190 Wien, Österreich (Tel.: +43-1-47654-4372; Fax: +43-1-47654-4392; email: roland.kaitna@boku.ac.at)

2 Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, Schweiz (email: dieter.rickenmann@wsl.ch)

3 Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG, Bachweg 1, CH-8133 Esslingen (Tel.: +41-44387-1522, Fax.: +41-44387-1500; email: markus.schatzmann@bhz.ch)

In vielen Alpentälern stellen Murgänge eine ernsthafte Gefährdung menschlichen Siedlungsraums und Infrastruktur dar. Für die Gefahrenanalyse und die Erstellung von Gefahrenzonenplänen ist es wichtig, sowohl Fließparameter wie Geschwindigkeit und Abflusstiefe als auch die räumliche Verteilung von Auslaufängen von zukünftigen Murgangereignissen zu ermitteln.

Abgesehen von empirischen Ansätzen (Schätzformeln, siehe Rickenmann 1999) oder einer rückwärtsgerichteten Indikation (Bewertung historischer Ereignisse), kommen häufig numerische Simulationsmodelle zur Anwendung (z.B. O'Brien et al. 1993, Rickenmann et al. 2006) um Gefahrenzonen zu identifizieren.

Die Basis der in der Praxis angewandten numerischer Modelle sind meist rheologische Ansätze, die einen Murgang als homogenes Medium betrachten und den Fließwiderstand in Abhängigkeit der Scherrate und von Materialparametern darstellen (z.B. Johnson 1970, O'Brien et al. 1993, Coussot 1997). Im Zusammenhang mit Murgängen stellt diese Herangehensweise eine starke Vereinfachung dar, da die tatsächlich ablaufenden physikalischen Prozesse beim Fließen eines so heterogenen Gemisches nicht abgebildet werden können.

Aufgrund eines verbesserten Prozessverständnisses wurde in den letzten Jahren vermehrt versucht, die Massen- und Impulserhaltung der festen und der flüssigen Phase getrennt zu modellieren (z.B. Iverson & Denlinger 2001, Pudasaini et al. 2005). Diese Zweiphasenmodelle basieren zumeist auf dem Mohr-Coulomb Modell für die Reibung der festen Phase und einer einfachen rheologischen Formulierung für die flüssige Phase. Trotz intensiver Forschungstätigkeit sind noch einige Fragen zu beantworten, wie z.B. die Koppelung der Phasengleichungen, Bestimmung der relevanten Parameter, usw. (Hutter 2005). Generell ist festzuhalten, dass diese Zweiphasenmodelle ein realistischeres Bild des Prozesses zeichnen, ihre Praxistauglichkeit allerdings noch nicht gewährleistet ist.

Aus diesem Grund werden rheologische Einphasenmodelle auch in den nächsten Jahren ein wertvolles Hilfsmittel sein, um in der Ingenieurspraxis eine Abschätzung der Murganggefährdung durchzuführen.

Rheologisches Modell

Eine allgemeine Formulierung für ein häufig angewandtes Modell zur Beschreibung des Fließverhaltens von viskosen Flüssigkeiten ist das Herschel Bulkley Modell:

$$\tau = \tau_y + K\dot{\gamma}^n \quad (1)$$

wobei τ = die Schubspannung als Maß für den Fließwiderstand, τ_y = die Grenzschubspannung, $\dot{\gamma}$ = die Scherrate und K & n = Parameter. Für das einfachere Bingham Modell ist $n = 1$ und K = die Bingham Viskosität η .

Gleichung (1) reflektiert eine typische Eigenschaft vieler natürlicher und experimenteller Murgänge: das Vorhandensein einer scheinbar ungescherten Zone (H_{plug}) oberhalb einem mehr oder weniger stark gescherten Bereich y_0 (vgl. Abb1). In der ungescherten Zone liegt die Schubspannung unterhalb des kritischen Werts der durch die Grenzschubspannung ausgedrückt wird.

Die Höhe der ungescherten Zone und das vertikale Geschwindigkeitsprofil der Flüssigkeit bzw. des Gemisches sind abhängig vom jeweiligen Modell bzw. den rheologischen Parametern. Beim Bingham Modell ist das Geschwindigkeitsprofil in der gescherten Zone quadratisch.

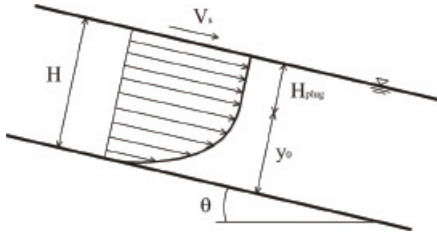


Abb1: Typisches Geschwindigkeitsprofil einer Flüssigkeit mit Grenzschubspannung, H = Abflusstiefe, V_s = Oberflächengeschwindigkeit und θ = Gerinnegefälle.

Fig1: Typical vertical velocity profile in a yield stress fluid, H = flow depth, V_s = surface velocity, and θ = channel slope.

Die tiefengemittelte Gleichung für die mittlere Geschwindigkeit eines gleichförmig, stationären Abflusses in einem unendlich breiten Gerinne lautet für eine Bingham Flüssigkeit:

$$V_m = \frac{H\tau_0}{3\eta} \left[1 - \frac{3}{2} \frac{\tau_B}{\tau_0} + \frac{1}{2} \left(\frac{\tau_B}{\tau_0} \right)^3 \right] \quad (2)$$

mit τ_0 = Sohlenschubspannung wobei $\tau_0 = \rho g H \sin \theta$.

Eine große Anzahl von Untersuchungen hat gezeigt, dass die Werte für die rheologischen Parameter zum einen vom Wassergehalt der jeweiligen Sediment-Wasser Mischungen abhängen, zum anderen aber auch stark von der Korngrößenverteilung und der Art des Sediments; hier ist vor allem der Anteil von Tonmineralen entscheidend (z.B. Costa 1984; Coussot & Meunier 1996, Remaitre et al. 2005).

Für die numerische Simulation ist die Kenntnis der rheologischen Parameter nötig. In der Literatur finden sich Werte für die rheologischen Parameter für Murgänge unterschiedlichster Zusammensetzung mit einer Streuung über mehreren Größenordnungen (Cui et al. 2005, Schatzmann 2005). Da es in den meisten Fällen nicht möglich ist, die rheologischen Parameter für das komplette Korngrößenspektrum des potentiell mobilisierbaren Sediments in einem Einzugsgebiet direkt zu messen, werden in der Praxis die Kennwerte oft anhand eines dokumentierten Murgangereignisses rückgerechnet (falls vorhanden), basierend auf einem Analogieschluss zu Einzugsgebieten ähnlicher Charakteristik geschätzt oder basierend auf rheologischen Messungen von einem Teil des Materials (Komponenten bis 5 mm) auf das Gesamtmaterial extrapoliert (Coussot et al. 1998).

Hier setzt die vorliegende Studie an: Ziel ist es, anhand von Laborversuchen in einer rotierenden Trommel, die rheologischen Parameter für Murgangmaterial mit Korngrößen bis 5 mm abzuschätzen und die Ergebnisse mit unabhängigen Messungen in einem Kugelmesssystem (BMS) zu vergleichen.

EXPERIMENTE

Kugelmesssystem

Das Kugelmesssystem (engl. *ball measuring system*) (BMS) wurde von Müller et al. 1999 entwickelt und ist heute modular einbaubar in den Paar Physica MCR 300 Rheometer

(Abb2). Es besteht aus einem zylindrischen Behälter mit einem Durchmesser von 115 mm resp. Füllvolumen von 0.5 Liter. Eine an einer flachen Halterung aufgehängte exzentrisch rotierende Kugel mit Durchmesser $D = 12$ mm wird bei definierter Geschwindigkeit durch das in den Behälter eingefüllte Probefluid geführt. Gleichzeitig wird die a priori definierte Rotationsgeschwindigkeit Ω sowie das aufzubringende Moment T während einer vollen Kreisbahn 40 mal gemessen (Standardexperiment). Für die Bestimmung der Fließkurve werden somit mehrere Experimente bei unterschiedlichen Rotationsgeschwindigkeiten Ω durchgeführt.

Im Rahmen einer eingehenden Analyse konnte gezeigt werden, dass mit dem BMS Sediment-Wasser-Mischungen untersucht werden können, die Grobkomponenten bis $d_{max} = 10$ mm Durchmesser enthalten (Schatzmann 2005). In der selben Untersuchung wurde gezeigt, dass die Streuung der gemessenen Momente T in erster Linie abhängig ist von der relativen Korngröße d_{max}/D , während die Streuung der gemessenen Rotationsgeschwindigkeiten Ω primär von der Sedimentkonzentration C_v und der Kornverteilung innerhalb des Fluides abhängig ist.

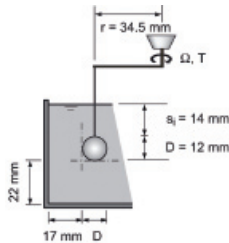
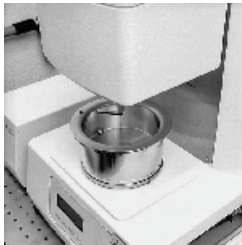


Abb2: Links: Kugelmesssystem (BMS) im Standardrheometer, rechts: geometrische Randbedingungen
Fig2: Left: ball measuring system (BMS) in the standard rheometer, right: sketch of the geometry of the setup

Die Fließkurve resp. rheologischen Parameter eines Fluids leiten sich per Definition aus der Scherströmung ab. Da sich beim Kugelmesssystem keine Scherströmung sondern eine Kugel- (und untergeordnet Halterungs-) umströmung einstellt, muss eine Verbindung zur Scherströmung hergestellt werden. Es muss also ein theoretisch-empirischer Ansatz hergeleitet werden, der die Umwandlung der Messgrößen T - and Ω - Daten in die rheologischen Größen τ (Schubspannung) und $\dot{\gamma}$ (Scherrate) ermöglicht. Ein erster Ansatz wurde von Tyrach (2001) entwickelt, welcher sich allerdings nur für laminaren Umströmungsbereich und für Newtonfluide als gültig erwies, nicht aber für Nicht-Newtonfluide wie im Falle von mittel bis hoch konzentrierten Sediment-Wasser-Mischungen (Schatzmann et al. 2003). Basierend auf der Theorie der Rührerauslegung nach Metzner and Otto (1957) wurde deshalb von Schatzmann (2005) unter Berücksichtigung verschiedener Fluidtypen (Newton, Power law und Yield stress) und zweier Strömungsregimes (laminar und transitional) ein verfeinerter Ansatz entwickelt. Die Unterscheidung der Strömungsregimes erfolgte anhand der Kugelreynoldszahl

$$\text{Re}_{SPH} = 2\pi \frac{\Omega r D \rho_B}{\mu} \quad (3)$$

mit r = Kugelbahnradius, ρ_B = Fluidichte und μ = dynamische Viskosität, definiert als Schubspannung dividiert durch Scherrate.

Für die Umrechnung von Rotationsgeschwindigkeit Ω in Scherrate $\dot{\gamma}$ ergab sich:

$$\dot{\gamma} = K_{\Omega} \Omega \quad (4)$$

wobei die Konstante K_{Ω} abhängig ist vom Kugeldurchmesser D . Für die Umrechnung des Moments T in die Schubspannung τ ergab sich für das laminare Regime ($Re_{SPH} \leq 1$):

$$\tau = K_T T \quad (5)$$

und für das transitionale Regime ($1 < Re_{SPH} < 300$):

$$\tau = [k_1 + k_2 e^{(-k_3 \cdot Re_{SPH})}] \cdot T \quad (6)$$

wobei die Koeffizienten K_T wie auch k_1 , k_2 und k_3 abhängig sind vom Fluidtyp und vom Kugeldurchmesser D .

Mit dem BMS können Fließkurven im Bereich $0.1 < \dot{\gamma} < 100 \text{ s}^{-1}$ und $0.5 < \tau < 2'000 \text{ Pa}$. Die Bestimmung der Fließkurve (16 Experimente bei 8 verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten inkl. Aufrühren der Mischung vor jedem Experiment) dauert rund 20 Minuten.

Rotierende Trommel

Herzstück der Versuchsanlage bildet eine einseitig gelagerte Trommel mit einem Durchmesser von 2.46 m (Abb3). Der rechteckige Gerinnequerschnitt hat eine Breite von 0.45 m und ist mit einem synthetischen 5x5 mm Gitter mit einer Höhe von 1 mm ausgelegt, um möglichen Schlupf zu vermeiden. Die hintere Gerinnewand besteht aus rostfreiem Stahl, die vordere aus Acrylglas, um Beobachtungen von der Seite zu ermöglichen.

Die Geometrie der stehenden Welle wird mittels eines Lasersensor und einer Ultraschallsensoren gemessen. Beide Sensoren sind in einem Abstand von 180° in der Mitte des Gerinnequerschnitts am rotierenden Teil der Versuchsanlage (= Trommel) installiert, und zeichnen so die Abflusstiefe längs der Versuchswelle zweimal pro Umdrehung auf.

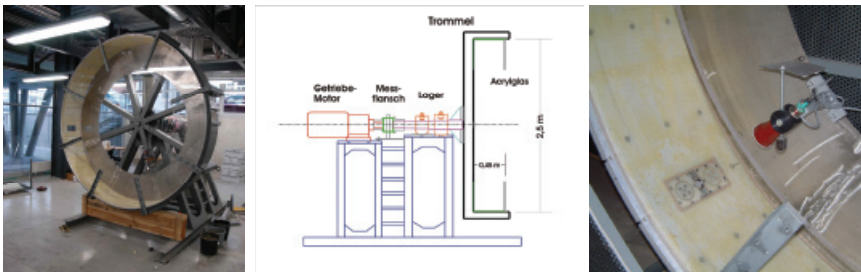


Abb3: Links: Trommel Versuchsanlage, Mitte: Schema der Trommelversuchsanlage, rechts: Kraftmessplatten und Ultraschallmesssensor

Fig3: Left: front view of the rotating drum, centre: sketch of the drum setup, right: channel section of the drum with force plates and ultrasonic sensor

Zwischen der Motor-Getriebe Einheit und der Trommel befindet sich ein Messflansch, der kontinuierlich das benötigte Drehmoment aufzeichnet, um das Versuchsmaterial auf einer bestimmten Geschwindigkeit in der Trommel zu halten. Aus dem Drehmoment wird infolge die mittlere Sohlenschubspannung der Versuchswelle rückgerechnet, wobei eine konstante Spannungsverteilung an der Sohle und eine dreieckförmige Spannungsverteilung an den Seitenwänden angenommen wird. Diese Bestimmung der mittleren Sohlenschubspannung kann auf zwei Arten verifiziert werden: zum einen durch direkte Messung der Sohlenschubspannung mittels zweier unabhängigen Schubkraftmessplatten, die in einem Abstand von 180° in der Mitte der Abflusssktion angebracht sind. Zum anderen kann aus der

Auslenkung des Schwerpunktes der Versuchswelle auf die Summe der treibenden Kräfte (Komponente der Gravitation in Fließrichtung) geschlossen werden. In einem stationären System entspricht die Summe der treibenden Kräfte der Summe der Widerstandskräfte (d.h. Schubspannung an der Sohle und Gerinnewand).

Die mittlere Geschwindigkeit der Versuchswelle entspricht der Umfangsgeschwindigkeit der Trommel und wird aus der Messung der Winkelgeschwindigkeit der Antriebswelle berechnet. Weiters wird die Oberflächengeschwindigkeitsverteilung und damit die mittlere Oberflächengeschwindigkeit mittels Partikel – Tracing aus digitalen Videoaufzeichnungen abgeleitet.

Das Probematerial wurde mindestens 24h vor einem Versuch vorbereitet. Vor jedem Versuch wurde das Material nochmals 10 Minuten gemischt und anschließend in die Trommel gefüllt. Nach Starten des Messsystems wurde die Trommel auf das erste Geschwindigkeitsniveau eingestellt und die Messungen für 10 bis 20 Umdrehungen wiederholt. Danach wurde die Geschwindigkeit stufenweise erhöht, wobei wiederum bei jeder konstanten Rotationsgeschwindigkeit die Messungen über einen längeren Zeitraum durchgeführt wurden. Insgesamt wurden Messungen auf 6 bis 8 Geschwindigkeitsniveaus durchgeführt.

Um den Wassergehalt und die Korngrößenverteilung zu kontrollieren wurden vor, während und nach jedem Versuch an verschiedenen Stellen der Welle (Frontbereich – Mitte – hinterem Teil) Proben genommen.

Eine detaillierte Beschreibung der Versuchsanlage und des Messsystems findet sich in Kaitna & Rickenmann (2007) und Kaitna et al. (2007).

Material

Das Versuchsmaterial stammt von einer frischen Ablagerung eines Murgangs in der ‚Scalärarüfe‘ in der Nähe von Timmis bei Chur in der Schweiz und wurde eingehend granulometrisch untersucht (Schatzmann 2005). Der Anteil an Partikel < 0.04 mm beträgt 9 %, was mehr oder weniger dem von Coussot (1994) postulierten Wert von mindestens 10 % entspricht, ab dem ein viskoses Fließverhalten zu erwarten ist.

Mit einem neuartigen Kugelrheometer wurden intensive rheologische Untersuchungen mit Proben verschiedener maximalen Korngrößen (≤ 0.25 mm, ≤ 1 mm, ≤ 5 mm, ≤ 7 mm und ≤ 10 mm) durchgeführt (Schatzmann 2005). Es konnten erfolgreich für alle Mischungen sogenannte ‚Rheogramme‘ (Zusammenhang zwischen Schubspannung und Scherrate) produziert werden und die Parameter für das Herschel Bulkley Modell sowie das Bingham Modell abgeleitet werden. In der vorliegenden Studie wurden Messungen mit Mischungen mit einer maximalen Korngröße von 5 mm und Werten der volumetrischen Sedimentkonzentration (C_v) zwischen 0.476 und 0.620 in der Trommelversuchsanlage durchgeführt.

RESULTATE

Annahmen für die Auswertung der Trommelversuche

Im ersten Schritt werden die rheologischen Parameter für das Bingham Modell aus den Versuchen in der Trommel abgeschätzt. Zum einen ist dieses Modell eines der einfachsten rheologischen Modelle, um das Fließverhalten von Murmaterial annäherungsweise zu beschreiben, zum anderen wird es oft in der Praxis bei der Gefahrenanalyse verwendet (z.B. Flo2d Simulationen, O'Brien et al. 1993).

Im Zuge einer vereinfachten Auswertung der ‚Trommelversuche‘ wird eine Analogie zu gleichförmig-stationären Abfluss in einem geraden Gerinne gezogen. Dabei wird der Auslenkungswinkel des Schwerpunkts des Versuchsmaterials (Auslenkung von der 6 Uhr Position) als Neigungswinkel des äquivalenten geraden Gerinne definiert. Weiters wird für alle Berechnungen die mittlere Fließtiefe der Welle als relevante Abflusstiefe herangezogen.

Die Analyse ist eindimensional, d.h. der Einfluss der Wandreibung wird vernachlässigt. Obwohl die Seitenwände des Rechteckgerinnes sehr glatt sind (polierter Stahl, Acrylglas), ist diese Vereinfachung bei hohen Rotationsgeschwindigkeiten fragwürdig. Aus diesem Grund wurden die Versuche bei sehr hohen Geschwindigkeiten und unregelmäßigen Strömungsmustern von der Analyse ausgeschlossen.

Eine weitere Annahme ist, dass die Geschwindigkeit an der Gerinnesohle gleich null ist (kein Schlupf). Diese Annahme scheint durch die schon beschriebene Applikation einer Bodenrauigkeit gerechtfertigt.

Abschätzung der rheologischen Parameter

Beim Bingham Modell ist die Schubspannung als Funktion der Scherrate und der Materialparameter τ_y und η durch Gleichung (1) mit $n = 1$ gegeben. Für diese Gleichung ist einzig die mittlere Schubspannung bekannt, die wie schon erwähnt auf drei verschiedene Arten bestimmt wird. Um die gesuchten Bingham Parameter zu bestimmen wurden zwei verschiedene Methoden gewählt, um eine mittlere Scherrate abzuschätzen: Einerseits (A) wurde eine lineare Geschwindigkeitsverteilung unter einer ungesicherten Zone angenommen („Plugzone“), andererseits (B) eine parabolische Geschwindigkeitsverteilung unterhalb einer ungesicherten Zone. Eine lineare Geschwindigkeitsverteilung entspricht einer konstanten Scherrate und ist die einfachste Annahme für eine Flüssigkeit mit Grenzscherung. Bei dieser Methode wird die Scherrate iterative bestimmt: im ersten Schritt ein lineares Geschwindigkeitsprofil entlang der gesamten Fließtiefe angenommen und mittels aller Versuchsdaten eine Grenzscherung (τ_B') berechnet. Im Folgenden wird eine modifizierte Scherhöhe als Differenz von der gesamten Fließtiefe H und der Höhe der ungesicherten Zone, definiert als $H_{plug} = \tau_B' / (\rho g \sin \alpha)$, berechnet (α ist definiert als der Ablenkungswinkel des Schwerpunkts von der Vertikalen). Mit der neuen Scherhöhe lässt sich eine neue Scherrate berechnen und daraus eine bessere Abschätzung der Grenzscherung. Diese Berechnungsschleife wird wiederholt, bis die Grenzscherung konstant bleibt.

Die Geschwindigkeitsverteilung in einem offenen, unendlich breitem Gerinne für ein Bingham Fluid ist parabolisch (e.g. Johnson 1970, Ancy 2006). Die zweite Methode zur Abschätzung einer mittleren Scherrate in der Versuchswelle basiert auf geometrischen Überlegungen, um anhand der mittleren Geschwindigkeit und der Oberflächengeschwindigkeit, sowie der Fließtiefe, die Scherrate am Gerinneboden zu bestimmen (Holmes et al. 1993):

$$\dot{\gamma} = \frac{2V_{plug}^2}{3 \cdot (V_{plug} - V_m)H} \quad (7)$$

mit V_{plug} = die absolute Oberflächengeschwindigkeit (relativ zum Labor).

Der mit den Ansätzen (A) und (B) ermittelte Zusammenhang zwischen Schubspannung und Scherrate für alle Versuchsmischungen ist in Abb4 ersichtlich. Zum Vergleich wurden die Referenzmessungen mit dem Kugelrheometer (BMS) zusätzlich eingetragen. Es ist

anzumerken, dass die Sedimentkonzentration C_v bei den Versuchen in der Trommel zeitlich und räumlich im Bereich von ± 0.01 bis 0.04 variiert hat. Aus diesem Grund stellen die Angaben der Sedimentkonzentrationen der Trommelversuche einem Mittelwert dar und werden mit den jeweils nächstgelegenen C_v -Werten der BMS Messungen verglichen.

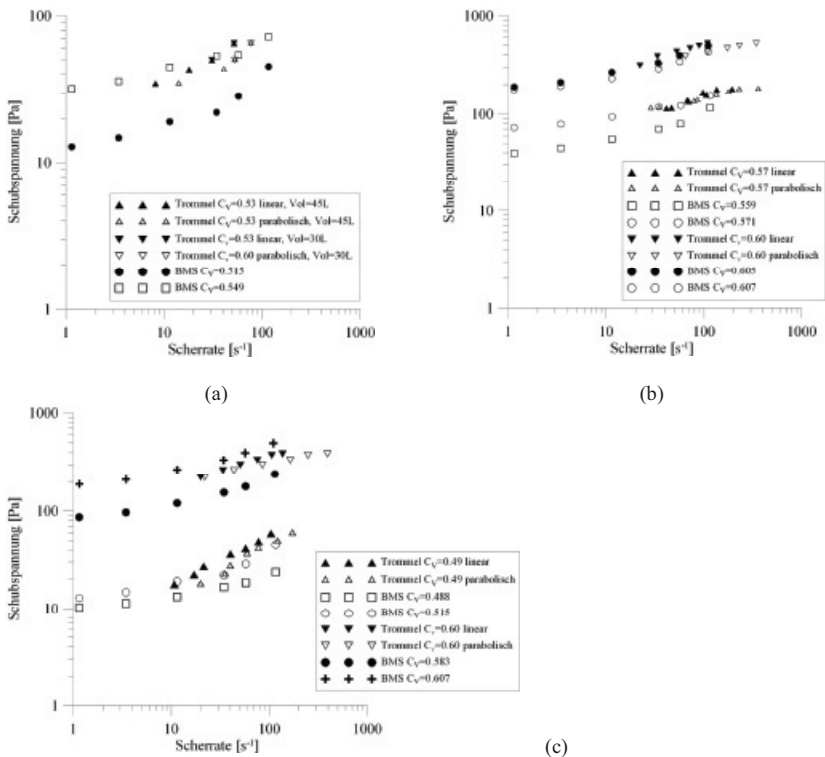


Abb4: Rheogramme aller in der Trommelversuchsanlage und im Kugelrheometer (BMS) untersuchten Murgangmischungen (maximale Korngröße 5 mm).

Fig4: Rheograms of debris flow mixtures with grain sizes < 5 mm at different sediment concentrations C_v , tested with the rotating drum and the ball measuring system (BMS)

Abb4 zeigt deutlich einen steigenden Trend der Schubspannung mit steigender Scherrate für alle Versuchsmischungen sowohl bei der Trommel-Versuchsanlage und als auch bei den Ergebnissen aus dem Kugelrheometer. Diese Beobachtung bestätigt die grundlegende Annahme eines viskosen Fließverhaltens der Wasser-Sedimentmischungen.

In Anbetracht der vereinfachten Auswertung liegen die Ergebnisse der Analyse der Trommelversuche recht nahe an den Kugelrheometer-Ergebnissen. Vor allem bei hohen Sedimentkonzentrationen ($C_v > 0.6$) ist eine sehr gute Übereinstimmung festzustellen. Auch für Konzentrationen von $0.52 < C_v < 0.6$ ist die Übereinstimmung zufrieden stellend, hingegen bei niederen Konzentrationen ($C_v < 0.52$) liegt die gemessene Schubspannung bei hohen Scherraten zum Teil über den Messungen im Kugelrheometer. Der Hauptgrund dafür sind wahrscheinlich Segregationseffekte, die während der Versuche in der Trommel zu

beobachten waren und der daraus resultierenden Schwierigkeit, die ‚tatsächliche‘ Sedimentkonzentration zu bestimmen. Bei niederen Sedimentkonzentrationen setzen sich die groben Partikel (> 1 mm) schnell ab und werden an der Gerinnesohle (= Trommelboden) in den hinteren Bereich transportiert und sammeln sich dort an. Diese Situation mag einem Übergang zu murartigen Feststofftransport („hyperconcentrated flow“) darstellen.

Wie zu erwarten aufgrund der angenommenen Geschwindigkeitsverteilungen sind die Scherraten basierend auf einem parabolischen Geschwindigkeitsprofil höher als solche basierend auf einem linearen Profil. Es ist interessant zu beobachten, dass der Unterschied allerdings in den meisten Fällen recht gering ausfällt. Der Grund hierfür liegt in einer geringeren berechneten Scherhöhe für das lineare Geschwindigkeitsprofil, wodurch der Effekt eines parabolischen Profils zum Teil kompensiert wird. Ähnliche Ergebnisse lieferten Versuche mit homogenen viskoplastischen Flüssigkeiten (siehe Kaitna & Rickenmann 2007).

In einem weiteren Schritt wurde die Anwendbarkeit des Bingham Modells anhand der allgemeinen tiefengemittelten Gleichung (2) beurteilt. Es ist anzumerken, dass die Gleichung nur für gleichförmig-stationären Abfluss in einem unendlich breiten Gerinne gilt. Der Abfluss in der Trommel ist stationär, jedoch weder gleichförmig noch seitlich unbegrenzt. Um den Effekt der Wandreibung zu berücksichtigen, wurde die Korrekturrechnung für die mittlere Schubspannung nach Smart & Jaeggi (1983) durchgeführt. Ungleichförmigkeit des Abflusses und der Effekt der gekrümmten Sohle wurden vernachlässigt.

Da für jede Versuchsmischung Messungen auf verschiedenen Geschwindigkeitsniveaus durchgeführt wurden, erhält man um die kubische Gleichung (2) zu lösen unter Verwendung aller möglichen Kombinationen von Messdaten 15 bis 28 Lösungen für die Bingham Parameter. Da das Versuchsmaterial ein scherverdünnendes Fließverhalten zeigt, ist der Wert der Standardabweichung also auch als Maß für die Abweichung von einem idealen Bingham Fließverhalten.

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse ist in Abb5 ersichtlich. Es ist darauf hinzuweisen, dass im Falle des Kugelhreometer (BMS) die Scherrate direkt bestimmt wurde, ohne vorab ein Modell zu postulieren. Es wurden sowohl Bingham Parameter als auch die Parameter für das Herschel Bulkley Modell abgeleitet. Zum Vergleich ist in Abb5 links auch die Grenzscherubspannung für das Herschel Bulkley Modell angegeben.

Die Fehlerbalken in X-Richtung in Abb5 weisen auf die schon angesprochene Variation der Sedimentkonzentrationen bei den Versuchen in der Trommel hin (Segregationseffekt, rasches Absinken grober Partikel bei geringen Sedimentkonzentrationen) und gelten für alle ‚Trommel-Resultate‘. Die Fehlerbalken in Y-Richtung repräsentieren die Standardabweichung der Lösungen der tiefengemittelten Gleichung (2).

In Abb5 ist gut zu erkennen, dass die Resultate aus den verschiedenen Methoden zur Abschätzung der Grenzscherubspannung sehr gut miteinander übereinstimmen. Die Grenzscherubspannung errechnet mit einem linearen Geschwindigkeitsprofil sind geringfügig höher als die Ergebnisse basierend auf einem parabolischen Geschwindigkeitsprofil. Die Grenzscherubspannung errechnet mit der tiefengemittelten Gleichung (2) zeigt die niedrigsten Werte. Die Bingham Grenzscherubspannung aus den Referenzmessungen im Kugelhreometer (BMS) bestätigen die Abschätzungen aus den Trommelversuchen. Die Grenzscherubspannung für das Herschel Bulkley Modell liegt erwartungsgemäß systematisch unter den Werten für das Bingham Modell, allerdings ist die Abweichung relativ gering.

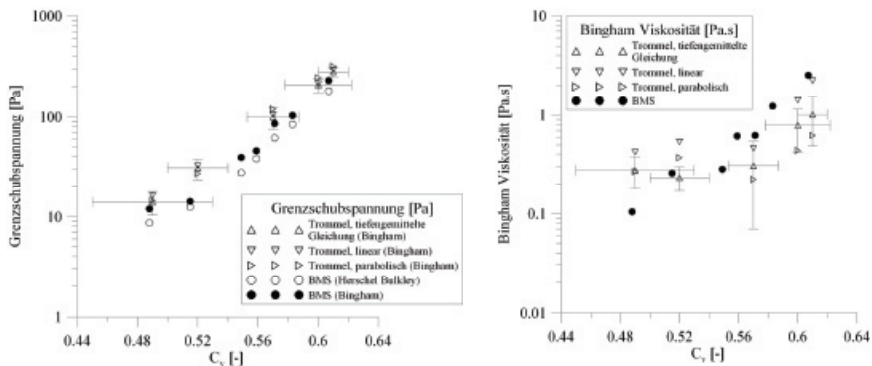


Abb5: Links: Vergleich der Ergebnisse für die Grenzschubspannung in Abhängigkeit der Sedimentkonzentration; rechts: Vergleich aller Ergebnisse für die Bingham Viskosität in Abhängigkeit der Sedimentkonzentration für alle untersuchten Mischungen

Fig5: Left: comparison of all results of the yield stress for all mixtures; right: comparison of all results of Bingham viscosity for all tested mixtures.

Eine größere Streuung zeigen die Ergebnisse für die Bingham Viskosität. Im Bereich von Sedimentkonzentrationen $C_v < 0.52$ liegen die Abschätzungen aus den Trommelversuchen meist über den Messungen im Kugelhreometer, für Sedimentkonzentrationen $C_v > 0.52$ eher darunter. Eine recht gute Übereinstimmung findet sich hier für die Berechnungen basierend auf einer linearen Scherrate.

Wie von verschiedenen Autoren berichtet (z.B. Coussot 1997; Johnson 1970; Chen 1986), reagieren die rheologischen Parameter äußerst sensitiv auf Änderungen des Wassergehalts im Bereich hoher Sedimentkonzentrationen. Sowohl für die Grenzschubspannung als auch für die Viskosität ist diese Abhängigkeit exponentiell, was durch einen linearen Trend im halb-logarithmischen Diagramm zum Ausdruck kommt.

DISKUSSION

Verschiedene Studien (z.B. Ancy 2006, Schatzmann et al. 2003; Ancy 2001; Coussot and Piau 1995) haben gezeigt, dass die rheologischen Eigenschaften von viskosen Sediment-Wasser-Gemischen zum einen vom Wassergehalt, zum anderen aber auch vom Durchmesser des Größtkorns abhängig sind. Durch eine Erhöhung der Konzentration grober Partikel in einer viskosen Flüssigkeit werden auch die Werte der Modell Parameter erhöht. Im Falle von Murgangmaterial bedeutet das, dass eine rheologische Analyse einer Mischung mit eingeschränkter Kornverteilung (z.B. limitierte maximale Korngröße) nicht repräsentativ für die Gesamtmischung sein kann. Coussot et al. (1998) schlagen ein Procedere vor, um Herschel Bulkley Parameter für natürliche Murgangmischungen abzuschätzen, indem rheologische Untersuchungen von Mischungen mit verschiedenen maximalen Korngrößen durchgeführt werden und anschließend für das komplette Material extrapoliert wird. In konventionellen Rheometern können Mischungen von meist maximal 0.1 mm Korngröße untersucht werden, im Kugelhreometer (BMS) wurden erfolgreich Mischungen einem Größtkorn von 10 mm untersucht. Hier stellt die Trommel-Versuchsanlage eine Möglichkeit dar, einen breiten Bereich von Mischungen abzudecken und rheologische Parameter für eine natürliche Murgangmischung abzuschätzen.

Aus ähnlichen Gründen wurden in der Vergangenheit Versuche mit eigens konstruierten Großrheometern durchgeführt (z.B. Coussot & Piau 1995, Contreras & Davies 2000). Die Versuche waren teilweise erfolgreich, teilweise jedoch – vor allem bei granularen Mischungen – waren die Ergebnisse nicht eindeutig. Hier bieten Versuche zur Abschätzung von Materialparameter in offenen Gerinnen den Vorteil, dass das Gravitationsfeld in gleicher Richtung wie in natürlichen Murgängen wirkt und infolge dessen Geschwindigkeitsverteilung und Verteilung von Normal- und Schubkräften in Natur und Modell ähnlich sind.

Im Zusammenhang mit Felduntersuchungen (Abschätzung der Grenzschubspannung anhand von Ablagerungen von Murgängen aus der Vergangenheit, ‚Stumme Zeugen‘) und im Idealfall durch Validierung anhand von Simulationen eines gut dokumentierten Murgangereignisses scheint dies eine viel versprechende Möglichkeit zu sein, die Größenordnung der rheologischen Parameter für ein Einzugsgebiet durch unabhängige Untersuchungen im Labor zu bestimmen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Um das Fließverhalten von Murgangmaterial zu untersuchen, wurde eine ‚Trommel-Versuchsanlage‘ entwickelt. In der vorliegenden Studie werden Methoden vorgestellt, um für viskose Mischungen (d.h. hoher Feinkornanteil) mit einem maximalen Korndurchmesser von 5 mm Parameter für das Bingham Modell abzuschätzen. Die Ergebnisse zeigen eine gute Übereinstimmung mit unabhängigen Messungen in einem neuartigen Kugelrheometer.

Ziel zukünftiger Versuche sollte es sein, Versuche mit Mischungen unterschiedlicher maximaler Korngröße durchzuführen und aus den Ergebnissen rheologischen Parameter für das komplette Murgangmaterial (uneingeschränkte Korngrößenverteilung) abzuschätzen.

LITERATUR

- Ancey C (2001) Role of lubricated contacts in concentrated polydisperse suspensions. *Journal of Rheology* 45: 1421-1439.
- Ancey C. (2006): Plasticity and geophysical flows: A review. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, Volume 142, Issues 1-3, Pages 4-35*.
- Chen C.L. (1986): Chinese concepts of modelling hyperconcentrated streamflow and debris flow. Proc. of the 3rd Int. Symp. on River Sed. Univ. of Mississippi: 1647 – 1657.
- Contreras S.M., Davies T.R. (2000): Coarse-grained debris flows: Hysteresis and time-dependent rheology. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(12): 938-941.
- Costa J.E. (1984): Physical Geomorphology of Debris Flows. In Costa, J.E.; Fleischer, P.J. (eds.): *Developments and Applications of Geomorphology*. Berlin: Springer: 268 – 317
- Coussot P., Piau J.M. (1995): A large scale field coaxial cylinders rheometer for the study of the rheology of natural coarse suspensions. *Journal of Rheology* 39: 105 – 125.
- Coussot P., Meunier M. (1996): Recognition, classification and mechanical description of debris flows. *Earth Science Reviews* 40: 209-227
- Coussot P. (1997): *Mudflow rheology and dynamics*. IAHR Monograph Series. Rotterdam: Balkema.
- Coussot P., Laigle D., Arattano M., Deganutti A., Marchi L. (1998): Direct determination of rheological characteristics of debris flow. *Journal of Hydraulic Engineering* 124 (8): 865 – 868.

- Cui P., Chen X., Waqng Y., Hu K., Li Y. (2005): Jiangia Ravine debris flows in south-western China. In Jakob M, Hungr O (eds.): *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Springer, Berlin Heidelberg: pp 565 – 594
- Holmes R.R., Huizinga R.J., Brown, S.M., Jobson H.I. (1993): Laboratory procedures and data reduction techniques to determine rheologic properties of mass flows. *USGS Water-Resources Investigation Report*: 93-4123.
- Hutter K. (2005): Debris and mudflows: Are we asking the correct questions? What are the deficits? VAW 75 Jahre: Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie. Festkolloquium: 92 – 105.
- Iverson M.R.; Denlinger R.P. (2001): Flow of variably fluidized granular masses across three-dimensional terrain: 1. Coulomb mixture theory. *Journal of Geophysical Research* 106(B1): 537 – 552.
- Johnson A.M. (1970): *Physical processes in geology*. Freeman and Cooper, San Francisco
- Kaitna R., Rickenmann D. (2007): A new experimental facility for laboratory debris flow investigation. *Journal of Hydraulic Research*. In press.
- Kaitna R., Rickenmann D., Schatzmann M. (2007): Determination of rheologic information from laboratory experiments. *Acta Geotechnica*, Vol.2, Nr.2, S. 71-85. Springer. Berlin.
- Metzner A.B., Otto R.E. (1957): Agitation of Non-Newtonian Fluids. *AIChE Journal* 3: 3-10
- Müller M., Tyrach J., Brunn P.O. (1999) Rheological characterization of machine-applied plasters. *ZKG International* 52: 252-258
- O'Brien, J.S., Julien, P.Y., Fullerton, W.T. (1993): Two-dimensional water flood and mudflow simulation. *J. Hydr. Eng., ASCE*, 119(2), 244-261
- Pudasaini S.P., Wang Y., Hutter K. (2005): Modelling debris flows down general channels. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 5: 799-819.
- Remaitre A., Malet J.P., Maquaire O., Ancey C., Locat J. (2005): Flow behaviour and runoff modelling of a complex debris flow in a clay – shale basin. *Earth Surf. Process. Landforms* 30: 479 – 488
- Rickenmann D. (1999) Empirical relationships for debris flows. *Natural Hazards* 19(1): 47-77
- Rickenmann D., Laigle D., McArdell B.W., Hübl J. (2006) Comparison of 2D debris-flow simulation models with field events. *Computational Geosciences* 10: 241–264, DOI: 10.1007/s10596-005-9021-3.
- Schatzmann M. (2005): Rheometry for large particle fluids and debris flows. Dissertation No 16093, ETH Zurich, Switzerland.
- Schatzmann M., Fischer P., Bezzola G.R. (2003). Rheological behaviour of fine and large particle suspensions. *J Hydr Eng (ASCE)* 129: 796-803
- Smart G.M., Jaeggi M. (1983): *Sediment transport on steep slopes*. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich, Mitteilungen 64. Zürich: Eigenverlag.
- Tyrach J. (2001): Rheologische Charakterisierung von zementären Baustoffsystemen. Dissertation, Universität Erlangen-Nürnberg

GESCHIEBEKATASTROPHEN DURCH DEN TAIFUN „RUSA“ NACH WALDBRÄNDEN AN DER OSTKÜSTE DER REPUBLIK KOREA

SEDIMENT DISASTER CAUSED BY THE TYPHOON “RUSA” FOLLOWING FOREST FIRE IN THE EAST COASTAL REGION OF THE REPUBLIC OF KOREA

Masanobu Kimura¹, Kun-Woo Chun², Tomomi Marutani³ und Suk-Woo Kim⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Im Frühjahr 2000 traten großflächige Waldbrände an der Ostküste der Republik Korea auf. Zwei Jahre später (2002) wurde das verbrannte Gebiet vom Taifun „RUSA“ heimgesucht. Durch den Niederschlagsbeitrag wurden zahlreiche flächenhafte Rutschungen ausgelöst, die erhebliche Schäden durch massenhafte Feststofflieferung verursachten. Die Häufigkeit der Rutschungen war in den Waldbrandflächen beträchtlich höher als in den waldbrandfreien Flächen, denn Waldbrände verschlechterten die physikalische Bodenstruktur sowie Bodenfestigkeit und Versickerungskapazitäten. Die Feststofftransporte in Flüssen wurden in Bezug auf die geologischen und topographischen Verhältnisse in den Einzugsgebieten in Murgänge aus den Sedimentsteingebieten und Massentransporte des Feinmaterials aus den abgewitterten Granitgebieten eingeteilt. Die durch Waldbrand beschädigten Stämme auf den Hängen wurden durch die Rutschungen in die Bach- und Flussregime verfrachtet und förderten im Verlaufs des Massentransportes Murenbildung durch Verkläuserung. Um zukünftigen Katastrophen durch Massentransporte des Geschiebes vorzubeugen, sollten durch stabilisierende Maßnahmen Schadgeschiebe fixiert und zurückgehalten werden, denn nach dem Taifunereignis sind noch genügende Schadgeschiebemassen in den Flusssohlen abfuhrbereit vorhanden.

Keywords: Flächenhafte Rutschungen, Taifunereignis, Waldbrand

ABSTRACT

The forest fire of the spring 2000 has affected extent areas in the east coastal region of the Republic of Korea. Two years later, the typhoon “Rusa” has brought a heavy rain storm in the burned area. Consequently numerous landslides with shallow shapes took place and caused serious damages through the delivery of a large amount of sediment. The frequency of landslides was considerably higher in the burned area as compared to the unburned area, because the forest fire had deteriorated the physical properties of ground surface such as ground solidity and percolation capacity. Sediment transport on the river bed was strongly

1) Assoc. Professor, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan; e-mail: kimura@gifu-u-ac.jp

2) Professor, Kangwon National University, Chungchon 200-701, Republic of Korea

3) Professor, Hokkaido University, Sapporo 060-8589, Japan

4) PhD Student, Graduate School of Agriculture, Hokkaido University, Sapporo 060-8589, Japan

dependent on the geological and topographical conditions, differentiating debris flows in the sediment stone area and mass transport of fine materials in the weathered granite area. Trees damaged by forest fire on slopes converted to drift wood and enhanced the magnitude of debris flow by jamming the flow course. In order to prevent the disastrous sediment transport in future, mitigation procedures for stabilization are necessary to fix and store the mobile sediment, because a large quantity of sediment is still remained on the river bed and ready to be reworked.

Keywords: Shallow landslide, Typhoon disaster, Forest fire

EINFÜHRUNG

Das Taebaek Gebirge ist die von Norden nach Süden verlaufende Gebirgskette und Wasserscheide auf der koreanischen Halbinsel und liegt deutlich im Osten, wodurch die Flüsse nach Osten wesentlich kürzere Lauflängen und in den Oberläufen steile Sohlengefälle aufweisen (Abb. 1). Die ungeordneten Kahlschläge in der Kolonialzeit und Verwüstungen während des Koreakrieges verheerten landesweit die Gebirgswälder. Die intensive Aufforstung im den ungeschützten Kahlgebirgen begann erst nach Kriegsende (Lee, 2002). Die Ostseite des Taebaek Gebirges ist klimatisch so ausgeprägt, dass im Frühjahr öfter starker Wind mit Geschwindigkeiten über 20 m/sec weht, der an der Wasserscheide zum Föhn mutiert und dadurch das Entstehen von Waldbränden begünstigt. Zwischen den Jahren 1960 und 2000 wurden im Bereich der Republik Korea 17.000 Waldbrände dokumentiert. Die dadurch beeinträchtigte Waldfläche betrug insgesamt rund 1.500 km².

Im April 2000 traten die Waldbrände weitgehend an der Ostküste auf. Die Brände vernichteten eine Waldfläche von 238 km². Dies entspricht rund 0.4 % der gesamten Waldflächen der Republik Korea. Ende August 2002, zwei Jahre nach den Waldbränden, überquerte der Taifun „Rusa“ die koreanische Halbinsel mit extremen Regenfällen und verursachte zahlreiche Rutschungen auf den Berghängen der Ostküste. In mehreren Einzugsgebieten kam es zu umfangreichen Geschiebekatastrophen oder Muren mit insgesamt 246 Toten und einer Schadenssumme von rund 4 Milliarden Euro.

Die Waldbrände lassen nicht nur die Vegetationsbedeckungen auf der Bodenoberfläche verschwinden, sondern verschlechtern auch die mechanischen und chemischen Eigenschaften der Bodenoberfläche und des Oberbodens und beschleunigten dadurch den Abtrag des Bodens von den Hängen. Aus diesem Grunde sind die Waldbrände als der bedeutende Faktor für die Fortsetzung der verheerenden Schäden im Einzugsgebiet und die Erhöhung der Katastrophen-



Abb. 1: Flussnetz in Republik Korea

Fig. 1: Network of rivers in the Republic of Korea

gefahr anzusehen.

In diesem Bericht wurden aufgrund von Geländeuntersuchungen und Luftbildanalysen die Eigenschaften der Rutschungen und der Massentransportprozesse im Vergleich zu Waldbrand-einzugsgebieten und waldbrandfreien Einzugsgebieten betrachtet, um die Einflüsse der Waldbrände auf Prozesse der Geschiebeerzeugung und -lieferung zu erklären. Indem die Eigenheiten der Einzugsgebiete hinsichtlich der Geschiebeproduktion berücksichtigt wurden, wurde gleichzeitig versucht, zweckmäßige technische Gegenmaßnahmen zur Katastrophenvorbeugung im betroffenen Gebiet vorzuschlagen.

RUTSCHUNGEN AUS WALDBRANDFLÄCHEN

Der Taifun "Rusa" führte zu extremem Regen mit einem maximalen Stundenniederschlagswert von 98 mm und einem Tageshöchstwert von 870 mm, gemessen in der Hafenstadt Gangneung an der Ostküste, wo die durchschnittliche Jahresniederschlagssumme zwischen 1.100 und 1.300 mm liegt. Die in Folge des Taifuns aufgetretenen Rutschungen hatten in der Republik Korea eine Fläche von insgesamt 2.304 ha. Allein an der Ostküste betrug die Rutschungsfläche rund 1.171 ha. Wenn die Untersuchungsdaten über die abgerutschte Bodenmächtigkeit (Korea Forest Service, 2003) angenommen werden, ist die durch diese Rutschungen in die Flüsse eingebrachte Schadgeschiebefracht mit 3-4 Mio. m³ einzuschätzen. Der Rutschungszustand nach dem Taifunereignis in Gangneung, wo die Flächengröße sämtlicher Rutschungen mit 591 ha und die Anzahl mit 3.012 Orten festgestellt wurde, ist als ein Beispiel in Abb. 2 und die Verteilung der Rutschungen in Abb. 3 dargestellt. Die flächigen Rutschungen konzentrierten sich in einem relativ engen Raum. Die gesamte Rutschungsfläche betrug zwar 112.3 ha aus 1.748 ha Waldbrandflächen und 478.7 ha aus 83.172 ha waldbrandfreien Bereichen, jedoch belief sich der Flächenanteil der Rutschungen aus den Waldbrandflächen auf 6.4 %, ein zwölfmal höherer Wert als der Wert von 0.6 % aus den



Abb. 2: Rutschungen auf verbrannten Hängen

Fig. 2: Landslides on burned hillslopes

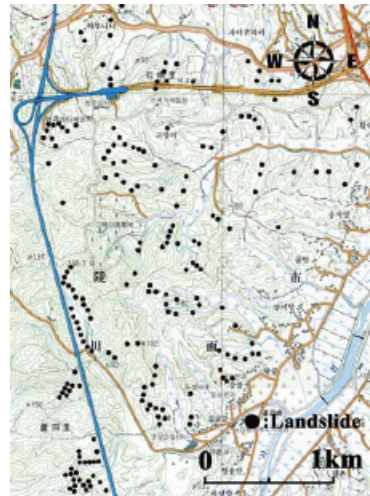


Abb. 3: Verteilung der Rutschungen im Einzugsgebiet Sacheonmyeon

Fig. 3: Distribution of landslides in the Sacheonmyeon catchments

waldbrandfreien Bereichen. Die Dichte der Rutschungen in den Waldbrandflächen betrug 83 Rutschungen pro km², dies entspricht dem 45-fachen Wert in der waldbrandfreien Bereichen (Gangneung City Office, 2003).

Geologisch gesehen wird die Republik Korea in 28 % Flächenanteil Granit und auch 28 % Granit-Gneise jeweils in Jurazeit eingeteilt sowie zusätzlich 20 % im präkambrischen metamorphischen Sedimentgestein. An der Ostküste dominiert der stark verwitterte Granit im Nord- und Mittelbereich, im Südbereich herrschen Granit-Gneise sowie die Sedimentgesteine vor. Rund 68 % sämtlicher Rutschungen beim Taifunereignis an der Ostküste traten in abgewitterten Granitsgebieten auf. Wie in Abb. 4 zeigt, befinden sich davon 64 % der Rutschungen im Mittelbereich der Hänge und 80 % in der Meereshöhe zwischen 50 und 150 m. Die Breite der Rutschungen variierte zwischen 3 und 34 m, und 77 % der gesamten Rutschungen hatte eine Länge von kürzer als 25 m.

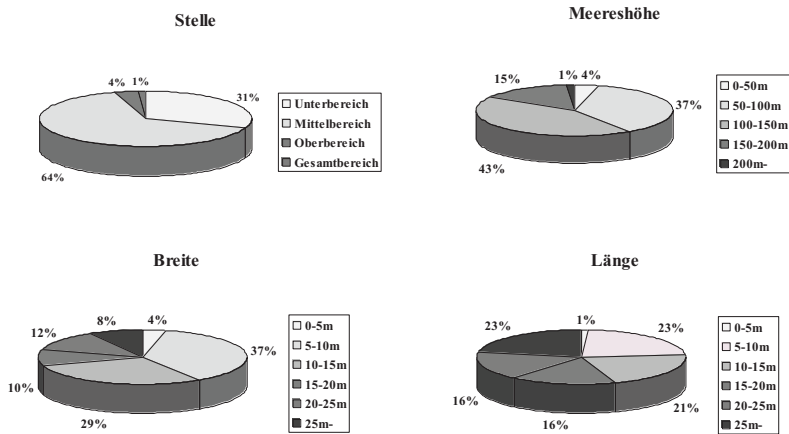


Abb. 4: Prozentanteil der Rutschungen in Bezug auf den Standort und das Ausmass in abgewitterten Granitgebiet
Fig. 4: Ratio of landslides concerned the location and scale in the weathered granite area

Die Mächtigkeit der abgeglittenen Rutschungen schwankte zwischen 0.2 und 0.8 m. Im Durchschnitt waren die Rutschungen flächig und wiesen einen Mittelwert von weniger als 0.5 m Tiefe auf (Suzuki et al., 2003). Die Ursachen sind auf den Verlust der Humusschicht und die Zerstörung des Oberbodens durch Waldbrände sowie die schwach entwickelten Böden auf verwittertem Granit zurückzuführen. Die meisten Rutschungen sind relativ kleinräumig mit einer Flächengröße zwischen 100 und 200 m². Rund 38 % sämtlicher Rutschungen zeigt ein Hanggefälle zwischen 30 und 40° mit einem Mittelwert aller Rutschungen von ca. 39°.

Der Waldbrand verschlechtert die hydrologische Eigenschaft der Bodenoberfläche wie z.B. die Verringerung der Versickerungsfähigkeit und die Abnahme der Wasserdurchlässigkeit im Unterboden (Shakesby et al., 1993; Rab, 1996). Dadurch werden die Abflussverhältnisse am Hang negativ beeinflusst und verändert. In den Einzugsgebieten in der Provinz Goseong und der Stadt Gangneung, welche beide zur Zone des abgewitterten Granits gehören, sowie einem der Sedimentgestein-Zone zuzuordnenden Einzugsgebiet in der Stadt Samcheok wurden die oberflächennahen physikalischen Bodenstrukturen auf Waldbrandflächen im Vergleich zu den anliegenden waldbrandfreien Hängen untersucht.

Wie in der Abb. 5 dargestellt, zeigte die Bodenfestigkeit auf Waldbrandflächen bei 5, 10, 15 und 20 cm Tiefe in drei Einzugsgebieten jeweils die größeren Werte im Vergleich zu den Werten auf waldbrandfreien Hängen. Ebenso nahm die Lagerungsdichte des Bodens auf Waldbrandflächen in Goseong um 15 %, in Gangneung um 6 % und in Samcheok um 3 % zu (Abb. 6). Die Zunahme beider Faktoren ist auf das Zusammenfügen der Bodenbestandteile im Oberboden unter Abspülung des Feinmaterials zurückzuführen. Im Gegensatz dazu nahm der Wert der Grob-Porosität (bei pF 2.8) in Goseong auf 15 %, in Gangneung auf 14 % und in Samcheok auf 4 % ab (Abb. 7). Der Waldbrand beeinträchtigte außerdem die Infiltrationskapazität der Bodenoberfläche, deren Wert sich in Goseong auf 42 %, in Gangneung auf 59 % und in Samcheok auf 15 % verringerte (Abb. 8), bedingt voraussichtlich durch die Krustenbildung des Mineralbestandteils bei Brandhitze. Die Wasserdurchlässigkeit des Unterbodens reduzierte in Goseong auf 20 %, in Gangneung auf 33 % und in Samcheok auf

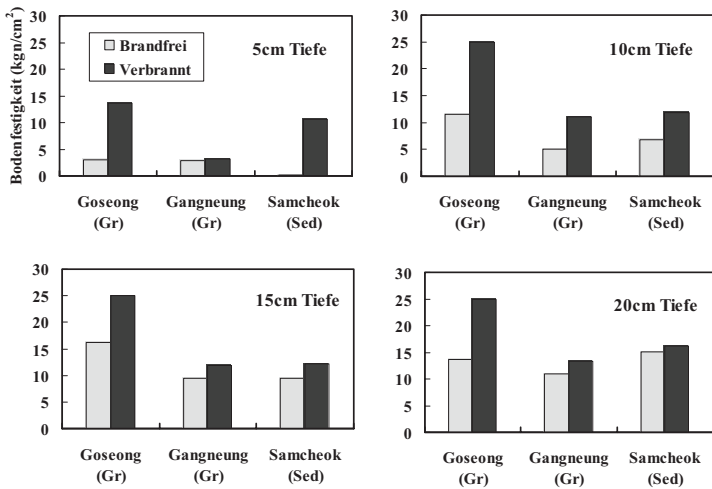


Abb. 5: Bodenfestigkeit in verbrannten und brandfreien Hängen

Fig. 5: Soil compaction on burned and unburned slopes

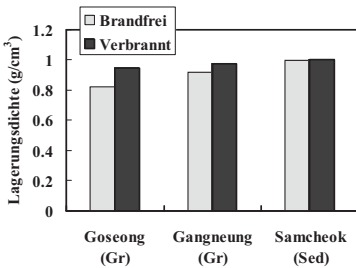


Abb. 6: Lagerungsdichte der Bodenoberfläche

Fig. 6: Bulk density of soil surface

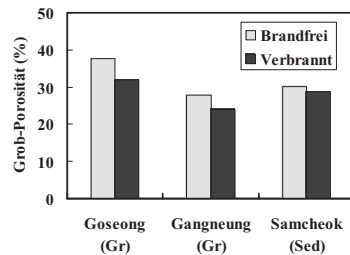


Abb. 7: Grob-Porosität im Oberboden (bei pF 2.7)

Fig. 7: Coarse porosity of top soil (at pF 2.7)

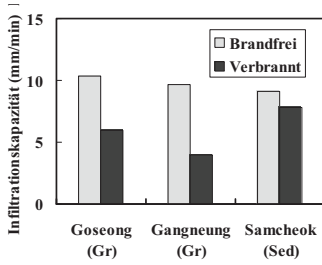


Abb. 8: Infiltrationskapazität des Oberbodens
 Fig. 8: Infiltration capacity of the top soil

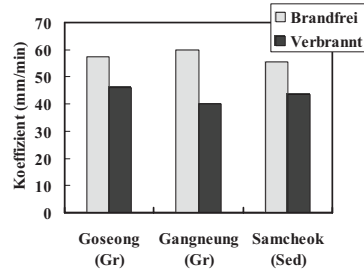


Abb. 9: Koeffizient der Wasserdurchlässigkeit im Unterboden
 Fig. 9: Coefficient of water permeability of the subsoil

22 % (Abb. 9). Die negative Auswirkung der Waldbrände auf Bodenstruktur ist insbesondere in der Zone des verwitterten Granits deutlich zu erkennen.

Die Grob-Porosität und die Infiltrationskapazität sind bedeutende Indikatoren für die Wasseraufnahme im Boden. Der Durchlässigkeitsbeiwert bezieht sich zudem eng auf den Wasserumlauf im Unterboden. Eine Versuchsanordnung bezüglich des Feststoffabtrages auf Hängen mittels eines Lysimeters zeigte, dass der Feststoffabtrag auf Waldbrandflächen Werte zwischen 200-700 g/m² aufwies, falls der Niederschlag 200 mm überschritt, während die Werte auf waldbrandfreien Hängen bei gleicher Niederschlagshöhe höchstens 100 g/m² betragen (Seo, 2003). Aufgrund dieser Ergebnisse und den Vergleichswerten bezüglich der oberflächennahen Bodenstruktur ist festzustellen, dass die Abnahme der Versickerungsfähigkeit von Bodenoberflächen durch Waldbrände den Oberflächenabfluss steigert und im Zusammenhang mit der Reduzierung der Wasserdurchlässigkeit im Unterboden das Auslösen einer Rutschung begünstigt.

Im Untersuchungsgebiet werden seit Anfang 1960er Jahre intensive Aufforstungen durchgeführt. Heute sind auf den Berghängen prächtig entwickelte Bestände mit Rotkiefer (*Pinus densiflora*) und Lärche (*Larix leptolepis*) anzusehen. Die von Waldbränden betroffenen Bäume waren größtenteils Rotkiefer mit dem Alter von 35-40 Jahren, einer Höhe von 12-15 m, einem durchschnittlichen Brusthöhendurchmesser von 20 cm und der Bestandesdichte von 400-900 Individuen/ha.

Nach dem Waldbrand im Jahr 2000 wurde auf den betroffenen Berghängen als Sofortmaßnahme weitgehend 4-8 jähriger Pflanzen von Rotkiefer, Bergahorn (*Acer palmatum*) und Eichen-Arten (*Quercus mongolica*, *Quercus variabilis*) gesetzt. Die hervorragenden Zuwächse von über 50cm pro Jahr betätigten die Richtigkeit der Pflanzwahl (Society of Korean Forest Conservation, 2005). Die stabilisierende Wirkung dieser Aufforstung war allerdings nicht ausreichend, da das Taifunereignis nur ein Jahr nach der Pflanzung erfolgte und die zur Stabilisierung erforderliche Wurzelbildung noch nicht abgeschlossen war (Abb. 10).



Abb. 10: Rutschungen auf der Aufforstungsfläche
 Fig. 10: Landslides in the reforestation area

In der Republik Korea ist heute noch eine althergebrachte Sitte verbreitet, die Toten in einem kreisförmigen Erdgrab auf einem terrassierten Berghang zu bestatten. Neben den Rutschungen auf normalen Berghängen zerstörte das Taifunereignis 2002 auch Friedhöfe, die dadurch eine gewisse Rolle als Geschiebeherde spielten (Abb. 11). Als Geschiebeherde dienten auch Forststrassen in Einzugsgebieten. Durch Abrutschung talseitiger Böschungen wurde das Geschiebepotential empfindlich vergrößert (Abb.12).



Abb. 11: Zerstörung der Friedhöfe auf dem Hang
Fig. 11: Destroying of the cemetery on the hillslope



Abb. 12: Abrutschung talseitiger Strassenböschungen
Fig. 12: Sliding of the road embankment

EIGENHEITEN DER FESTSTOFFMOBILISIERUNG

An der Ostseite des Taebaek Gebirges mit der Höhe der Wasserscheide zwischen 1.000 und 1.500m ü.M. haben die meisten Flüsse eine Lauflänge kürzer als 50 km. Vom Mittellauf abwärts wird die Gebirgsform sanfter wie bei einem „alten“ Gebirgszug. Die flachen Küstenebenen greifen tief in den Gebirgszug ein. Das Längsprofil ist daher in den Oberläufen ziemlich steil und verändert sich signifikant bei Erreichen des Unterlaufes. Eine Entwicklung großräumiger Schwemmkegel ist daher nicht zu beobachten. Die Flachstrecken der Unterläufe dienen der Landwirtschaft, meistens Reisanbau und auf den Hängen dem Gemüseaubau. Die Siedlungen befinden sich verstreut auf der Ebene und den Hängen.

Nach dem Waldbrand im Jahr 2000 wurden die verbrannten Bäume teilweise abgeholzt, jedoch nicht abgeräumt. Die beschädigten Bäume, tote, vertrocknende und lebende verblieben am Standort (Abb. 13). Beim Taifunereignis wurde eine große Anzahl solcher Stämme sowie auf den Hängen zurückgelassene Schlagabraum durch Rutschungen ins Tal befördert und führte durch Verkläuserung zur Murenbildung und zusätzlicher Mobilisierung von Feststofffrachten (Abb. 14).

Im Einzugsgebiet Guncheonchon, das zur Sedimentgesteinzone gehört, trug dieser Prozess mit dem im Flusslauf bereits vorhandenen kugelförmigen Geschiebe (mit



Abb. 13: Beschädigte Bäume auf Berghängen
Fig. 13: Damaged trees on the mountain slope

Korngrößen zwischen 0.5 und 1.3 m) entscheidend zur Murenbildung bei (Abb. 15). Das mit Geschiebe zusammen abtransportierte Treibholz führte unterwegs im Flusslauf und bei Brücken zu Verklausungen und verursachte, bei einer früheren Flussbreite von etwa 50 m, über lange Strecken Geschiebeablagerungen mit rund 2 m Mächtigkeit im flachen Flussbett und großflächige Überschwemmungen im Unterlauf.

Wie in Abb. 16 gezeigt, war in Gebieten aus verwitterten Granit die Auswaschung des



Abb. 14: Die Murenablagerung mit Treibholz
Fig. 14: Deposition of debris flow with drift woods



Abb. 15: Ablagerung der kugelförmigen Geschiebe
Fig. 15: Deposition of the spherical boulder

Feinmaterials mit der Mittelkorngröße von 2 mm charakteristisch. Das antransportierte Feinmaterial lagert sich deshalb nahe dem Talausgang ab und wird bei Flussrichtungsänderungen im Unterlauf, an Stellen geringer Schleppspannung, insbesondere in der Innenseite von Außenkurven vom Gerinne aus angelandet (Abb. 17).

Eine typische topographische Eigenschaft zeigt sich im Fluss Hwangpocheon, der eine Einzugsgebietsfläche von 10.3 km² und eine Lauflänge von 8.3 km aufweist (Abb. 18). Das Sohlengefälle zeigt im Mittellauf Werte von 6 bis 9 ‰, reduziert sich jedoch plötzlich am Talausgang (bei km 4.0) auf das geringere Gefälle von 3-5 ‰ (Abb. 19).



Abb. 16: Umlagerung des Feinmaterials auf der Bachsohle
Fig. 16: Reworking of fine material on channel bed



Abb. 17: Massenablagerung des Feinmaterials auf der Flusssohle
Fig. 17: Accumulation of fine material on river bed

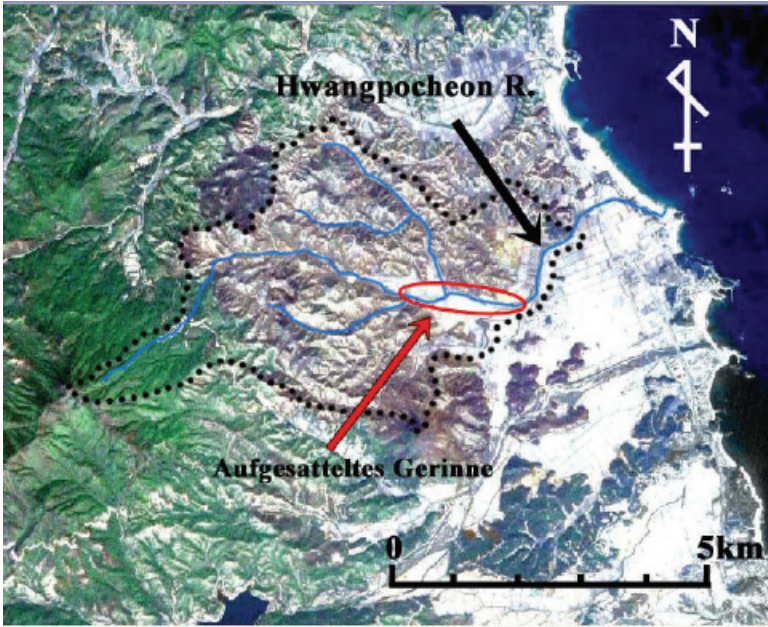


Abb. 18: Einzugsgebiet Hwangpocheon im Provinz Goseong

Fig. 18: Catchments of Hwangpocheon River in the Goseong province

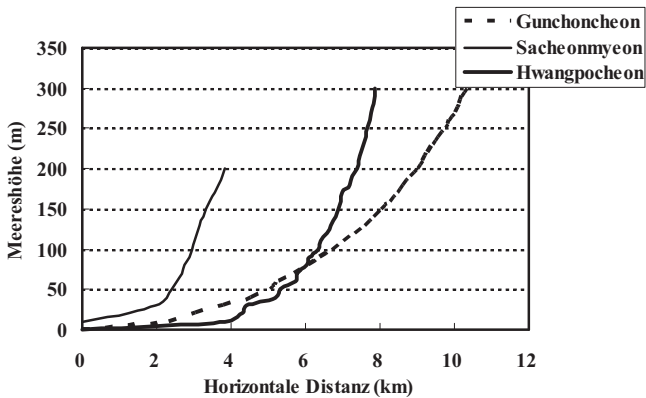


Abb. 19: Längenprofile der Flusssohle

Fig. 19: Longitudinal section of the rivers

In Unterlauf des Hwangpocheon liegt außerdem ein aufgesatteltes Gerinne vor. Bei km 3.5 liegt die benutzte Sohle 1.5 m höher als die begleitenden landwirtschaftlichen Flächen, die im Katastrophenfall durch eine erhebliche Geschiebeablagerung betroffen wurden. Sowohl eine solche Aufsattelung als auch die geringe Transportkapazität des Flussquerschnittes und das

Fehlen funktionierender Ufersicherungen verursachten Überschwemmungen (Abb. 20). Dies gilt auch in anderen Einzugsgebieten aus verwittertem Granit.

Es ist anzunehmen, dass in den Gebieten aus verwittertem Granit, bereits vor dem Taifunereignis die Akkumulation des Feinmaterials auf der Flusssohle stattgefunden hat. Die Ursache war die kontinuierliche Oberflächenerosion von den Berghängen (Lee, 2004). Dieses akkumulierte Material konnte beim Ereignis massenhaft mobilisiert werden und trug damit wesentlich zur Erhöhung des Schadgeschiebeanteiles bei. Das Volumen der abtransportierten Geschiebemassen in den einzelnen Einzugsgebieten ist allerdings wegen

der mangelhaften Datensammlungen nicht genau abzuschätzen. Es ist jedoch ersichtlich, dass sich die Prozesse des Feststoffabtrags beim Taifunereignis streng auf geologische Bedingungen beziehen und in Murgänge in Gebieten aus Sedimentgestein sowie Geschiebekatastrophen mit vorwiegend Feinmaterial in Gebieten aus verwittertem Granit eingeteilt werden.

Die zur Talsohle in großer Anzahl abgetragene Bäume und der Schlagabraum spielten beim Taifunereignis als Treibholz eine bedeutende Rolle bei der Auslösung von Murgängen. Unter der Voraussetzung, dass etwa die Hälfte, der auf den Hängen gestandenen Gehölze zur Mobilisierung der Prozesse beigetragen haben, wurde rund eine halbe Million Stück Unholz von den Berghängen an der Ostküste beim Taifunereignis mobilisiert. Das Treibholz erreichte zum Teil das Meer, wodurch enorme Schäden für die Küstenfischerei entstanden. In waldbrandfreien Einzugsgebieten bildeten sich zwar ebenfalls die von Rutschungen verursachten Murgänge, jedoch war ihre Häufigkeit niedriger und ihr Ausmaß geringer.

Teilt man die Rutschungen nach der Höhenlage ein, befindet sich rund 63 % sämtlicher Rutschungen zwischen 50 und 150 m Meereshöhe, im Gegensatz dazu liegt lediglich 1 % der Rutschungen über 200 m Meereshöhe. Daraus ist zu schließen, dass der größte Teil des Geschiebes, das im Unterlauf die Vermurungen und Überschwemmungen hervorrief, nicht unmittelbar aus den Berghängen im Oberlauf des Flusses stammte, sondern als bereits abgelagerte Feststofffracht auf der Flusssohle oder von Hängen nahe dem Talausgang vorhanden war. Dies bedeutet, dass sich die Katastrophe verursachenden Geschiebeherde nicht so fern von den zu schützenden Bereichen befinden.



Abb. 20: Überschwemmung der Reisfelder bei dem aufgesattelten Gerinne

Fig. 20: Flooding in the rice fields in the section of the raised river bed

PRINZIPIEN UND METHODEN DER GEGENMASSNAHMEN

Seit langem entwickelt sich und pflegt man in der Republik Korea eine sorgfältige „kunstvolle“ Hangbegrünungstechnik, die heute noch überall vorhanden ist. Bis zum Taifunereignis war der Schwerpunkt der technischen Vorbeugungsmaßnahmen bevorzugt in der Begrünungsarbeit auf vegetationslose Berghänge beschränkt, um die Geschiebeherde zu stabilisieren und Quellen des Schadgeschiebes auszuschalten (Chun, 2003). In den Einzugsgebieten mit hoher Priorität wurden bereits vor dem Taifunereignis Wildbachsperrn errichtet, die jedoch in vielen Fällen als Einzelobjekte gebaut wurden. Aus diesem Grund

konnten sie im Ereignisfall ihre Funktion nur teilweise erfüllen bzw. wurden aufgrund von Teilbeschädigungen durch dynamische Geschiebebelastung in ihrer Funktion beeinträchtigt.

Zur Vorbeugung und Verminderung der mit Geschiebe zusammenhängenden Katastrophen in einem Einzugsgebiet, sollte der Schwerpunkt der technischen Maßnahmen von der Hangsicherung mittels Begrünungen zur Steuerung des Geschiebetransportes im Hauptlauf und den Zubringern geändert werden, um die gefährdeten Bereiche zu schützen. Dazu ist es unerlässlich, eine möglichst genaue Abschätzung des Geschiebepotentials und der mobilisierbaren Feststofffrachten sowohl auf den Hängen als auch im Flusslauf im gesamten Einzugsgebiet durchzuführen, damit ein entsprechender, räumlich und zeitlich geordneter Geschiebewirtschaftungsplan eingerichtet werden kann.

In durch Schäden betroffenen Einzugsgebieten aus Sedimentgestein ist nach dem Taifunereignis festzustellen, dass sich im Flussbett Grobgeschiebe abgelagert haben und die verbrannten Bäume noch auf den Berghängen stehen. Deswegen ist es im Tallauf erforderlich, einen systematischen Sperrbau mit Unholzfilterung einzurichten, um die Vermurungen und den Schadgeschiebetransport zu reduzieren. Berücksichtigt man die topographischen Eigenartigkeiten der Einzugsgebiete, die sich in Längsprofil und Querschnitt des Flusses widerspiegeln, zeigt sich, dass das antransportierte Geschiebe bei Talausgang zu kontrollieren ist, wo schon jetzt die Umlagerung sowie Ablagerung des Geschiebes stattfindet.

In Gebieten aus verwittertem Granit ist vorzuschlagen, einen geeigneten Geschiebeablagerungsplatz im Knickpunkt des Längsprofils am Talausgang zu errichten. An diesen Stellen findet bereits eine natürliche Feingeschiebeakkumulation statt. Ergänzend sind im Unterlauf Uferschutzmaßnahmen zu setzen. Das aufgesattelte Gerinne soll maschinell entfernt werden, um den Flusslauf wieder der natürlichen Tiefenlinie zuzuführen.

Um die Stabilisierung der Geschiebeproduktion in einem Einzugsgebiet zu erzielen, ist die Wirkung einer einzelnen Baumaßnahme allein nicht zielführend, sondern ist es bedeutend, die funktionelle Zusammensetzung mehrerer Bauwerke in einer Funktionskette zu berücksichtigen (Fiebiger, 2006). Nebst der Fortsetzung technischer und biologischer Maßnahmen ist zudem die Entwicklung der raumplanerischen und sozio-ökonomischen Maßnahmen mittels weltführender IT-Technologie bedeutend. Vor allem sollte die IT-Technologie bei der Feststellung der Gefahrenzonen und der Erstellung von Gefahrenzonenplänen angewandt werden.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Soweit Vermurungen und Geschiebekatastrophen unseren Lebensraum beaufschlagen, ist es bedeutend, sowohl die Naturprozesse zu verstehen als auch Landnutzungspläne aus der Sicht der Katastrophenvorbeugung zu entwerfen. Mit Erweiterungen der Infrastruktur und der fortschreitenden regionalen Entwicklung ergibt sich neuerlich in der Republik Korea eine Zunahme von Naturkatastrophen sowie deren Schadenssummen. Beim Taifunereignis im Jahr 2002 kam es zu erhöhter Bereitstellung von Schadgeschiebe und Treibholz aus den Waldbrandflächen des Jahres 2000. Als Ursache dieser Waldbrände sind einerseits menschliche Fahrlässigkeit, aber auch militärische Übungen zu benennen. Aus beiden Gründen kann man die Waldbrandgefahr zukünftig nicht ausschließen.

Nach dem Katastrophenereignis 2002 sind auf Berghängen die durch Waldbrände beschädigten Bäume noch zahlreich vorhanden, wodurch das Restrisiko in den betroffenen Einzugsgebieten ansteigt. Ein topographisch ausgeprägter Unterschied von Flüssen mit steilem Sohlengefälle im Oberlauf und Unterläufen mit wenig Gefälle beeinflusst an der

Ostküste der Republik Korea deutlich die Feststofftransportprozesse, die auch von geologischen Gegebenheiten abhängig sind. Überdies ist die Entfernung zwischen Verursachungsgebiet und Schadenswirkungsgebiet meistens relativ gering, so dass die schützenden Bereiche unmittelbar von den Geschiebемobilisierung gefährdet sein können. Unter Einbeziehung dieser Standortbedingungen sollten die integrierten Maßnahmen zur Geschiebем Bewirtschaftung getroffen werden, um die Sicherheit des Lebensraums an der Ostküste zu gewährleisten.

DANKSAGUNGEN

Unser Dank gebührt Herrn Dr. Min-Sik Kim der Kangwon Universität und den Magisterstudenten, Herrn Jin-Ho Lee, Herrn Youn-Jin Kim und Herrn Young-Hyup Lim, die bei den Feldbegehungen und Datenanalysen stets behilflich waren. Dank geht auch Herrn Dr. Gernot Fiebiger für seine freundliche Durchsicht des Textes. Diese Arbeit wird finanziell zum Teil vom „Japan Society for the Promotion of Science“ (JSPS: No.17208012) unterstützt.

LITERATURVERZEICHNIS

- Chun K., Seo J. and K. Yeom (2003): Sediment disasters and prevention works in Korea. Proc. Int. Workshop on Sedimentary Dynamics in Catchment Scale in Sapporo: Japan, 143-151.
- Fiebiger G. (2006): Landslide Control: Tool of the Chain of Functional Structures in Systematic Debris Flow Control. Proc. "INTERPRAEVENT 2006" in Niigata: Japan, Vol. 2, 705-713.
- Gangneung City Office (2003): The collection of research works on the typhoon "Rusa". 687p. *
- Korea Forest Service (2003): Archives on restoration of flooding damages by the typhoon "Rusa". 802p. *
- Lee C. (2002): Erosion, sediment disasters and sabo in Korea. "Kasen", 2002.5, 26-34. ***
- Lee C. (2004): Characteristics of Soil Erosion in Forest Fire Area at Kosung, Kangwondo. J. Korean For. Soc., 93(3), 198-204.**
- Rab M.A. (1996). Soil physical and hydrological properties following logging and slash burning in the *Eucalyptus regnans* forest of southeastern Australia. Forest Ecology and Management, 84, 159-176.
- Seo J. (2003): Effects of Vegetation Burnt Trees and Mulching Sheets on Soil Outflow in Forest Fire Area. Master dissertation of the Kangwon National University, 55p. (unveröffentlichte Publikation) **
- Shakesby R.A. et al. (1993): Wildfire Impact on Soil Erosion and Hydrology in Wet Mediterranean Forest, Portugal. J. Wildland Fire, 3(2), 95-110.
- Society of Korean Forest Conservation (2005): Report of the monitoring on recovery and rehabilitation in damaged areas by forest fire in the eastern coastal regions. 150p. *
- Suzuki M. et al. (2003): Debris disasters in the eastern region of Korea caused by the 15th typhoon Rusa in 2002. J. Jap. Soc. Erosion Control Engineering, 55(6), 59-67. ***

* : auf Koreanisch (Titelübersetzung vom Verfasser)

** : auf Koreanisch mit dem englischen Titel sowie Kurzfassung

*** : auf Japanisch mit dem englischen Titel sowie Kurzfassung

MESSUNG DER GESAMTEN GESCHIEBEFRACHT IM ABE-RIVER MIT EINER GESCHIEBEFALLE

OBSERVATION OF SEDIMENT DISCHARGE BY TOTAL LOAD TRAPPING EQUIPMENT IN ABE RIVER

Reiji KONDO¹, Toshihiro HASHINOKI²

ZUSAMMENFASSUNG

Will man das Problem der Geschiebefracht lösen, ist es erforderlich die Bereiche der Geschiebeentstehung als Teil des Geschiebetransportsystems zu behandeln. Um das zu ermöglichen ist es notwendig die Beschaffenheit der Geschiebefracht zu erfassen. In Gebirgsflüssen fließen Geschiebe, Suspensionen und Washload über das gesamte Abflussprofil.

Die Autoren haben ein Verfahren entwickelt um die gesamte Feststofffracht über eine Messeinheit auszufiltern. Die Instrumentierung wurde an der OSHIMA-SPERRE im OBERLAUF des ABE-Flusses zur Messung der Geschiebefracht installiert.

In vier Beobachtungsperioden gewann man nachstehende Erkenntnisse: (1) Die Hochwässer eines Normaljahres zeigten, dass Suspensionsfracht und Washload einen wesentlich höheren Anteil am gesamten Feststofftransport haben als das Geschiebe. (2) Die Ergebnisse für die Suspensionsfracht und die Washload waren höher als die in anderen Flüssen erreichten Werte. (3) Die nach den Formeln von Ashida, Takahashi, und Mizuyama angeschätzte Geschiebefracht, war in vielen Fällen größer als der gemessene Betrag. Im Bereich der Spitzenabflüsse wurde die Differenz jedoch geringer. Die nach der Formel von Meyer-Peter Müller errechneten Wertewaren im Allgemeinen geringer als die Messwerte. Auch bei den Spitzenabflüssen war der Abstand gleich.(4)Die Effektivität des "Japanischen Röhren - Hydrophons" wurde als Messmethode zur Messung des Geschiebes bestätigt.

Keywords: Geschiebetransportsysteme, Feststofffracht, Geschiebefracht, Suspensionsfracht,

ABSTRACT

To resolve the problems from sediment discharge, it is required to treat the area of sediment as the "sediment transport system". To enable this, the state of sediment discharge must be grasped. In mountainous rivers, bed load and suspended load and washload were said to flow down at all depths. We developed the Total Load Trapping Equipment can trap all sediment at unit width. We placed it at the Oshima check dam located upstream of the Abe river and measured the sediment discharge. Based on the 4 observations, the following knowledge was gained; (1) In the floods at normal year, suspended load plus washload account for a far greater ratio than that of bed load in the total sediment discharge at this river; (2) The suspended load plus washload obtained was greater than those obtained at other rivers; (3) The bed load estimated by the Ashida, Takahashi, and Mizuyama's formula was greater than

¹ Sabo Technical Center, JAPAN (Tel.:81-3-5276-3271 ;Fax: 81-3-5276-3391 ;email: kondo@stc.or.jp)

² Sabo Technical Center, JAPAN

the measured amount in many cases, but the difference became small at peak flow rate. The bed load estimated by the Meyer Peter, Muller's formula was generally smaller than the measured amount, but the difference remained small; (4)The effectiveness of the "Japanese pipe hydrophone" was confirmed as a observation method of grasping bed load.

Keywords: sediment transports systems, total load, bed load, suspended load

INTRODUCTION

The sediment discharge causes various problems to river basins, such as flooding due to river bed aggradation and a reduction in sediment transport capacity; a reduced water storage capacity due to sedimentation in a reservoir; scouring of a foundation bottom due to riverbed degradation; and retreat of a coast line due to reduced sediment transport to a river mouth. To tackle these problems resulting from sediment discharge, it is necessary to treat the entire area of sediment movement from mountain to littoral drift area as the "sediment transport system" and to take comprehensive sediment control measures over the entire basin (Subcommittee for Comprehensive Sediment Control, River Council, 1998). As the first step in this direction, it is required to grasp the temporal change of sediment amount and particle size which flow down a given river as a flood flow.

With this in the background, sediment discharge has been measured at the Tenryu river and the Hime river by collecting samples using a sampler placed at the overflow section of a check dam for collecting suspended load and bed load at various depths, or using a sampler inserted into the flowing water from a backhoe for collecting bed load (Nakano et al. 2001). At the Abe river, sediment observations has been conducted at various positions of the river basin, from sediment source to the river mouth. (Matsuki, Hashinoki et al. 2005, Mizuno et al. 2005, Imaizumi et al. 2003, Kondo et al. 2005).

It is considered that both suspended load and bed load are usually mixed at all depths when they flow down as a flood flow. Therefore, the sampling position should not be fixed in the water depth direction, but allowed to be flexible to trap sediment moving at all depths.

Therefore, by referring to existing measurement case (Nakano et al. 2001), we developed a sediment discharge trapping equipment (hereinafter referred to as the "Total Load Trapping Equipment") that can trap all the sediment passing through the unit width (1.0m) of a flood flow which flows down the overflow section. Using this Equipment, we conducted a field measurement with a view to grasping the actual state of sediment discharge at a mountainous river.

TARGET DRAINAGE AREA

As shown in Fig.1, the Oshima check dam at which observation was conducted is located at the confluence of the Oya river and the Yomogi river, both tributaries upstream of the Abe river which flows through Shizuoka city. The total drainage area of those rivers above the Oshima check dam is 8.8km^2 . The Yomogi river originates from Mt. Yamabushi (2,014 m) and has drainage area 3.8km^2 , channel length 4.0km, and average gradient 1/3.6 up to this check dam. The Oya river originates from Mt. Oya (2,000m) and has drainage area 4.0km^2 , channel length 3.2km, and average gradient 1/2.9 up to the same dam. The "Oya Kuzure" said to have collapsed due to a severe earthquake in 1707 is located at the headwater area of the

Oya river. The horizontal area of the “Oya Kuzure” is estimated to be 1.8 km², altitude difference 800 m, and collapsed sediment 120 million m³ (Shizuoka River Work Office of the Ministry of Construction (MOC), 1988) and it is considered as the primary sediment source of the Abe river basin. The geology in the upstream area above this dam belongs to the Setogawa formation group of the Palaeogene Period and mainly consists of sandstone, shale, and alternation of these rocks. Having the Itoigawa-Shizuoka tectonic line on the east and the Sasayama tectonic line on the west, the geology in this area upstream of the Abe river is prone to collapse because the bedrock is fractured due to tectonic movements.

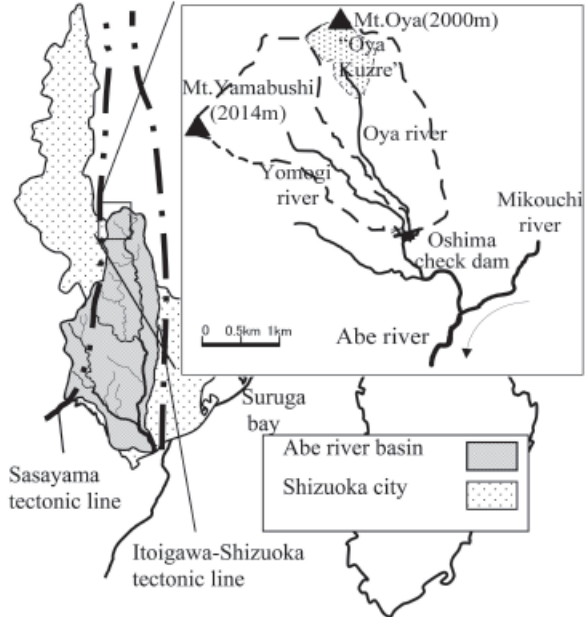


Abb.1: Umriß der Abe River-Ableitung Gebiet

Fig 1: Outline of the Abe River drainage area

The Oshima check dam, 22m high and sediment trapping capacity 410,000m³, was constructed in 1977 (Shizuoka River Work Office, MOC, 1988), but it is almost full now because of large-scale floods in 1982 caused by Typhoons No. 10 and No. 18. The present sedimentation gradient is about 1/15. A open type check dam is installed at 500m upstream of the Yomogi river and a series of groundsels located at 500 m upstream of the Oya river.

THE TOTAL LOAD TRAPPING EQUIPMENT

The Total Load Trapping Equipment was developed with the following four design objectives (Kakimoto, Yasuda et al. 2003);

- Both the flowing water and sediment at the all depths, from riverbed to water surface, can be sampled
- Sampling can be made without disturbing flowing water as much as possible
- The flowing water in the river center direction can be sampled
- Change of sediment amount and particle size with time can be measured

To satisfy these design objectives, the equipment was placed in the river center in front of the overflow section where the floodwater shows a constant flow, which enabled direct sampling of floodwater.

Because the primary objective of this equipment was to grasp the actual state of sediment discharge at the time of flooding, the possible target floods ranged from small and medium floods that occur in normal years to large-scale floods that occur once in 10 years or more. However, if a very large-scale flood is targeted, a large equipment is needed and the safety and operability may be impaired. Therefore a rainfall with a return period of about 20 years was selected as the target rainfall for the Total Load Equipment. The peak flow rate of this rainfall and the water depth at peak time are $38\text{m}^3/\text{s}$ and 0.6m , respectively.

The Equipment was designed to be able to function up to the target discharge without problems as following:

Trapping bucket :

The size of the trapping bucket was made larger than the jumping distance (2.5m) of a water of the target flow so that all the flowing water from riverbed to water surface in the unit sampling width could be captured.

Water conveyance pipe : The conveyance pipe to send sediment and water from trapping bucket to sampling tank was sized 0.8 m in diameter because the target flow was not pressurized.

Sampling tank:

The capacity of the sampling tank was made to 6.5m^3 (outside diameter 2.0 m , height 2.5 m) so that the target sediment and water could be sampled in several minutes at least. 7 sampling tanks were brought to the site to enable measurement of sediment discharge which changes as the flood discharge changes. Tanks were placed at the sampling position, one at a time, by crane and removed after sampling to measure the total sediment amount and the water amount in the sample.

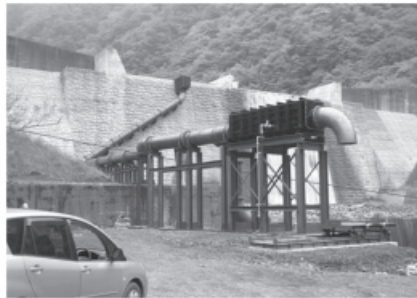


Abb.2: Überblick Totaler Last, der Ausrüstung fängt,
Fig 2: Overview of Total Load Trapping Equipment

The Total Load Trapping Equipment was placed in October 2004 as shown Fig.2, Fig.3.

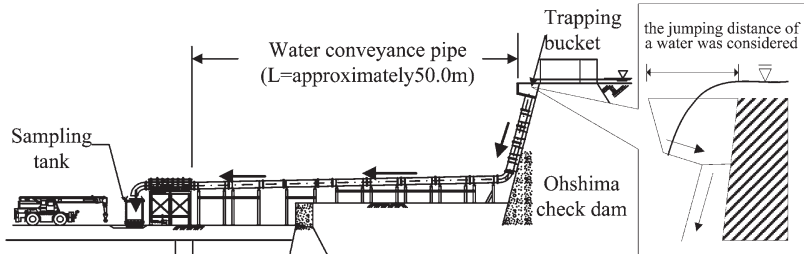


Abb.3: Über Sicht Totaler Last, die Ausrüstung fängt
Fig 3: Over view of Total Load Trapping Equipment

MEASUREMENT METHODOLOGY

Flow rate:

The flow rate at overflow section of Oshima check dam was measured with sampling. The velocity was obtained by a float. The water depth was measured by the supersonic wave type water gauge as shown in Fig.4. River width measured with the eye.



Abb.4: Der Überschall Wellenart Wassermaßstab für den Überlaufenteil des Oshima Scheckdammes

Fig.4: The supersonic wave type water gauge at the overflow section of Oshima check dam

Sampling tank:

It is necessary to separate the sediment from water to grasp of the actual of sediment discharge. But it is not practice to separate sediment from all sampled water because of the large size of the equipment. In order to estimate sampled sediment, contents of sampling tanks was divided into turbid water ingredients as Upper part and subsidence ingredients as Lower part as shown in fig.5, and each parts were measured.

Sampling tank (6.5m³)

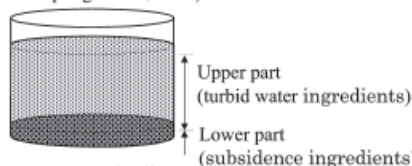


Abb.5: Einteilung probierten Bodensatzes

Fig.5: Classification of sampled sediment

The concentration of Upper part water was estimated by measuring only 1.5 liters turbid waters dipped immediately after sampling. The weight and particle size of Lower part was measured directly after draining other Upper part water by siphon and gathering. Total load corresponds to Upper part plus Lower part.

Washload is almost never exchanged with bed materials under natural conditions and almost never stay on the riverbed (Ashida et al. 1985). Hence, the particle with a size smaller than 0.1mm considered to be washload was excluded from subsidence ingredients samples when total load was calculated.

RESULTS OF OBSERVATIONS

The observations were conducted 10 times from 2003 to 2005. The results of the observations are shown in Table1.

As far as the current observation was concerned, it was rare that the flows from the Oya river flowed down the entire width of the overflow section. Hence, the discharge captured by the equipment was mostly the discharge from the Yomogi river. However, for the evaluation purpose, it was assumed that the flowing condition at the overflow section of the Oshima check dam was the same with that of water flowed into the unit width of the equipment. When the volume concentration was calculated, the weight of the soil grain was assumed to be 2.75 from the past soil test result (Kondo et al. 2004).

The total rainfall was obtained from the measurement at the Umegashima rainfall gauging station of the Japan Meteorological Agency (JMA). The return period was calculated from the

Tab.1: Ergebnisse totaler Lastbeobachtung
Tab.1: Results of total load observation

Target rainfall	Sampling data	Flow rate	Sediment discharge	Concentration	Maximum particle size	cumulative rainfall	Target rainfall	Sampling data	Flow rate	Sediment discharge	Concentration	Maximum particle size	cumulative rainfall
		(m ³ /s)	(10 ⁶ · m ³ /s)	(%)	(mm)				(m ³ /s)	(10 ⁶ · m ³ /s)	(%)	(mm)	
June, 2003 (Typhoon No.6)	2003.6.20	9:26	1.6	5	0.0003	-	September,2004 (Typhoon No.21)	2004.9.30	8:20	1.3	2296	0.07	53
		10:00	1.6	77	0.003	-			9:10	0.9	5712	0.02	26.5
September,2003 (Typhoon No.15)	2003.9.22	9:15	3.2	5	0.0002	-	October,2004 (Typhoon No.22)	2004.10.9	10:50	0.4	1751	0.09	59
		9:37	3.2	3	0.0001	-			8:27	11.7	19604	0.2	75
November,2003 (Typhoon No.19)	2003.11.6	13:34	3.2	5	0.0002	-			8:57	12.5	7808	0.06	26.5
		13:50	0.6	2	0.0003	9.5			9:57	12.8	12850	0.1	53
		14:00	0.6	0	0.00001	2			10:52	8.0	4717	0.5	150
		11:10	0.6	19	0.003	26.5			11:55	14.1	32139	0.2	106
		11:10	0.6	19	0.003	19			12:52	21.8	39662	0.2	53
		13:23	0.7	2	0.0003	19			13:53	21.1	81266	0.4	75
		14:27	0.6	0	0.00002	9.5			14:53	17.5	252323	1.4	150
		15:25	0.6	6	0.001	19			15:53	13.0	107479	0.8	106
		11:00	1.9	43	0.002	4.75			13:00	7.5	1150	0.02	37.5
		12:00	1.6	125	0.008	9.5			14:00	9.5	1596	0.02	53
13:00	1.4	2681	0.2	106	15:00	13.5	2456	0.02	53				
14:00	1.6	3954	0.1	19	16:00	14.3	1092	0.008	9.5				
14:45	25.5	831800	2.9	300	17:00	15.2	567	0.004	26.5				
15:00	1.9	12	0.0009	4.75	18:00	15.5	636	0.005	26.5				
15:25	0.6	6	0.001	19	19:10	12.6	376	0.003	26.5				
12:10	1.7	9	0.0008	4.75	9:00	0.5	3	0.0005	-				
8:00	2.4	9	0.0004	4.75	12:00	0.9	48	0.01	19.0				
9:00	2.3	13	0.0003	9.5	15:00	1.9	799	0.04	26.5				
11:30	2.0	10	0.0005	9.5	16:00	2.6	8876	0.3	75				
13:00	2.3	42	0.002	19	17:00	6.6	22083	0.2	106				
14:00	5.8	958	0.02	19	18:00	9.6	65520	0.02	85				
15:00	3.1	931	0.03	37.5	19:00	7.2	17894	0.2	75				
16:00	3.0	8218	0.3	150	20:00	9.3	58250	0.6	75				
17:00	4.9	1470	0.04	53	21:00	14.3	60774	0.4	106				
17:50	3.6	277	0.008	26.5	22:00	16.8	54862	0.5	106				
18:00	2.9	210	0.007	26.5	23:00	16.8	81199	0.8	75				
2004.9.8	8:00	4.7	1045	0.02	19	2005.8.26	0:00	15.1	70140	0.5	53		

past 26-year data (1979-2004) at the same gauging station using the Iwai method. The daily rainfall during the observation period was mostly in the range of a return period of 1-2 years. Even the maximum daily rainfall that occurred on Aug. 25 - 26 in 2005 had a return period of only 2.2 years. Accordingly, the measured flood was inferred to be the normal scale which occurs in ordinary years.

At Typhoon No.6, No.11 and No.16 in 2004 and Typhoon No.11 in 2005, large scale discharge occurred, and sediment during peak flow rate was sampled. The maximum values of flow rate, sediment discharge, sediment concentration, and particle size were obtained at 14:45 At Typhoon No.6 in 2004. The maximum sediment concentration and the maximum particle size were 2.9% and 300 mm, respectively.

Fig.6 shows the relationship between flow rate and sediment discharge obtained from these four observations. From this figure, it is known that the relationship was linear. But, because the sediment discharge on the ordinate varies from 10⁻⁷ to 10⁰ and the flow rate on the abscissa varies from 10⁻¹ to 10², it means that the sediment discharge was increased by 3-4 orders when the flow rate was increased by one order.

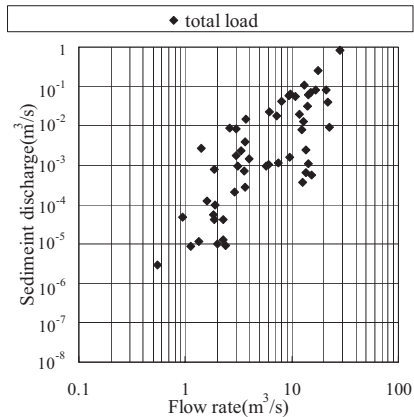


Abb.6: Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Bodensatzlösung
Fig.6: Relationship between flow rate and sediment discharge

DIVISION BY SEDIMENT DISCHARGE TYPE

The observation results obtained from The Total Load Trapping Equipment were not directly usable for the evaluation of the sediment movement type, because the sediment was kept in a tank together with water. In order to compare the results of observations with the past result at other areas or calculated value, sediment movement type was defined and classified according to particle size. It is assumed that the subsidence whose fall velocity is faster than friction velocity flows as bed load, and that other subsidence ingredients and the turbid water ingredients flows as suspended load and washload. Friction velocity was calculated as follows(Eq.1)

$$u_0 = \sqrt{ghi} \quad (1)$$

u_0 :friction velocity (m^3/s) , g :gravity acceleration ($9.8m^3/s$), h :water depth(m),

i :bed slope gradient

The water depth was measured by supersonic waves type water gauge, and bed slope was defined as 1/15 from past observation. Fall velocity was calculated from Rubey's formula (Rubey,1933) as follows(Eq.2)

$$\frac{\omega_0}{\sqrt{sgd}} = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36 \nu^2}{sgd^3}} - \sqrt{\frac{36 \nu^2}{sgd^3}} \quad (2)$$

ω_0 :fall velocity (m^3/s) , s :submerged unit weight(m^3/t) , d :particle size(m)

ν :coefficient of viscosity ($0.01 \text{ cm}^2/s$ at 25°C)

In the condition of observation, the division particle size of bed load and suspended load was ranges from 2.0 to 9.5mm.

Fig.7 shows relation of flow rate and sediment discharge of four observations divided by movement type, and Fig.8 shows the relationship between the total load vs. suspended load plus washload. According to this figure, the ratio of suspended load plus washload to the total

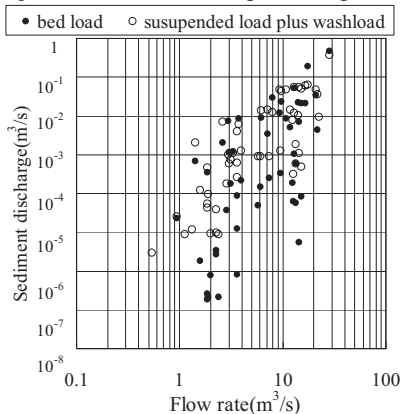


Abb.7: Beziehung zwischen Bettlast und schloß Last plus washload aus

Fig.7 Relationship between bed load and suspended load plus washload

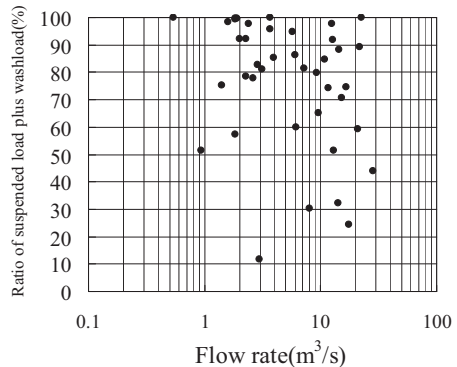


Abb.8: Beziehung zwischen Strömungsgeschwindigkeit und Verhältnis zu ausgeschlossener Last plus washload in totaler Last

Fig.8 Relationship between flow rate and ratio of suspended load plus washload in total load

load is over 50% in most cases, many are over 80%, and even cases close to 100% are not a few. This suggests that, in the case of floods expected to occur in normal years, suspended load plus washload account for a far greater ratio, sometimes 80% or more, compared with bed load in the total load flowing down a mountainous river.

TRANSITION OF FLOW RATE AND SEDIMENT DISCHARGE

Fig.9 shows the transition of flow rate and sediment discharge obtained from the 4 observations. The amount of suspended load plus washload was larger than the amount of bed load in most cases, but when the bed load increased, its amount approached or exceeded the amount of suspended

load plus washload (e.g. in Typhoon No.6 at 13:00 and 15:00; in Typhoon No. 18 at 16:00; in Typhoon No.22 at 15:00, in 2004). These are considered to indicate the discontinuous movement of bed load.

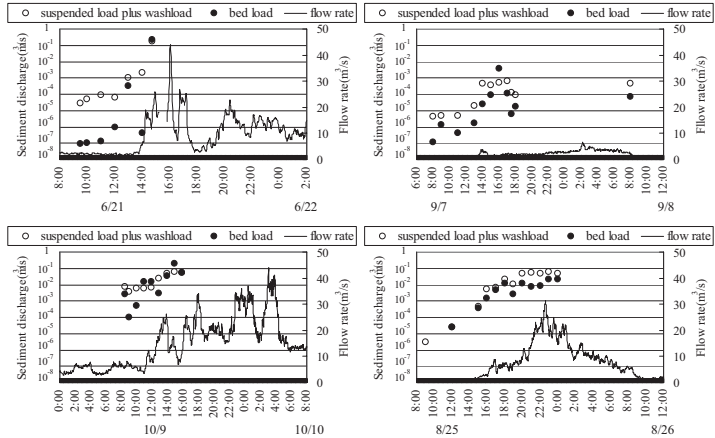


Abb.9:Übergang von Strömungsgeschwindigkeit und Bodensatzlöschung
Fig.9: Transition of flow rate and sediment discharge

COMPARISON OF CURRENT RESULTS AND RESULTS OF OTHER RIVERS

Fig.8 compares the relationship between flow rate and suspended load obtained from the current observation and past observations at other rivers (Yoshida et al. 1983, Terada et al. 2002). The relationship between flow rate and suspended discharge plus washload at four observations at the Oshima check dam was approximated using following equation;

$$Q_s = 2.8 \times 10^{-4} \times Q^{2.0}$$

Q_s:suspended load plus washload (m³/s)

Q:flow rate(m³/s)

The outline of a past observation is shown in Tab.2.

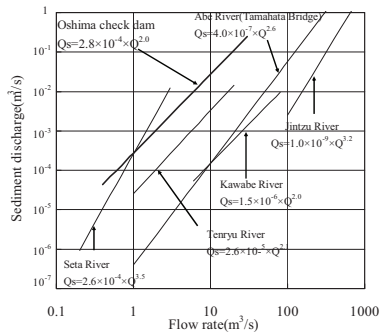


Abb.10: Schloß Löschung plus washload bei anderen Flüssen aus

Fig.10: Suspended discharge plus washload at other rivers

Tab.2: Der Umriss einer vergangenen Beobachtung

Tab.2: The outline of a past observation

Name of river	Location of measurement	drainage area(km ²)	average gradient	observation period
Abe river(Tmahata bridge)		146	-	2000-2001
Jinzu river		551	-	1979-1981
Kawabe river	Oduru river, tributary of the Kawabe River	15	1/8	1979-1981
Seta river	average of twenty four points	1-105	1/6-1/78	1980-1981
Tenryu river	average of three points from two catchment area	31,62	-	1975-1981

(Biwako Work Office, MOC, 1982, Jinzu Sabo Work Office, MOC, 1982, Kawabegawa Work Office, MOC, 1982, Shizuoka River Work Office, MOC, 1988, Tenryugawa-Joryu Work Office, MOC, 1982)

The target drainage area is small and hence the flow rate is small compared with other rivers as hown in Fig.10.

Therefore, it is difficult to directly compare the results of current observation with the results of those rivers, but it is shown that the suspended load of the current observation was larger than other results by one order in the flow rate range of 10^{-1} - $10\text{m}^3/\text{s}$.

OMPARISON OF BED LOAD BY SEDIMENT DISCHARGE FORMULA AND ACTUAL MEASUREMENT

Fig.11 shows the relationship between non-dimensional tractive force and non-dimensional sediment discharge by particle size, estimated from the current observation results, estimated by the Meyer Peter, Muller’s formula (M.P.M) (Meyer et al. 1948), and estimated by the Ashida, Takahashi, and Mizuyama’s formula (A.T.M) (Ashida et al. 1978). In this case, the critical tractive force at single particle size was calculated from the average particle size of the bed material by Iwagaki formula(Iwagaki,1956) at first, and the critical tractive force at each particle size was calculated by Egiazaroff modified formula (Egiazaroff,1965) secondly. Effective tractive force was used at M.P.M formula. The particle size was due to the particle size distribution test conducted in 2003 using sediment from the sedimentation site at the Oshima check dam , were utilized (Kondo et al. 2004). According to the comparison, there was a tendency that the A.T.M formula results were larger than the measurement results and the M.P.M formula results were smaller than the measurement results.

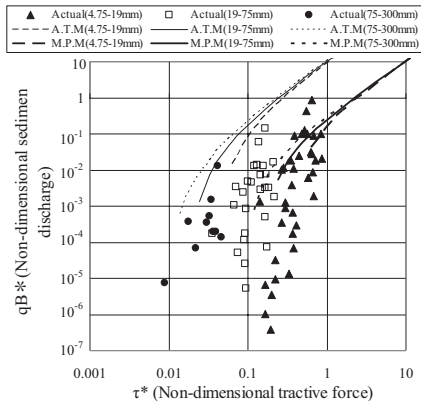


Abb.11: Beziehung zwischen nicht-dimensionaler tractive-Macht und nicht-dimensionaler Bodensatzlöschung

Fig.11: Relationship between non-dimensional tractive force and non-dimensional sediment discharge

Fig.12 shows the four cases comparing the bed load amounts obtained by actual measurement, by the MPM formula, and by the A.T.M formula. The bed load obtained by the A.T.M formula exceeded that of actual measurement by 3-5 orders in most cases, but when the

sediment discharge increased, the difference between them was within one order (Typhoon No. 6 - 15:00; Typhoon No. 22 - 15:00, 2004). The bed load obtained by the M.P.M formula was generally smaller than the actual measurement results, but often within the range of 1-2 orders.

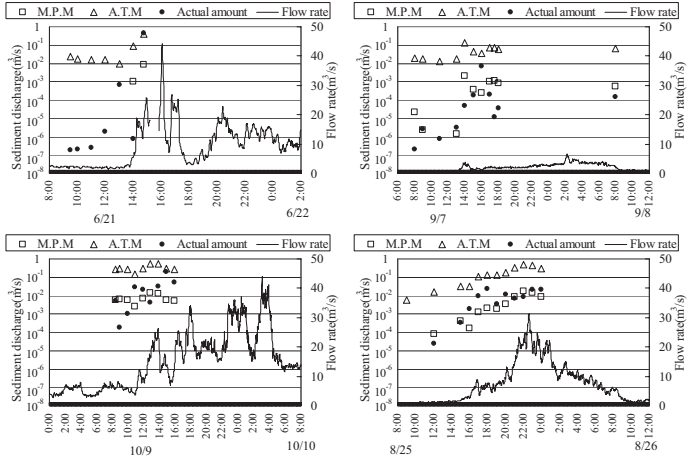


Abb.12: Die beobachteten und vorsätzliche Bodensatzlöschung
 Fig.12: The observed and calculated sediment discharge

“JAPANESE PIPE HYDROPHONE”

In addition to the direct measurement of the total load at this observation, the indirect measurement using a “Japanese pipe hydrophone” was carried out, which observed the collision sound of gravels to the metal pipe. The pipe was installed crossing the flow in the upstream of the trapping bucket. This device has six channels, Ch.1 to Ch.6, and the collision sounds of gravels from small particles are captured by Ch.1 to Ch.6, respectively (Oda et al. 2004). The number of collisions, bed load, suspended load plus washload captured at Typhoon No.11, in 2005 was shown in Fig.13.

Ch.1 and Ch.2 that were most sensitive rose from 13:30 as flow rate and discharge increase, and recorded a high value after 20:00. Ch.3 and Ch.4 rose from 13:30 and fell from 24:00 as flow rate and sediment discharge change. Ch.5 and Ch.6 responded slowly. Ch.5 and Ch.6 rose from 14:30 and 18:00, fell at 20:00, and rose again from 23:00 as bed load change. However, they did not respond to decrease of sediment discharge at 19:00. The effectiveness of the “Japanese pipe hydrophone” of this amplification extent was shown as a means of grasping the transition of bed load. But, further examination is would be necessary to use it for the quantitative observation.

CONCLUSION

To grasp the actual state of sediment movement at mountainous rivers, sediment discharge was measured at the Oshima check dam located at the upstream of the Abe river using a newly-developed Total Load Trapping Equipment. Observations were conducted 10 times at the site. Using the results of 4 times which were conducted under flooding, the total load was quantified by classifying sediment into bed load and suspended load plus washload. Using the obtained discharge amount, various comparisons were made, such as comparison by sediment

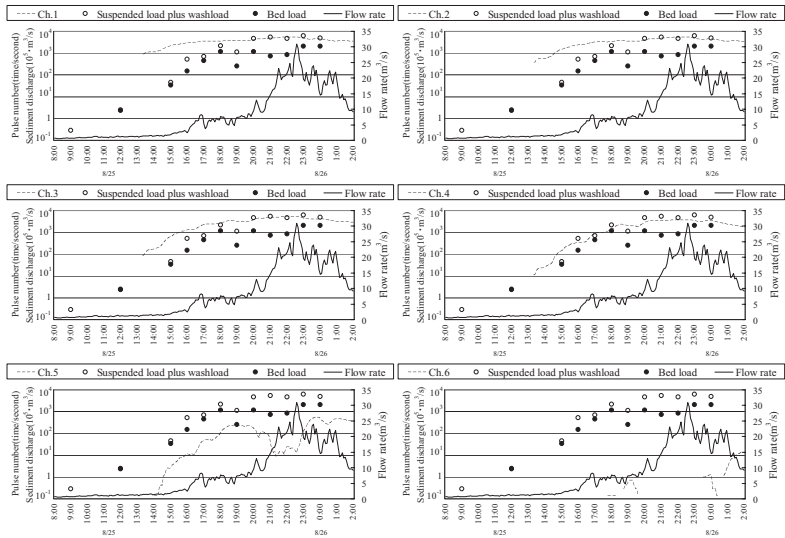


Abb.13: Die Bodensatzzlösung und der Puls numerieren dadurch “japanischer Leitung hydrophone”
Fig.13: The sediment discharge and pulse number by “Japanese pipe hydrophone”

movement type, comparison of suspended load with that of other rivers, comparison with the results estimated by sediment discharge formula. From the current research, the following conclusions were obtained:

- The ratio of suspended load plus washload to the total load was mostly 80% or more and sometimes very close to 100%. This suggests that, in the case of floods expected to occur in normal years, suspended load plus washload account for a far greater ratio, sometimes 80% or more, than that of bed load in the total load flowing down a mountain river.
- In the flow rate range of $10^{-1} - 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ obtained from the current observation, the amount of suspended load was larger than that of other rivers by one order.
- According to the comparison of bed load obtained from actual measurement and by two formulas, the amount derived by the A.T.M formula exceeded the actual amount by 3-5 orders in most cases, but remained within 1 order at the time of peak flow rate. The amount derived by the M.P.M formula tended to be smaller than the actual amount with a difference of 1-2 orders.
- The effectiveness of the “Japanese pipe hydrophone” was confirmed as a means of grasping bed load.

REFERENCES

- Ashida, K., and Takahashi, T. and Mizuyama, T. (1978): Study on Bed Load Formula for Mountain Streams, “SHIN-SABO”, Journal of the Japan Society of Erosion Control Engineering (JSECE), vol.30 No.4, p9-17
- Ashida, K., Yoshikawa, H. (1985): Hydraulics of Sediment Discharge, Maruzen Co., p. 142.
- Ashida, K., Sawada T. (1992): Runoff process, sediment yield and transport in a mountain watershed. (21), Annuals of Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ., No.35 B-2, p29-39

- Biwako Work Office, MOC (1982): Research on Sediment Transport along Sabo-related Rivers.
- Egiazaroff.I.V(1965) : Calculation of nonuniform sediment sediment concentration, Prof. ASCE, Journal of the Hydraulics Division, HY4, p225-246
- Imaizumi, F., Tsuchiya, S., Osaka, O. (2003): Initiation Condition and Flow Behavior of Debris Flow on the Mountainous River, Journal of the JSECE., Vol. 156, No. 2, p. 14-22.
- Iwagaki, Y.(1956): Research of Critical Tractive Force by Fluid Mechanics Approach, Journal of the Japan Society of Civil Engineers, Vol. 41, p. 1-21.
- Jinzu Sabo Work Office, MOC (1982): Research and Survey Report on Sediment Transport along Sabo-related Rivers.
- Kakimoto, T., Ikeya, H., Yasuda, Y. (2003): Monitoring of Sediment Movement in the Sediment River System – Development of Total Load Trapping Equipment, Proc. of JSECE. Conference, 2003, p. 90-91.
- Kawabegawa Work Office, Ministry of Construction (MOC) (1982): Survey Report on Sediment Transport along the Ozuru river.
- Kondo, R., Ozaki, J., Nakamura, Y., Yasuda, Y., Tsuchiya, S., Sakai, M., Nagashima, Y., Kato, Y. (2004): Measurement of Sediment Discharge in the Abe river Using Total Load Trapping Equipment, Proc. of JSECE. Conference, 2004, p. 298-299.
- Kondo, R., Nakamura, Y., Yasuda, Y., Nishikawa, T., Takahashi, M., Kato, Y. (2005): Fluctuation of Total Sediment Discharge during Flood in a Mountainous River, Proc. of JSECE. Conference, in 2005, p. 314-315.
- Matsuki, K., Nishikawa, T., Takahashi, M., Kato, Y., Ikeda, A., Hashinoki, T. (2005): Measurement of Suspended Load in Abe river, Proc. of JSECE. Conference, 2005, p. 318-319.
- Meyer—Perter, E. And Muller, R. (1948) : Formula for bed-load transport, Proc. 2nd IAHR Meeting, Stockholm p39-64
- Mizuno, H., Osanai, N., Fukushima, A., Haramaki, T., Nishikawa T., Takahashi, M., Kato, Y., Murakami, M. (2005): Sediment Movement along the Abe river Sediment Transport System, Proc. of JSECE. Conference, 2005, p. 284-285.
- Nakano, K., Sasahara, K, (2001): Observation of Sediment Transport – Why Its Measurement is Necessary Now?, Journal of JSECE., Vol. 154, No. 1, p. 90-97.
- Oda, A., Hasegawa, Y., Mizuyama, T., Nonaka, M., Miyamoto, K.(2004): Measurement of Sediment Discharge by “Japanese Pipe Hydrophone” at Hydraulic Model Experiment, Proc. of JSECE Conference in 2004, p. 82-83.
- River Council, Subcommittee for Comprehensive Sediment Control (1998): Towards the Comprehensive Sediment Control in the Sediment Transport System.
- Rubey, W.W(1933): Settling velocity of gravel, sand and particles, Amer. Jour. Sci, Vol25, p325-338
- Shizuoka River Work Office, MOC (1988): History of Sediment Control along the Abe river, p. 5-16, p. 304-380.
- Tenryugawa-Joryu Work Office, MOC (1982): Research Report on Sediment Transport along Sabo-related Rivers.
- Terada, H., Mizuno, H., Fukushima, A., Miyao, Y., Ino, M., Hashinoki, T., Murakami, M. (2002): Comparison of Suspended Load Obtained by Measurement and Existing Formula, Proc. of JSECE. Conference, 2002, P. 368-369.
- Yoshida, S., Yamamoto, K., Watanabe, M., Mizuyama, T., Uehara, S. (1983): Survey of Sediment Movement in Mountainous Rivers (Designated Research Topic, Technology Research Committee, MOC), Proc. of JSECE. conferefmc, 1982, p. 32-33.

DAS EF30FORWARD KONZEPT EIN HINWEISINSTRUMENT ZUR ERMITTLUNG DER ZUVERLÄSSIGKEIT UND FUNKTIONSEFFIZIENZ VON WASSERSCHUTZBAUTEN

Bruno Mazzorana¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die Zuverlässigkeit der Bauwerke in alpinen Wildbacheinzugsgebieten ist die große Unbekannte, sei es im Rahmen der Gefahrenzonenplanung, als auch beim Entwurf von Maintenance – Konzepten. Im Falle der Gefahrenzonenplanung ist die Zuverlässigkeit der Bauwerke relevant, sei es was die Ermittlung der mobilisierenden Feststoffvolumina betrifft, als auch was die reelle Rückhaltekapazität oder „Geschiebesortiereffizienz“ betrifft. Unsicherheiten oder Unwissenheiten über den Zustand der einzelnen Bauwerke und speziell der Schlüsselbauwerke, wirken sich dramatisch auf die Wiederherstellungskosten, der im Zuge der Extremereignisse zerstörten Bauwerke, sowie auf das Ausmaß der Schäden außerhalb des Gerinnes aus. Alpenweit sind Bautenkatastererhebungen im Gange oder abgeschlossen, es werden aber vermehrt Informationslücken, was die Ansprache des Zustandes der Bauwerke betrifft, deutlich und die oben angeführten Zusammenhänge sind weder qualitativ noch quantitativ ausreichend erforscht. Diese Arbeit stellt die EF30forward Methode vor, die den Konnex zwischen der Relevanz der zu schützenden Objekte und dem betrachteten Schutzbauwerk, den Zusammenhang zwischen der Ausfallprädisposition und der funktionellen Effizienz des Bauwerkes, sowie die Indikation besonderer Belastungseinwirkungen auf das Bauwerk, erfasst. Dies gestattet eine Priorisierung der Baumassnahmen innerhalb eines verständlichen und nachvollziehbaren Instandhaltungskonzeptes.

Keywords: Zuverlässigkeit, Effizienz, Schlüsselbauwerke, Instandhaltung, Naturgefahren

ABSTRACT

Reliability of protection measures in alpine torrent basins is an important uncertainty source, either in the process of hazard zoning or in the development of maintenance concepts. In the case of hazard zoning, reliability of protection structures directly influences the sediment yield and the sediment retention capacity or solid discharge modulation capacity of the protection system. Excessive uncertainties, especially concerning key structures in the protection system, influence strategically the success of maintenance concepts and affect reparation costs significantly. All over the Alps there are ongoing efforts in evaluating the condition of the single protection structures, but the above mentioned issues are not sufficiently investigated, either from a qualitative or from a quantitative point of view. This work presents the EF30forward method, that investigates, analysing the interdependence

¹ Forest officer, Department of Hydraulic Engineering of the Autonomous Province of Bolzano, Cesare Battisti Str. 23, 39100 Bolzano, Italy (Tel.: +39-471-414567; Fax: +39-471-414599; email: bruno.mazzorana@provinz.bz.it); PHD Student at the University of Life Sciences of Vienna

between the relevancy of the objects to be protected and the considered protection structure, the relationship between the failure predisposition and the functional efficiency and detects effects of excessive loading situations for the considered protection measure. On this basis a prioritization is made possible and the maintenance concept becomes comprehensible and traceable.

Keywords: reliability, efficiency, key protection structures, maintenance, natural hazards

EINLEITUNG

Die Autonome Provinz Bozen - Südtirol ist eine Alpenprovinz in der die Errichtung aktiver Schutzmassnahmen im Wildbachverbauungssektor während des letzten Jahrhunderts entschieden vorangetrieben wurde. Dies trug wesentlich zur ökonomischen Entwicklung des Landes bei. Der Siedlungsdruck stieg, der Bau von Infrastrukturen ebenfalls. Die Intensivierung der Landwirtschaft folgte diesem Trend. Die Anforderungen an eine effiziente Schutzwirkung vor Naturgefahren sind hoch, bei gleichzeitiger Verschärfung der Budgetrestriktionen.

Dies impliziert, dass dem Entscheidungsprozess über dem Modus der Sicherstellung des Schutzgrades höchste Priorität beigemessen wird. Das EF30forward – Konzept versucht, ausgehend von einer qualitativen Analyse der Zusammenhänge zwischen Schutzgrad, Bauwerkszustand, Funktionseffizienz und Instandhaltungsaufwand, auf der Basis der vorliegenden, oder mit absehbaren finanziellen Aufwand bzw. Personalressourcen bereitzustellenden, Datengrundlagen, dem Entscheidungsträger ein Werkzeug zur Verfügung zu stellen, um nachvollziehbar und objektiv Schwachstellen im Schutzsystem zu identifizieren und in einem zweiten Schritt deren Behebung in der Maßnahmenplanung voranzutreiben.

QUALITATIVE ANALYSE

Alpenweit sind Bautenkatastererhebungen im Gange oder abgeschlossen, es werden aber vermehrt Informationslücken, was die Ansprache des Zustandes der Bauwerke betrifft, deutlich und die oben angeführten Zusammenhänge sind weder qualitativ noch quantitativ ausreichend erforscht. Das verwendete Erklärungsparadigma ist jenes der Katastrophentheorie, welches qualitativ Diskontinuitäten in den Auswirkungen, die von kontinuierlichen Variationen der Einflussparameter hervorgerufen werden, zu interpretieren vermag. Mögliche Zustandsvariablen in unseren Modellen sind die Zuverlässigkeit des Bauwerksystems, das Schadensniveau am Schutzsystem, das Kostenniveau von Wiederinstandsetzung und Neubau sowie der Effizienzgrad des Verbauungssystems hinsichtlich einer nachhaltigen Gefahrenreduktion (Romang et al., 2000). Die möglichen Einflussparameter oder Kontrollfaktoren sind das Niveau der Ereignisintensität (die Belastung des Systems), sowie die Häufigkeit der präventiven Instandhaltungsmaßnahmen (oder der Verzug in der Verwirklichung dieser Maßnahmen). Das Kuspenskatastrophenmodell lässt sich durch eine Gleichung vom Typ

$$F(x,u,v) = x^4 + ux^2 + vx \quad [1]$$

darstellen, wobei x die Zustandsvariable ist, die sich in Abhängigkeit von den beiden Parametern u und v ändert, wobei „ v “ hierbei der Normalfaktor ist, d.h. die Zustandsvariable x ist von diesem Faktor kontinuierlich (monoton steigend oder fallend) abhängig. Mit einer gewissen Approximation ist die Systembelastung in unserem einfachen Modell der

Normalfaktor. „u“ ist der so genannte spaltende Faktor (z.B. Verzug in den Instandhaltungsmaßnahmen)

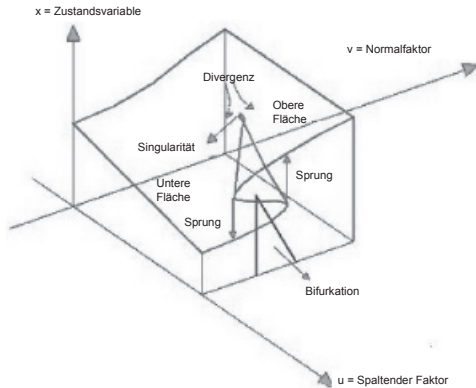


Abb. 1: Schema der Kuspenskatastrophe
Fig.1: The cusp catastrophe

Untersuchung des Zusammenhanges:

x = Zuverlässigkeit des Systems; a = Belastungsintensität; u = Verzug der Instandhaltungsarbeiten → siehe Abb.2.

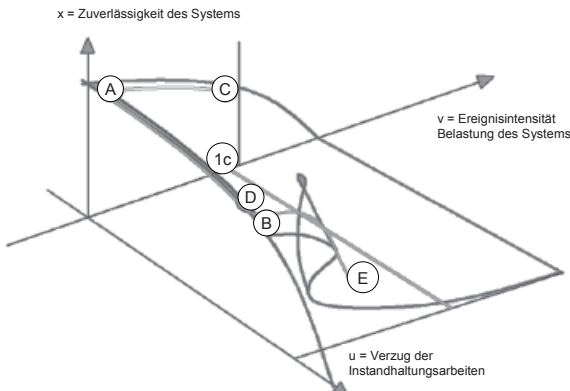


Abb. 2: Untersuchung des Zusammenhanges:
 x = Zuverlässigkeit des Systems; a = Belastungsintensität; u = Verzug der Instandhaltungsarbeiten
Fig.2: Analysis of the relation

x = reliability of the protection system; a = intensity of system loading; u = delay in system maintenance

- a) Lassen sich keine Extremereignisse (während der Nutzungsdauer des Bauwerkes) verzeichnen, so fällt die Zuverlässigkeit des Systems kontinuierlich aber relativ langsam (siehe Pfad 1 von A nach B).

- b) Tritt ein Extremereignis gerade nach vollendetem Neubau ein, so sinkt die Zuverlässigkeit des Systems nach dem Ereignis in Relation zur Ereignisintensität, (siehe Pfad 2 von A nach C). Das Extremereignis hat Intensität I_c .
- c) Wartet man sehr lange mit den Instandhaltungsarbeiten (siehe Pfad von A nach D) und tritt erst dann ein Extremereignis mit Intensität I_c auf, so gelangt man von Punkt D nach Punkt E. In diesem Fall müssen wir mit einem hohen Zuverlässigkeitsverlust rechnen.

EFFIZIENZ EINES VERBAUUNGSSYSTEMS

Ein Verbauungssystem ist als effizient zu betrachten, nicht nur wenn es zuverlässig ist, sondern auch, wenn es in der Lage ist, die Gefahr für den Schadenswirkungsbereich dauerhaft zu minimieren. Die dauerhafte Minimierung impliziert eine Funktionsweise, die zur Reduzierung des verbleibenden Gefahrenpotentials beiträgt. In dieser Arbeitsdefinition verbergen sich folgende Ansprüche an ein Verbauungssystem:

- a) dauerhafter Schutz → Zuverlässigkeit der Bauwerke (vor allem der Schlüsselbauwerke) → geringe Unsicherheiten in der Zuverlässigkeitsbestimmung
- b) Effiziente Funktionsweise hinsichtlich der Abflussdynamik und des Feststofftransportes
- c) Kostengünstigkeit
- d) Maintainability

Punkt b bedarf einiger präzisierender Erläuterungen: Die Hochwasserwellen sollen gekappt werden. Der Feststofftransport soll nicht unterbunden werden, sondern soll für HQ Ereignisse niedriger Jährlichkeiten (geringere Gefährdungen) der theoretischen Transportkapazität entsprechen. Hiermit erreicht man, aufgrund der Häufigkeit dieser Ereignisse, eine Abnahme des verbleibenden Feststoffpotentials im Einzugsgebiet. Ein weiteres zu berücksichtigendes Ziel ist die zeitliche Separation der Reinwasserabflussspitzen und der Feststofftransportmaxima während der Extremereignisse mit entsprechenden „Geschiebesortieranlagen“ (Armanini, 2001; Üblagger 1972; Zollinger 1984). Auch der Schwemmholztransport soll an geeigneten Stellen unterbunden werden, um schädliche Interferenzen im Bereich hydraulischer Schlüsselstellen (bzw. Schwachstellen) zu vermeiden. Angesichts dieser Forderungen scheinen die klassischen Intensivkonsolidierungen der Bachläufe einerseits, und Einzelbauwerke mit reiner Geschieberückhaltefunktion andererseits, nicht ausreichend effizient zu funktionieren. Die Folgekosten für die häufigen Räumungen hinter den Geschieberückhaltesperren und für die Schadensbehebung an den Konsolidierungsbauwerken sind nicht zu unterschätzen, auch für Ereignisintensitäten die weit unter jenen der jeweiligen „Bemessungsereignisse“ liegen. Eine Konsequenz der nicht niederen Ausfallraten vor allem bei Konsolidierungssperren älterer Generation ist die Mobilisierung zusätzlicher Feststoffvolumina mit denen nicht gerechnet wurde, da die volle Funktionsfähigkeit des Verbauungssystems vorausgesetzt wurde. Angesichts dieser Faktoren, wird es in nicht wenigen Fällen nötig sein, an eine Überführung eines ineffizienten Verbauungssystems in ein effizienteres zu denken. Es geht also nicht darum alle Bauwerke, welche eine geringe Zuverlässigkeit aufweisen, systematisch instand zu halten oder durch neue „funktionsgleiche“ Bauwerke zu ersetzen, sondern, ausgehend von einer Funktionsdefizitanalyse des gesamten Verbauungssystems, jene Maßnahmen zu tätigen die den angestrebten (multidimensionalen) Effizienzzuwachs ermöglichen. Diese Überführungsstrategien sind von Fall zu Fall unterschiedlich und hängen zum Teil von einer Vielzahl von beschränkenden Faktoren (Raumnutzung) ab. Es erscheint jedoch angemessen, an der Behebung der beschränkenden Faktoren zu arbeiten.

Die Funktionsdefizitanalyse (und als Folge die Defizitbehebungsanalyse) sollte in die Prozedur für den Grundsatzentscheid fix eingebaut werden, und dem konkreten Vorschlag von zu tätigen Verbauungsmaßnahmen vorausgehen.

DAS EF30FORWARD - KONZEPT

Die Betrachtung folgender Aspekte ist relevant:

1. das flächendeckende Gefahrenhinweisprinzip
2. die strukturelle, funktionelle Effizienz der Einzelschutzbauwerke und der Verbauungssysteme
3. der Hinweis auf die erwartete Schadenswirkung

Diesen Aspekten wird im EF30forward – Konzept voll Rechnung getragen indem folgende Indikatoren entwickelt wurden:

1. ERI: Externer Relevanz Indikator: Stellt den Konnex her, zwischen der Relevanz der zu schützenden Objekte im Einzugsgebiet und dem betrachteten Schutzbauwerk.
2. ZFI: Zustand – Funktion Indikator: Gibt Aufschluss über den Zustand (Ausfallprädisposition) und der funktionellen Effizienz des Bauwerkes hinsichtlich der Gefahrenreduktion.
3. BWI: Belastung – Wirkung Indikator: Identifiziert besondere Belastungssituationen im Einzugsgebiet, die zum „selektiven“ Ausfall der Schutzbauwerke führen können und gibt Auskunft über den unmittelbaren Schadenswirkungsbereich. Dies können z.B. eine Effizienzreduzierung des restlichen Verbauungssystems und/oder eine Zunahme der Gefahrenmomente für Objekte außerhalb des Gerinnes sein.

Diese drei Indikatoren werden zum Baumaßnahmenprioritätsindikator BPI zusammengefasst, der somit eine Priorisierung des Handlungsbedarfes ermöglicht. Folgende Abbildung zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Systems.

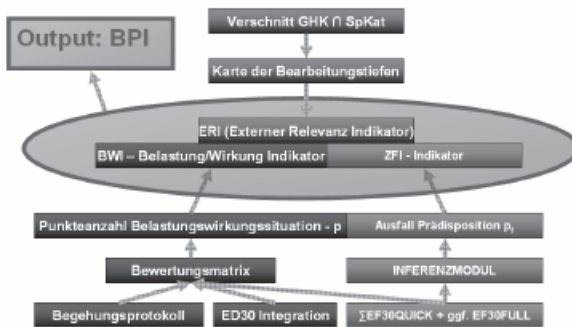


Abb. 3: Flussdiagramm und grundsätzlicher Aufbau des Systems
Fig. 3: Flowchart and general System structure

Diese drei Indikatoren ermöglichen weiters eine nachvollziehbare Identifikation der Schlüsselbauwerke. Es sind dies Bauwerke, die wesentlich zur Systemzuverlässigkeit beitragen (Faber, 2003). Im Falle eines Ausfalls, während eines Extremereignisses, sind die Schadenspotentialobjekte, entweder direkt der Gefahr ausgesetzt, oder es ändert sich die Intensität des Ereignisses (z.B. Freiwerden größerer Geschiebemengen), oder es steigt die Ausfalls - Prädisposition weiterer Schutzkomponenten.

INSTRUMENTE UND DATENGRUNDLAGEN

Die Abteilung Wasserschutzbauten verfügt, was die Kenntnis der Naturgefahrenphänomene betrifft, über wichtige Datengrundlagen die während der letzten EU-Projekte (IHR-Plattform, DISALP, Flussraumagenda), der „fortlaufenden und historischen Ereignisdokumentation“ (Projekt ED30), der Bestandserfassung der eigenen Bauwerke – Bautenkataster (BAUKAT30), erhoben worden sind. Diese Datengrundlagen besitzen die Homogenitätsvoraussetzungen, um gezielt für weitere Vorhaben verwendet zu werden. (z.B. GZP – Gefahrenzonenplanung). Einige dieser Datengrundlagen haben den Vorzug des flächendeckenden Vorhandenseins und decken in ihrem Informationsgehalt die Gefahrenhinweisebene (GHK) ab, andere sind fast flächendeckend erhoben und liefern Rohinformation über den Zustand der Wasserschutzbauten (BAUKAT30), andere wiederum, verdichtet durch die Recherche historischer Ereignisse, decken bereits einen wichtigen Teil der rückwärts gerichteten Indikation ab (ED30 und ED30 History). Eine letzte Gruppe von Datengrundlagen, sprich eine Detailerhebung über den Bauwerkzustand (EF30 für Querwerke, EF30 für Längswerke), steht lokal zur Verfügung. Folgende Abbildung verschafft zu diesem Thema einen Überblick:

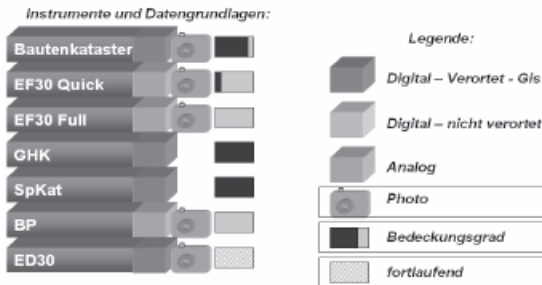


Abb. 4: Datengrundlagen

Fig. 4: available data

ENTWICKLUNG DER INDIKATOREN – VERNETZUNG DER INFORMATION

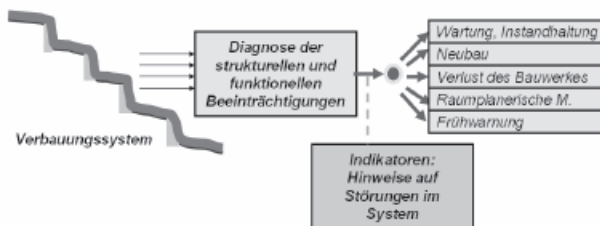


Abb. 5: Rolle der Indikatoren

Fig. 5: role of the indicators

Es folgt die Beschreibung der einzelnen Indikatoren, die konzipiert wurden:

1. Zustand – Funktion Indikator ZFI: Dieser Indikator verbindet, wie der Name verdeutlicht, Informationen über den Zustand des Bauwerkes und dessen ausgeübte Funktion (z.B. Konsolidierung, Geschieberückhalt, Geschiebesortierung). Die Datengrundlagen, welche diese Informationen bereitstellen sind: a)BAUKAT30, b)EF30Quick, c)EF30Full. Der Zustand des Bauwerkes wird, aufgrund der Eingangsdaten, aus den genannten Formularen durch ein Inferenzmodul (neuronaales Netz) interpretiert. Dieses Modul liefert die Ausfall - Prädisposition des Bauwerkes. Das Prinzip, das hinter diesem Indikator steht, ist jenes der „hypothetischen relativen Bereitschaft“ ein Bauwerk zu opfern, z.B.: Sind eine Konsolidierungssperre und eine Geschiebesortiersperre in einem ähnlich schlechten Zustand, so ist aufgrund der Funktion einer Geschiebesortiersperre (Herabsetzung der Spitzenintensitäten der Extremereignisse) die Aufrechterhaltung der Funktionalität dieser Sperre gegenüber jener der Konsolidierungssperre vorzuziehen, dies um so mehr, falls Budgetrestriktionen den Handlungsspielraum einschränken.
2. Externer Relevanz Indikator ERI: Dieser Indikator soll die Relevanz – Wichtigkeit des betrachteten Bauwerks für die Objekte im Schadenswirkungsbereich aufzeigen. Zur Bestimmung dieses Indikators sind die flächendeckenden Datengrundlagen von zentraler Bedeutung, d.h. die Gefahrenhinweiskarte GHK, die Karte der Schadenspotentialkategorien SpKat und somit letztendlich die Karte der Bearbeitungstiefe. Natürlich sind nur jene Teile des Einzugsgebietes relevant, zu deren Schutz dieses Bauwerk beiträgt.
3. Belastung – Wirkung Indikator BWI: Dieser Indikator spiegelt einerseits die variable Disposition im untersuchten Sperrbereich wider und gibt andererseits Aufschluss über die möglichen Wirkungsmechanismen im Nahbereich des betrachteten Bauwerkes. Typische variable Belastungssituationen sind z.B. akkumuliertes Schadholz im Bachbett und somit das Vorhandensein eines partiellierten Durchfußprofils oder gar einer Verklausung. Brechen nun diese temporären Barrieren, steigt die Belastung auf die Schutzbauwerke lokal stark an.
4. Synopsis zu den Indikatoren: ZFI, ERI, BWI: Diese Indikatoren sollen, auf nachvollziehbare Art und Weise, ausgehend von der Exploration des Zustandsraumes und des Spektrums der Funktionalität der Bauwerke, unter Rücksichtnahme der Gefahrenhinweise einerseits und der Relevanz der Schadenswirkung andererseits, eine begründete Bewertung des Bauwerkes ermöglichen.
5. Bündelung der Information- der Indikator BPI: In dieser Arbeit wird ein Indikator vorgeschlagen, der BPI (Baumaßnahmenprioritätsindikator), der auf der Basis der vorgestellten Indikatoren einen Dringlichkeitssensor für die künftige Maßnahmenplanung darstellen soll. Der Entscheidungsträger/Planer hat somit die Möglichkeit, im Kontext eines integralen Risikomanagements, die Entscheidungsfindung zu erleichtern.
 Man erhält den Gesamtindikator BPI, indem man den Wert des ZFI Indikators auf die x – Achse, den Wert des ERI Indikators auf die y – Achse und den Wert des BWI Indikators auf die z – Achse aufträgt. Im Raum wird somit eindeutig ein Punkt identifiziert (siehe folgende Abbildung). Die Distanz vom Koordinatensprung ist ein Maß für den Gesamtindikator BPI. Somit sind Bauwerke mit ungünstigeren Werten der drei Indikatoren im Raum am weitesten vom Koordinatensprung entfernt. Dieser Indikator ermöglicht zumindest auf anschauliche Art und Weise:

- a. eine Aussage über die Effizienz des gesamten Verbauungssystems im Einzugsgebiet. Dies wäre nämlich durch die Disposition der Punkte im Raum zu erklären;
- b. einen Vergleich zwischen den Verbauungssystemen verschiedener Einzugsgebiete;
- c. eine strategische Suche nach möglichen Verbauungsmaßnahmen;
- d. grundsätzlich das Monitoring der Bauwerkszustandssituation (Verschiebung der Punkte im Raum)

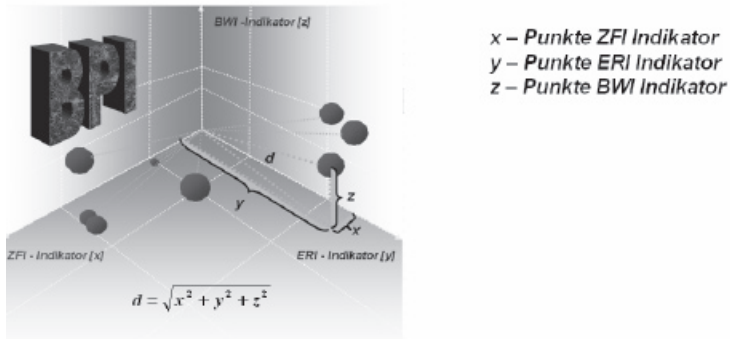


Abb. 6: Räumliche Darstellung des BPI - Indikators
Fig. 6: 3-dimensional representation of the BPI - indicator

ABSCHLIEßENDE BETRACHTUNGEN:

Die Parameter, welche das Modell verwendet, müssen klarerweise justiert werden. Es ist vorgesehen, eine gewisse Anzahl von sog. Modellsperren als „Lernreferenz“ des System von einem Expertenteam bewerten zu lassen.

In der vorliegenden Arbeit wurde somit ein „lernfähiges“ Instrument entworfen (Adamy, 2005), welches Signale aus den komplexen Sachverhalten der Natur verarbeiten kann und dem Entscheidungsträger zugänglich macht. Durch den Einsatz dieses Instrumentes dürfte der erzielte Schutzgrad, unter den gegebenen Voraussetzungen, der maximal Mögliche sein, da die Instandhaltungsstrategie an Qualität gewinnt. Die Verwendung dieses Instrumentes gliedert sich passend in die neue Grundsatzentscheidprozedur für die prioritätsbasierte, mehrjährige Programmierung der Baumassnahmen ein, die derzeit in der Abteilung Wasserschutzbauten eingeführt wird. Folgende Abbildung zeigt den strukturierten Phasenablauf.

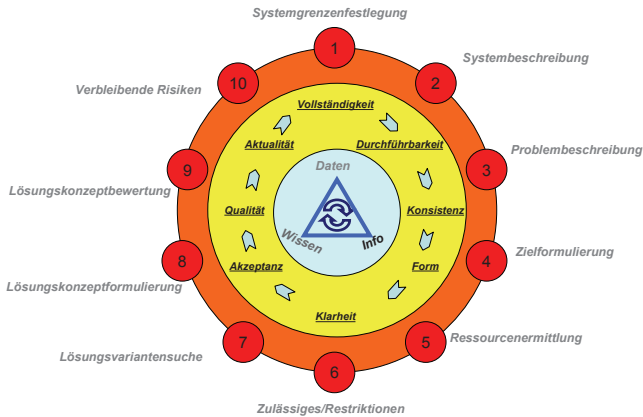


Abb. 7: Ablaufphasen der Systemanalyse für den Entscheidungsfindungsprozess
Fig. 7: Sequence of operation chart of system analysis for the decision making process

Der Wissenserwerb der mit der Zustandserhebung, Ansprache der Funktionstauglichkeit und Einschätzung der Risikoreduktionswirksamkeit einhergeht, wird sowohl für den System- und Problembeschreibungsteil, als auch Ziel- und Lösungsformulierungsphasen, genutzt. Die EF30forward Methode erleichtert den Erfahrungsaustausch zum Thema, ist der Scharfstellung der Zielsetzungen dienlich und fördert nachhaltige Betrachtungsweisen bei der Konzeption, Planung, Umsetzung und Instandhaltung der Schutzbauwerke, vor allem der Schlüsselbauwerke.

Abschließend sei dem Projektteam EF30forward sowie dem Abteilungsleiter Dr. Pollinger Rudolf für die Unterstützung gedankt.

LITERATUR:

Adamy, J. (2005). Fuzzy Logik, Neuronale Netze und Evolutionäre Algorithmen. Aachen: SHAKER.

Armanini, A., and Benedetti, G. (1996). “Sulla larghezza di apertura delle briglie a fessura.” Proc., XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Vol. III, 13–24.

Armanini, A. and Larcher, M. “Rational Criterion for Designing Opening of Slit-Check Dam.” ASCE Journal of Hydraulic Engineering (February 2001) Vol. 127, Nr.2.

Basile, P. A., and Di Silvio, G. (1994). “Interception and release of sediments by permeable check dams.” Int. Workshop on Floods and Inundation related to Large Earth Movements, University of Trento, Italy, 17.

Benedetti, G. (1995). “Analisi teorica e sperimentale del funzionamento delle briglie aperte.” Tesi di Laurea in Ingegneria Forestale, Università degli Studi di Trento, Italy (in Italian).

Faber, M.H. (2003). “Risiko und Sicherheit im Bauwesen”, Vorlesung Wintersemester 2003/2004, Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH Zürich

- Romang, H., Kienholz, H. & Böll, A. 2000. Wirksamkeit und Kosten von Wildbachschutzmaßnahmen. Internationales Symposium Interpraevent 2000. Villach/Austria, Volume 3: 271-282. (in German)
- Üblagger G. (1972): “Retendieren, Dosieren und Sortieren.“ („Retaining, dosing and sizing“), Mitteilungen der forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Vol. 102; 335 - 372.
- Zollinger, F. (1984). “Die verschiedenen Funktionen von Geschiebertückhaltebauwerken.” Interpraevent, 1, 147–160.

MONITORING SEDIMENT TRANSPORT IN MOUNTAIN TORRENTS

Takahisa Mizuyama¹, Yoshifumi Satofuka¹, Jonathan Laronne²,
Michinobu Nonaka³, and Miwa Matsuoka¹

ABSTRACT

In mountain torrents, the sediment transport rate is controlled by the sediment supply, rather than the sediment transport capacity of the flow. Thus, to control torrents, sediment monitoring is necessary. Suspended load and washload can be observed using turbidometry and/or direct sampling. However, bedload observation is difficult in mountain torrents that have supercritical flow and transport large-sized gravels. Ordinary bedload samplers cannot be used in such circumstances. We have developed a passive acoustic bedload monitoring device called a hydrophone. A steel pipe is installed on the torrent bed, and a microphone in the pipe allows the enumeration of the number of transported gravels that hit the pipe. For over 10 years, we have used this system in a number of mountain torrents to understand when and how much bedload is transported during storms. A Birkbeck-type pit bedload sampler is used to calibrate the hydrophone. To count pulses can indicate the condition of incipient motion and measure the sediment transport at low rates of transport. However, the enumeration of pulses becomes impossible when sediment transport is high. In such a situation, acoustic energy can be measured. Here, we describe these devices, focusing on the characteristics of the hydrophone and some examples of observations of mountain torrents.

Keywords: Bedload, Hydrophone, Monitoring.

INTRODUCTION

In mountain streams, the actual sediment outflow rate depends not only on the sediment transport capacity, but also on the movable sediment volume. The amount of sediment on torrent beds and banks is generally limited, torrent beds often covered by armour coats. During low-discharge periods, the actual sediment transport rate is lower than the sediment transport capacity estimated using sediment transport equations involving sediment grain size, torrent gradient and flow discharge or depth. When the flow discharge rate exceeds a certain critical condition for incipient motion or rainfall exceeds a threshold for the occurrence of landslides or debris flows, sediment is produced and supplied to the torrent. The sediment transport rate increases sharply and approaches the sediment transport capacity. Observation

¹ Laboratory of Erosion Control, Graduate School of Agriculture, Kyoto University
Oiwake-cho, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto 606-8502 JAPAN
(Phone; +81-75-753-6087, Fax; +91-75-753-6088, E-mail; mizuyama@kais.kyoto-u.ac.jp)
(satofuka@kais.kyoto-u.ac.jp), (miwa1010y@hotmail.co.jp)

Laboratory of Erosion Control, Graduate School of Agriculture, Kyoto University

² Ben Gurion University of the Negev, Israel (john@bgumail.bgu.ac.il)

³ Hydro Tech Co Ltd, Japan (rishin@hydro.co.jp)

of the actual sediment transport is necessary to determine the reasonable *sabo* (erosion and sediment control) plans and to operate the sediment-control gates of *sabo* dams. Whereas the suspended load is relatively easy to measure using samplers or suction tubes, the measurement of bedload is difficult. Some bedload samplers have been used mainly in subcritical flow. However, it is difficult to place samplers on torrent beds, because they often have rough surfaces with large rocks, as well as high flow velocity. Hydrophones that count the impacts or the sound of sand and gravels against plates or pipes are appropriate for mountain torrents, these devices do not measure the absolute sediment transport rate, but rather the relative sediment transport rate (intensity). We developed a hydrophone comprising a pipe and microphone and have installed this system in isolated mountain torrents and on the crests of *sabo* dams. The method to count the number of collision to steel pipes is appropriate for low sediment transport. It, however, becomes impossible to count the pulses when sediment transport is high. Acoustic energy is measured for that situation. Here, we describe the hydrophone system and collected data.

SEDIMENT TRANSPORT MONITORING SYSTEM

Verious hydrophone systems have been devised such as a system composed of a steel plate and seismometer that was used in Switzerland (Rickenmann, 1994). Our hydrophone system consists of a hydrophone sensor made up of a steel pipe with a microphone inside. A pressure-type water-level gauge, a data logger, a battery charged by solar power, and a cellular phone are used to obtain and transmit the data (Fig. 1) (Mizuyama et al., 1996, 1998 and 2003). Hydrophone signals are logged after 10-times amplification by a preamplifier. The data are recorded after amplifying 1016 times at Channel 5, 256 times at Channel 6, 64 times at Channel 7, 16 times at Channel 8; 4 times at Channel 9; and 2 times at Channel 10; respectively. The number of pulses is counted during each 5-min period.

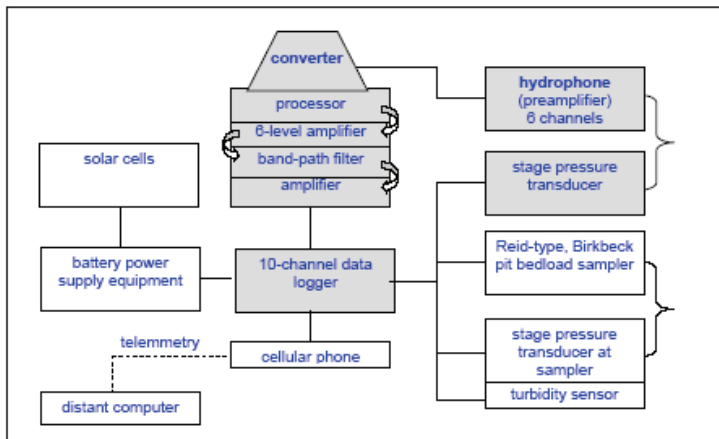


Fig. 1: Block diagram of the hydrophone system.

SET-UP OF THE HYDROPHONE

A hydrophone pipe, 48.6 mm in diameter and 1 m long made of SUS304 steel, was installed in June 2004 at the downstream end of a 15 m long concrete channel of Ashiarai-dani (drainage area 6.5 km²), a tributary of the Gamata River in the Jindu River system (Fig.2). The channel was constructed for water-flow measurement and sediment observation by the Disaster Prevention Research Institute of Kyoto University in 1972 and has a gradient of 1/20. Cumulative pulse data are logged every 5 min, and water level and the weight of the trapped sediment in the pit are recorded every 1 or 5 min. These data are transmitted through a cellular phone to a remote computer on demand from time to time. Since 2007, these data have been directly recorded on a computer of the Hodaka Sabo Observatory. The pit is cleaned after it fills with sediment.



Fig.2: The hydrophone and pit sediment sampler at Ashiarai-dani. The pipe hydrophone was installed 20 cm upstream of the pit.

EXAMPLE OF PULSE DATA OBTAINED USING THE HYDROPHONE

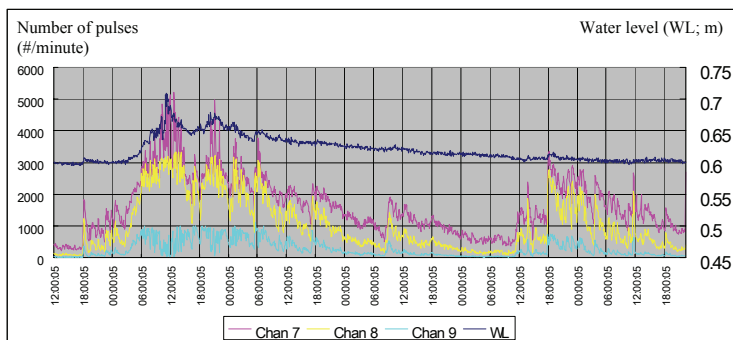


Fig. 3: Example of observed data at Ashiarai-dani starting from 12:00 on 3 July, 2005.

Figure 3 shows an example of the pulse data, through different amplifiers, detected using the hydrophone and the water level measured using a pressure gauge. The sediment discharge fluctuated and did not correspond to the flow discharge. Interestingly the sediment discharge increased from 12:00 on 7 July 2005, although the flow discharge decreased continuously. New sediment may have been produced and discharged in an upstream area, possibly by bank erosion or a break in the armour coat.

PIT BEDLOAD SAMPLER

Hydrophones give the sediment discharge intensity qualitatively, rather than quantitatively. To convert the pulse data collected using the hydrophone to the sediment discharge rate, the direct measurement of the sediment discharge is required. One method is to install a Birkbeck-type bedload sampler (referred to here as a pit bedload sampler) on a bed downstream from the hydrophone. Another method is to measure the sediment in *sabo* (“check”) dams before and after events to estimate the total sediment discharge. In the latter case, total pulses are compared to total sediment discharge. Some bedload samplers can be used in rivers with less rapid flow. In Ashiarai-dani, a pit bedload sampler (210 cm long, 110 cm wide, and 68 cm deep) was established just downstream of the hydrophone. The sediment drops through a slit and is deposited on a steel plate situated on water-filled pressure pillows. The width of the entry slit was changed from 50 to 20 cm in October 2004 because the large sediment discharge had been filling the pit too rapidly. The pit is cleaned after becoming filled with sediment. The grain-size distributions of the trapped sediment are observed and measured by sieving before cleaning.

GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF THE TRAPPED SEDIMENT

Figure 4 shows an example of the grain-size distributions of sediment trapped in the pit. Sediment is fine-grained at the beginning of sediment discharge and becomes coarse as discharge continues.

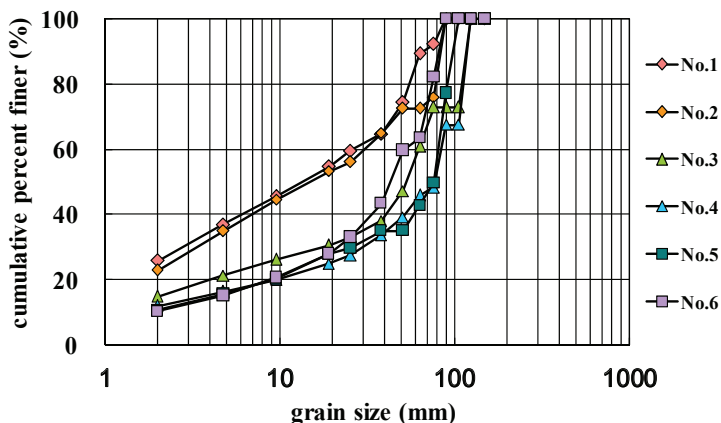


Fig.4: Grain-size distributions of sediment trapped in the pit, measured on 6 June 2006. The samples were taken at the following depths from the deposited surface: No.1, 55-60 cm; No.2, 45-55 cm; No.3, 35-45 cm; No.4, 25-35 cm; No.5, 10-25 cm; and No.6, 0-10 cm.

CALIBRATION OF PULSE DATA TO THE SEDIMENT TRANSPORT RATE

The pit data and hydrophone pulse data were compared, and the results were used to calibrate the hydrophone. Figure 5 presents a calibration chart for channel 7 (amplification rate = 64). The data were widely scattered. The extent of scattering may depend on changes in the grain size. Data for a sandy torrent showed good relationships between pulses and bedload discharge (Hoshino et al., 2004).

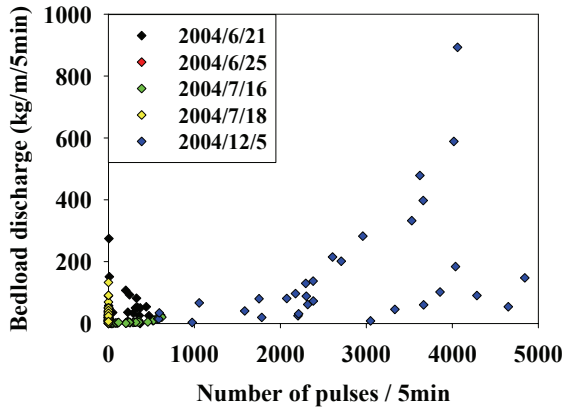


Fig.5: The relationship between the number of pulses recorded by the hydrophone and the bedload discharge measured in the pit (width of slit = 20 cm). Data measured in 2004 are shown with pulse data are for Ch. 7 (amplification rate = 64 times).

MEASUREMENT OF ACOUSTIC ENERGY OF HIGH SEDIMENT TRANSPORT

Thus far, the sediment transport rate has been measured by counting the number of collisions (or “pulses”) on the steel pipes. This method is appropriate to detect the condition of incipient motion and measure the sediment transport at low rates of transport. However, the enumeration of pulses becomes impossible for high sensitivity channels when sediment transport is high though low-sensitivity channels count pulses correctly (Fig.6), because the sound data of high-sensitivity channels stay high level. The data was obtained at the Ashiarai-dani with a hydrophone and a pit. Various ways were tested in an experiment flume to know the relationships between obtained pulses and the characteristics of hydrophone. To use low amplified outputs, to install shorter pipes and/or to apply low sensitive microphones may solve the problem. Another way for such a situation is to measure acoustic energy instead of counting pulses. This method has been tried in the Wari-dani, a upstream branch of the Ashiarai-dani and it was successful (Fig.7), although it required a larger-capacity data logger. Both or one of these methods can be used, depending on the purpose of the measurement and the sediment transport rate.

In the Wari-dani, turbidity of the flow is observed to know the occurrence of new sediment production; landslides, debris flows, bank erosion and/or aggradation (Fig.7).

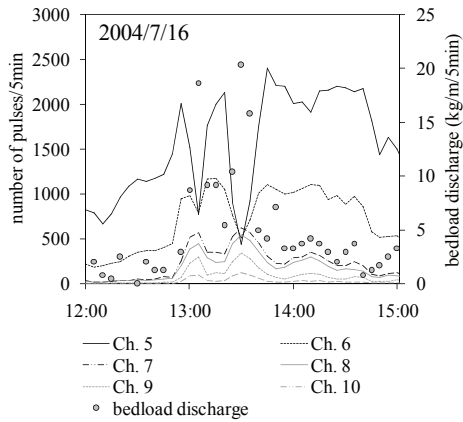


Fig. 6: Example of a decrease in the number of pulses during an increase in bedload discharge. The bedload discharge is based on data from the pit sediment sampler. The highly amplified pulse data decreased, although the actual sediment transport rate was increasing.

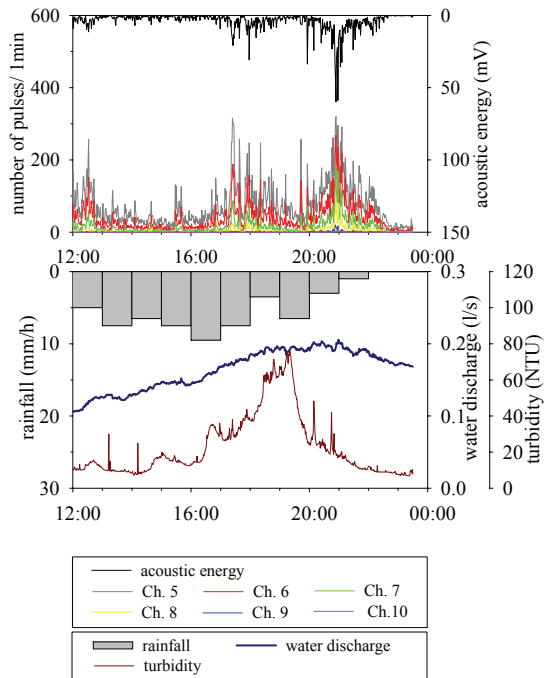


Fig. 7: Monitoring data: number of pulses, acoustic energy (top), and hourly rainfall, water discharge, and turbidity (bottom) on 22 June 2007.

CONCLUSIONS

Through trial and error, we have developed a hydrophone system that is applicable to field situations, although improvements to the calibration systems are still necessary. *Sabo* dams have been used to control erosion and sediment discharge. Because they do not have gates, their sediment control depends on the natural change of inflow sediment concentration. So far real-time information on sediment discharge has been unavailable. If actual sediment transport conditions can be determined, *sabo* dams with sediment control gates (called “shutter” *sabo* dams in Japan) can be used. The gates of such dams are usually open to allow for unobstructed water and sediment outflow and the free movement of fish, insects, and other fauna. However, when new landslides, debris flows, and bank erosion occur, raising the risk of flooding associated with sediment aggradation downstream, the gates can be closed to check sediment discharge downstream. The sediment deposited in *sabo* dams can later be excavated artificially or released through the gates.

REFERENCES

- Mizuyama, T., M. Nonaka & N. Nonaka (1996): “Observation of sediment discharge rate using a hydrophone” *J. Jap. Soc. of Erosion Control Eng.* **49**(4), 34–37. (in Japanese with English abstract)
- Mizuyama, T., Y. Tomita, M. Nonaka & M. Fujita (1998): “Observation of sediment discharge rate using a hydrophone” *J. Jap. Soc. of Erosion Control Eng.* **50**(6), 44–47. (in Japanese with English abstract)
- Mizuyama, T., M. Fujita & M. Nonaka (2003): “Measurement of bedload with the use of hydrophone in mountain torrents” *Erosion and Sediment Transport Measurement in Rivers: Technological and Methodological Advances (Proceedings of the Oslo Workshop, June 2002)*, IAHS Publ. 283, 222-227
- Hoshino, K., T. Sakai, T. Mizuyama, Y. Satofuka, K. Kosugi, S. Yamashita, Y. Sako & M. Nonaka (2004) “Sediment monitoring system and some results in the Rokko Sumiyoshi River” *J. Jap. Soc. of Erosion Control Eng.* **56**(6), 27-32. (in Japanese with English abstract)
- Rickenmann, D. (1994): “Bedload transport and discharge in the Erlenbach Stream. In: *Dynamics and Geomorphology of Mountain Rivers*” (eds. P. Ergenzinger & K.-H. Schmidt), *Lecture Notes in Earth Sciences*, Vol. 52, 53-66.

RECENT TRENDS IN JAPANESE SABO MODEL EXPERIMENT TECHNOLOGY

Akira Oda¹, Yuji Hasegawa¹, Nobuo Sugiura¹ and Takahisa Mizuyama²

ABSTRACT

The Japanese Public Works Research Institute began conducting sabo model experiments in 1968 to investigate the supercritical flow regions of steep rivers and to study mountainous areas with large quantities of sediment discharge, and have planned several sabo structures. The nonprofit Civil Engineering Research Laboratory has now taken over these sabo experiments (Oda *et al.* 2002). Its sabo models focus on four main issues: woody debris, landslide dams, slit-type sabo dams, and debris flows. The experiments mainly use physical models, usually constructed of mortar and reduced to 1/20–1/100 scale. This report summarizes the results of a recent typical sabo model experiment. We will present an outline of the physical model as well as the results of an experiment using a straight flume to prevent landslide dams from forming and application of a geographic-features model to assess problems related to landslide dams and woody debris.

Keywords: Experiment, landslide dam, physical model, woody debris.

OUTLINE OF THE PHYSICAL MODEL

This experiment used a physical model because numerical calculations cannot accurately reproduce certain phenomena, such as scouring around a structure, collapse of a natural dam due to changes in the riverbed, and the behavior of woody debris. A physical model experiment clearly presents these phenomena visually, making it a good way to inform residents about plans for preventative sabo structures for valleys at risk. This type of experiment also enables community participation from valley residents and the active exchange of opinions.

This type of experiment generally uses a 1/20–1/100 scale physical model made of mortar. For accuracy, the model requires the most recent cross section, the longitudinal profile, and the proposed plan, and also includes existing structures reduced according to the appropriate scale.

In this model, incidental structures included water supply structures in the model's upstream end, the valve to control discharge, structures for measuring flow quantity, drainage and sand traps in the model's downstream end, and a tower for photography or video recording. The movable riverbed was composed of material (mainly sand) with a grain size distribution

¹ Researcher, Civil Engineering Research Laboratory, Tohigashi 904-1, Tsukuba City, Ibaraki, Japan (Tel: +81-29-847-3781; Fax: +81-29-847-3781; E-mail: oda@crl.or.jp)

² Professor, Graduate School of Agriculture, Kyoto University, Oiwake-Chyo, Kitashirakawa, Sakyo-ku, Kyoto City, Japan, (Tel: +81-75-753-6092; Fax: +81-75-753-6088; E-mail: mizuyama@kais.kyoto-u.ac.jp)

corresponding to prototype sediment. We conducted natural dam and debris flow experiments to generate the likely composition of sand in the local area, and reduced it using the appropriate scale. Woody debris models often incorporate cylindrical pieces of wood to represent tree trunks (without considering roots and branches). This helps to determine the amount, length, and width of woody debris based on a tree survey of the locale.

WOODY DEBRIS EXPERIMENT (WITHIN THE PHYSICAL MODEL EXPERIMENT)

Experiment to evaluate the effects of woody debris countermeasure structures

The distance from a mountainous area to the mouth of a river is shorter in Japan than in many other countries. In mountainous areas, many trees are flowed out due to collapsing hillsides and riverside erosion due to flooding caused by typhoons and other disturbances. When these trees arrive at the river mouth as woody debris, they can cause serious damage to ships, and as the woody debris flows into harbors, it can float in fishery areas and obstruct fishing boat traffic. Moreover, even if woody debris does not reach the river mouth, water levels increase when it gathers at river structures, such as piers, generating floods. In such situations, the pier can be damaged or become dislodged, adding to the woody debris.

This section presents a case study of a woody debris countermeasure facility proposed for the Nodaoi River. This location, in the city of Yakumo, Futami-gun, Hokkaido, was subject to flooding from 1997–1999 when woody debris accumulated at a bridge pier (photograph 1) and at the fishing port (photograph 2).

Figure 1 illustrates the location of the Nodaoi River, and Table 1 presents its field dimensions. The river has the following characteristics:

- 1) Its geographical features are primarily curved, and the river bank has partially collapsed.
- 2) Trees grow densely up to the river bank, and woody debris appears in the river.
- 3) An embankment has been completed in the downstream region, and the protected



Photo 1. Accumulation of woody debris at a bridge pier.



Photo 2. Accumulation of woody debris at a fishing port.

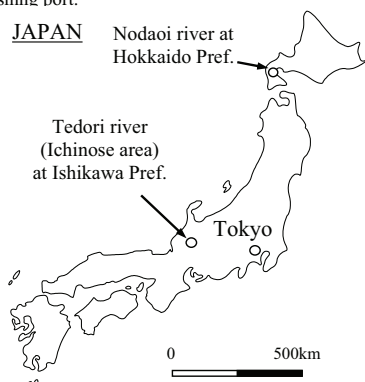


Figure 1. Location of target rivers.

lowlands are used as pastures, *etc.*

4) The railway, roads, and residential areas have extended to the vicinity of the river mouth.

Table 1. Field dimensions of the Nodaoi River.

Items	Dimensions
Catchment area	79.7km ² (at Designed ground sill)
Design discharge	950m ³ /s(Return period is 100 years)
Design volume of woody debris	9,700m ³
Average length of woody debris	8.7m
Average diameter of woody debris	28.3cm
Average grain diameter of sediment	7.0cm(90% grain size is 12.0cm)
Average riverbed gradient	1/120 (In model area)
Extension of basin	1.5km(In model area)

Outline of the experiment

The goal of the experiment was to develop effective structures to prevent damage by catching the woody debris that flows from the upstream region.

The model's kinematic similarity is shown by Froude's law, and the main experimental conditions were as follows:

- 1) Model scale: 1/60.
- 2) Model area: See Figure 2.
- 3) Hydrographs: The model used the planned hydrograph and a hydrograph of the Nodaoi River from September 2001 (see Figure 3).
- 4) Supply of woody debris: We based the amount of woody debris on the distribution of floating volume ratio, but only included woody debris supplied by flow over a period of 30 years.
- 5) Bed material: See Figure 4.
- 6) Amount of sand: Equilibrium sand volume corresponded to the flow hydrograph.

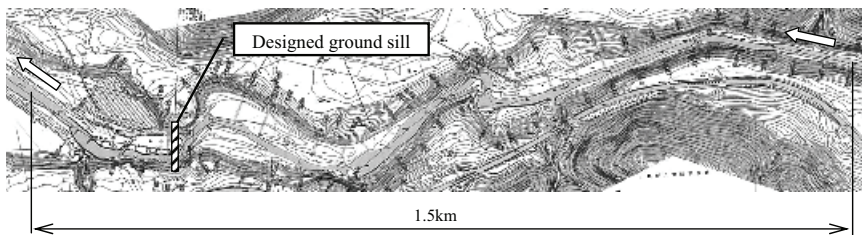


Figure 2. Plan of the objective area.

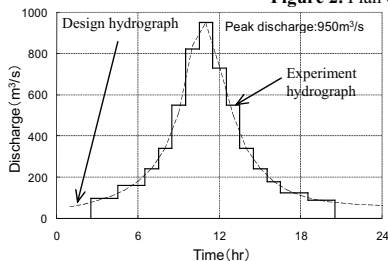


Figure 3. Planned hydrograph and experimental hydrograph.

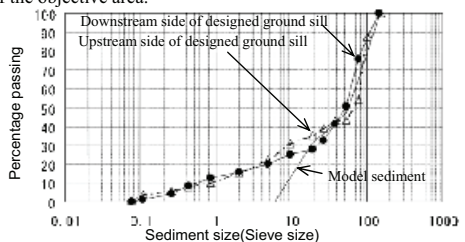


Figure 4. Sand distribution.

Results of the experiment using the original plan

In areas where wood is trapped in a ground sill spillway, researchers generally suggest preventing damage from woody debris by catching wood. However, this type of countermeasure facility tends to block the entire spillway ground sill section with trapped woody debris, resulting in an abnormal increase in the upstream water level of the ground sill spillway (in this case, 4.2 m; see Photo 3 and Figure 5). In addition, most of the bedload from upstream accumulates in the upstream section of the ground sill. This causes a major scouring in the riverbed downstream of the ground sill, and results in unsafe conditions in the ground sill base (see Photos 4 and 5).



Photo 3. Upstream water level when a ground sill traps woody debris.

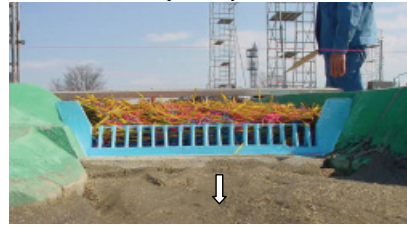


Photo 4. Trapped woody debris.



Photo 5. Scouring at an embankment leg downstream of a ground sill.

Results of the experiment using the revised plan

To address the above problems, we developed a plan to trap woody debris in wider areas of the river (Figure 6). We set up piles upstream of wider areas for flow control, so that woody debris would be led to this area. The effect would begin after woody debris was caught between the piles, as piles themselves rarely obstruct flow. Here, we set up three rows of piles; each row was composed of three piles, spaced 4.0 m apart, and the three rows were spaced 8.0 m apart in the direction of the flow.

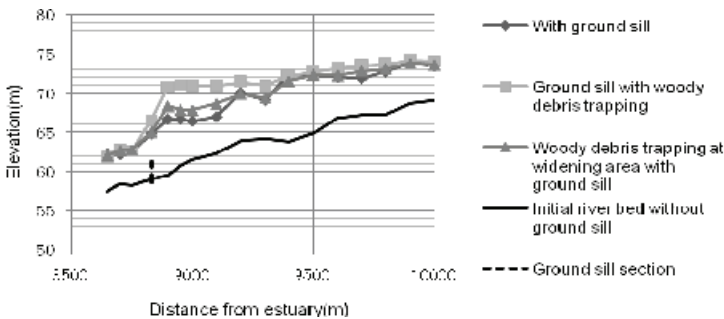


Figure 5. Comparison of water levels.

Next, we set up piles in the wide area downstream to catch the woody debris that flowed in. Here, we set up piles over a distance of 30 m; piles were installed in pairs at the upstream edge, spaced 2.0 m apart and at intervals of 6.0 m to catch woody debris. The piles were set up on the same side as in the original ground sill shore plan, but the upstream water level rose by only 1.7 m, in contrast to the rise of 4.2 m that resulted from the original plan for catching the woody debris (Figure 6). In addition, the revised plan solved the problem of decreased downstream riverbed, because sand could flow between the pilings. Results indicated that the revised plan ensured flood control, and that 84% of woody debris was trapped (Photo 6).

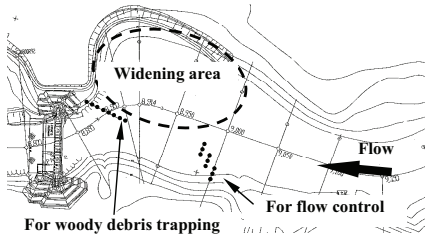


Figure 6. Sketch of the revised woody debris countermeasure plan.



Photo 6. Woody debris trapped using the revised plan.

LANDSLIDE DAM EXPERIMENT

Experiment to evaluate landslide dam collapse countermeasures

A landslide dam can be formed by disturbances, such as landslides, large-scale collapse, or debris flow (Photo 7). The dam could block a river, and the resulting debris flow and flood during its collapse can cause disasters, such as flooding in the downstream region. To prevent damage from the natural collapse of a landslide dam, it is important to understand the characteristics at the peak discharge during collapse, *e.g.*, flooding start time and duration. Therefore, Japanese researchers have begun to examine these characteristics among disasters caused by landslide dams from a crisis-management perspective, with the goal of installing preventative sabo structures in areas in which landslide dams are likely to form.



Photo 7. The Tohyama River appears to be blocked by a debris flow from the Yunosawa River (this photograph was taken after a collapse in August 2005; Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Chubu Regional Development Bureau, Tenryugawa Joryu River Office, Sabo Intelligence Section).

To date, most sand movements, such as debris flows, have been simulated using physical models and calculations, and sabo structures have been planned based on the results. However, while some studies have performed measurements of landslide dam collapses (Mizuyama *et al.* 1989; Ishikawa *et al.* 1992), relatively few studies have planned sabo structures using landslide dam experiments and calculations. Mizuyama *et al.* conducted basic research on landslide dam collapses (1987, 1989), as did Takahashi *et al.* (1988, 1993), and Oda *et al.* (2006). These studies investigated issues such as changes in the time of peak discharge during

collapse, the process of bank collapse caused by landslide dams, and dam overtopping discharge. However, in these experiments, landslide dams had heights of 20–30 cm. In contrast, our experiment focused on the type of landscape dam that may cause a disaster downstream, so our model applied a large-scale, high landscape dam. We then examined characteristics such as changes in the time of peak discharge during collapse and dam overtopping discharge among these larger landscape dams.

We investigated landslide dams that were taller than the dams in previous experiments. This enabled us to plan appropriate preventative sabo structures to minimize destruction from a landslide dam and to conduct basic experiments concerning the collapse of landslide dams. Before any of the large-scale model experiments were carried out, we conducted preliminary experiments on the base in the rectangular flume section; we used these results to determine the main factors affecting the flow quantity as a landslide dam collapses. This section presents changes in peak discharge during a collapse based on the difference between the inclination of the landslide dam and particle size, and changes in the time of peak discharge during collapse. In particular, we examined the causes of overflow during the main collapse of a landslide dam (Mizuyama *et al.* 1987, 1989).

Our dam model was based on a disaster that occurred in 1934 caused by the collapse of a landslide dam in the Ichinose area of Ishikawa Prefecture (in the Tedoru River region). We built our model at a scale of 1/60; the original dam had a height ranging from 30–60 m. Landslide dams with a height of 60 or 30 m contain about 7 million cubic meters of water and about 5 million cubic meters of sand or about 1.5 million cubic meters of water and about 1.4 million cubic meters of sand, respectively. When we reduced these values by a scale of 1/60, both models were large-scale: the former had a height of 1.0 m, a sand volume of about 23 cubic meters, and an upstream water volume of 32 cubic meters; the latter had a height of 0.5 m, a sand volume of about 6.3 cubic meters, and an upstream water volume of 7.0 cubic meters (Photos 8 and 9, respectively).



Photo 8. Collapse of a landslide dam (60 m in height) by erosion.



Photo 9. Collapse of a landslide dam (60 m in height) by rotational slide.

Outline of the rectangular flume experiment

We constructed a model landslide dam in a rectangular flume with a width of 0.5 m, a bottom inclination of 2.8° (1/20.6), a depth of 1.3 m, and a length of 7.0 m (Figure 7). We measured water levels using a servo type water meter. We set four installation locations and set the sampling time to 100 ms. Overflow discharge at the landslide dam section was downstream into a square weir (Figure 7). Table 2 lists the experimental conditions. In all cases, the dam height was 1.0 m and the inflow discharge was 3.13 l/s. The crown length of the landslide dam was measured in the direction of the flow. We used three upstream and downstream

slopes (1:2, 1:4, and 1:5). In Experiment 5, we changed the volume of water upstream of the landslide dam to 6.07 cubic meters.

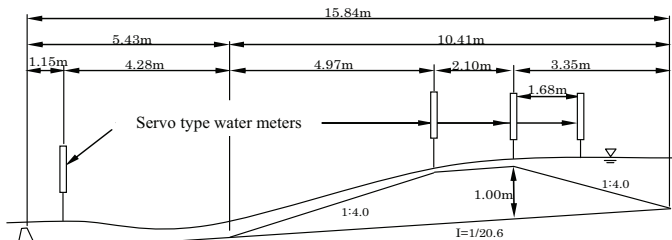


Figure 7. Installation of the landslide dam and setting the water gauge.

Table 2. List of experimental conditions (parameters for landslide dams).

Exp.No	Length of crown(m)	Angle of slopes	Sand volume ^{a)} (m ³)	Mean diameter of experimental sand
1	2.100	1 : 4	3.13	dm=0.25mm
2				
3				
4	1.050	1 : 2	1.53	dm=0.755mm
5		1 : 4	2.60	
6		1 : 2	1.53	
7	0.525	1 : 4	2.34	dm=1.44mm
8	1.050	1 : 5	3.18	
9	2.100	1 : 4	3.13	dm=1.44mm
10				dm=5.14mm

Results of the rectangular flume experiment

1) Relationship between slope, particle size, and peak discharge during overflow

Figure 8 presents the relationship between landslide dam slope and peak discharge during overflow. All cases were subject to the same conditions, excluding slopes. Peak discharge increased as the slope increased. Erosion of a landslide dam probably progresses more rapidly during overflow when the slope is steep, so slope is a major factor in peak discharge during collapse.

Figure 9 presents the relationship between particle size and peak discharge during overflow. All cases were subject to the same conditions, excluding particle size. Peak discharge

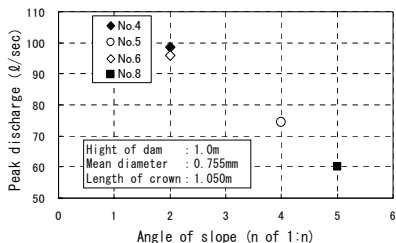


Figure 8. Relationship between landslide dam slope and peak discharge.

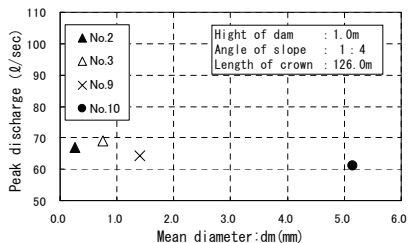


Figure 9. Relationship between particle size and peak discharge.

decreased when average particle size increased. However, peak discharge decreased by as much as about 40% when the landslide dam was composed only of sand, when it was cohesive (Oda *et al.* 2006). Particle size did not appear to have a major effect on peak discharge when the dam was cohesive.

2) Time of peak discharge during collapse

We examined time until generation of peak discharge; overflow began when the water overflowing a dam passed the downstream shoulder. Using the average particle size, crown length, and downstream slope as parameters, we obtained the following results:

- a. The time to peak discharge increased when the crown length increased (Figure 10).
- b. The time to peak discharge increased when slope decreased (Figure 11).
- c. The time to peak discharge increased when average particle size decreased (Figure 12).

These results appeared throughout the range of the experiment. We determined peak discharge when the water level at the downstream shoulder of the dam began to decrease (Figure 13). These results indicate that the time to peak discharge increased because the time to erosion increased even at the upstream shoulder of the landslide dam after overflow. Moreover, water levels rose temporarily due to rapid accumulation from the side when the average particle size was fine. Although the reasons for this are unclear, this increase in water level may have delayed collapse of the landslide dam.

We examined countermeasure structures experimentally under various conditions. For example, we used cement milk spraying and concrete blocks to cover the model's crown and downstream slope. These were intended to reduce peak discharge by decreasing the erosion rate of the downstream slope. The results indicated that it was possible to reduce peak

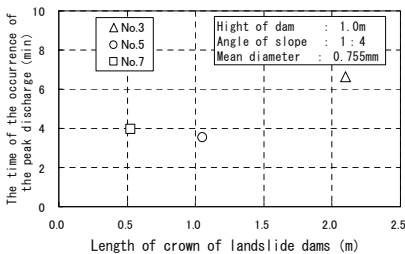


Figure 10. Relationship between landslide dam crown length and the time of peak discharge.

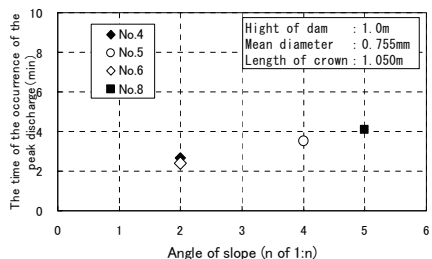


Figure 11. Relationship between landslide dam slope and the time of peak discharge.

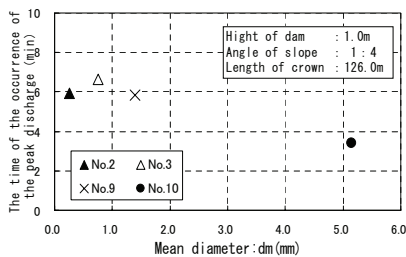


Figure 12. Relationship between mean particle size and the time of peak discharge.

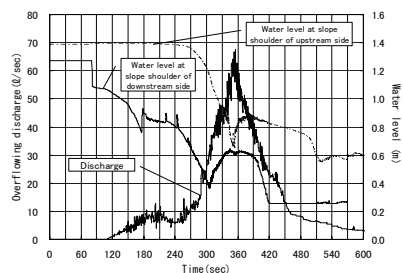


Figure 13. Temporal variation in the rate of overflow discharge and water level at the shoulder of a landslide dam (No. 2).

discharge by decreasing the erosion rate of the downstream slope. However, questions remain about the short time period during which a landslide dam is formed and its formation characteristics.

Outline of the physical model experiment

Figure 1 shows the position of the river in a model landslide dam using geographical features. Table 3 lists local parameters, and Photo 10 shows a physical panorama. The experiment was conducted with the following goals:

- To experimentally determine peak discharge and sediment balance of the assumed landslide dam during its collapse from overflow water.
- To determine ways of improving safety in the downstream region.

The experiment used the following main conditions:

- Model scale: 1/60.
- Model area: The upstream end was the range where water was collected by the landslide dam and the downstream end was the existing preventative sabo dam.
- Bed material: Average riverbed gradient is 20.3cm

3.3.1 Results of the physical model experiment

This experiment was performed to examine peak discharge and sediment balance of a landslide dam with a height of 30 m. At collapse, local peak discharge was 2,000 m³/s. Experimental observations indicated that the stream overflowed



Photo 10. Physical panorama of the model (scale 1/60).

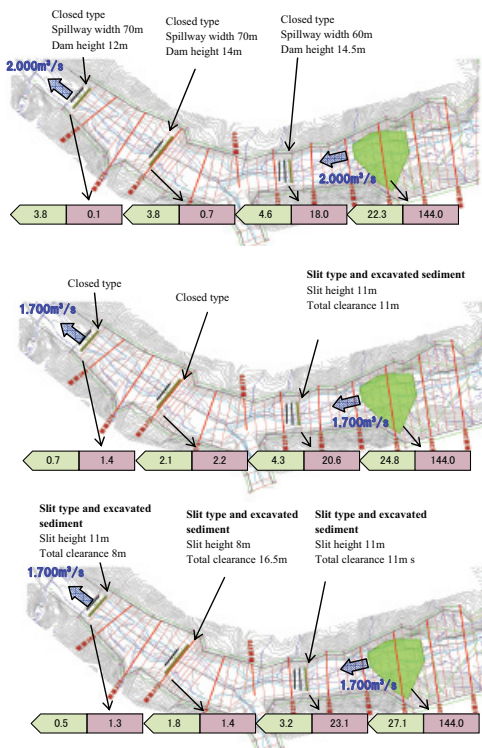


Figure 14. Discharge and sediment balance after experiments (Unit: × 1,000 m³).

Table 3. Field dimensions of Tedorì River.

Items	Dimensions
Catchment area	42.0km ² (at Landslide dam)
Design discharge	581.5m ³ /s(Return period is 100 years)
Average grain diameter of sediment	20.3cm
Average riverbed gradient	1/20.6 (In model area)
Extension of basin	3.0km(In model area)

completely at the wing of the sabo dam, directly below the landslide dam. We confirmed an excessive peak discharge (planned discharge in this river was 582 m³/s). The sediment balance indicated that during the collapse of the landslide dam, about 80% of sand accumulated directly below the dam. The decreases in sand volume and peak discharge during the collapse of the landslide dam revealed the following methods for improvement:

- 1) In a closed type sabo dam, the ability to catch and store water and sand can be improved by excavating sediment.
- 2) Switching from the closed to the slit type sabo dam can usually reduce sand accumulation. These methods for improvement had almost no effect on sand accumulation, but peak discharge decreased slightly from 2,000 m³/s to 1,700 m³/s, probably as a result of their application. Future studies will focus on the development of more effective preventative sabo structures and improving the safety of downstream regions.

CONCLUSIONS

We conducted a case study of a sabo dam on a steep river in Japan. As described so far, the experiments using topographic models have been applied for drafting the planned layout of erosion control facilities which conform to social needs. However, since experimental examinations have not been well known as a means of drafting plan layouts, it cannot be said that the experiments are generally an acceptable means of examination.

The experiments using topographic models are characterized by ensuring that regional residents easily understand through visual presentations the state of possible sediment disaster and the effect of the planned erosion control facilities. Therefore, from now on it is necessary to appeal to and assure regional residents that the experiment is a useful means of settling on an effective erosion control plan. In fact, the use of experiments in the open forum examination meeting of the regional resident participative type among others is increasing. It is further necessary to enhance the social awareness and recognition of the experiments and to devise a method more appropriate for the visual presentation of the results of hydraulic erosion control model experiments.

Moreover, the verification of the calculation model through a hydraulic model test is important for the progress of numerical simulations. To this end, the enhancement of the precision of the hydraulic model experiments will be an important subject in the future. Technical subjects which are involved in the execution of experiments are enumerated as follows.

- 1) Riverside erosion : In order to reproduce the riverside erosion caused by running water, it is necessary to know the nature of the material of field riversides such as grain size and moisture content ratios. A method for investigating riverside conditions and material and techniques used in the model for reproducing riverside are now important subjects.
- 2) The resistance of trees (rootstock) : Recently, there can be seen many plans such as green erosion control plans in which the natural environment is considered of great importance. The reproduction of trees in a riverside channel is significant in making the direction of flows such as water level and flow direction in the river channel close to actual field conditions in addition to developing proper visual effect demonstrations. Many conventional erosion control experiments have been prepared with no provision that trees lean or uproot and flow out even during flood events. However, it is actually often seen in the field that trees do in fact lean or uproot and flow out at the time of flooding. In order to reproduce such field condition, it is necessary to examine the similarity between the actual

- field state and the experiment with respect to the resistance of trees (rootstock) and to reproduce the limitations on the lean and/or uprooting and runoff state of trees in a model.
- 3) The selection of bed material for use in the experimental model: At present, the bed material for use in an experimental model is reduced in scale based on the particle size distribution obtained from field surveys. Since sediment for use in the experiment consists of sand excluding the fine grains, the particle size distribution of the sand for use in an experiment is different from that of the actual field bed material. Consequently, the behavior of small flux in the actual field where the fine grain content of the small flux moves while suspended in the flux cannot be modeled in the experiment. Therefore, it can be considered that when the above behavior of small flux continues over a long period of time, the movement of fine grain in the actual field would in fact cause riverbed fluctuations. In order to reproduce the behavior of the small flux precisely in an experimental model, it is necessary to examine the bed material so that the behavior of fine-grained sediment can be reproduced in a reduced scale model.
 - 4) The similarity of complex phenomena (e.g.; the concurrence of a suspension phenomenon and a traction phenomenon) : Suspension phenomena and traction phenomena occur simultaneously in the field at the time of flooding. Similar conditions can also be seen in the experiments. At present, the Froude's similarity is applied to most of the experiments because the traction phenomena are controlled more by gravity than viscosity. However, due to the influence of viscosity on the suspension of the fine grain content of bed material being considerable, the Froude's similarity is not applicable to the experiment. Further examination is necessary to reproduce the field phenomena precisely.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank Hokkaido Prefecture Government Oshima Subprefectural Office Hakodate Public Works Office, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Hokuriku Regional Development Bureau, Kanazawa River and Road Office and Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Chubu Regional Development Bureau Tenryugawa Joryu River Office.

REFERENCES

- Ishikawa Y., Irasawa M. and Sang F.K.(1992):“ Estimation and Measures of flood flowing by Landslide dam collapse“ Journal of Japan Society Erosion Control Engineering, Vol.45,No.1; 14-21(in Japanese) .
- Mizuyama T., Ishikawa Y. and Fukumoto A.(1987):“ Landslide Dams Outburst Due to seepage“ Annual of Public Works Research Institute, Vol.2744,18-91(in Japanese) .
- Mizuyama T., Ishikawa Y. and Fukumoto A.(1989):“ Landslide Dams Outburst and It's Countermeasures“ Civil Engineering Journal, Vol.31-11; 50-56(in Japanese) .
- Oda A., Izumi I., Abe H., Hasegawa Y. and Mizuyama T. (2002):“The Trend and Anticipated Future Subject of Hydraulic Erosion Control Model Experiments in Japan“ International Congress Interpraevent 2002 in the Pacific Rim-Matsumoto/JAPAN Congress publication,Vol.1; 175-186.
- Oda A., Mizuyama T., Hasegawa Y., Mori T. and Kawada K. (2006): “Experimental Study of Process and Outflow Rate when Landslide Dams Outburst“ Journal of Japan Society Erosion Control Engineering, JSECE, Vol.59,No.1; 29-34 (in Japanese with abstract in English) .

- Takahashi T. and Nakagawa H.(1993):“Flood and Debris Flow Hydrograph Due to Collapse of a Natural Dam by Overtopping“ Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, Vol.37; 699-704(in Japanese with abstract in English) .
- Takahashi T. and Sang F.K.(1988):“Hydrograph Prediction of Debris Flow Due to Failure of Landslide Dam“Annuals, Disas. Prev. Inst. Kyoto Univ., No.31 B-2; 601-615 (in Japanese with abstract in English) .

HOCHWASSERSCHUTZ VORDERBERG UNTER DEM ASPEKT GESCHIEBETRANSPORT UND BINNENSTAU

FLOOD PROTECTION VORDERBERG REGARDING BEDLOAD TRANSPORT AND POLDER DRAINAGE

Wolfgang Porzer¹, Hannes Poglitsch²

ZUSAMMENFASSUNG

Das Hochwasserereignis in Vorderberg im Gailtal vom August 2003, laut Hydrografischem Landesdienst ein Ereignis größer HQ100, hat die Notwendigkeit der Neudefinition der Ausbaukriterien aufgezeigt. In Anbetracht der besonderen Situation des Vorderberger Baches, der sich im Ortsgebiet in einer Hochlage auf einem Schwemmfächer befindet und beträchtliche Mengen an Geschiebe mit sich führt und danach unmittelbar in die Gail mündet, sind mehrere Maßnahmenswerpunkte zu setzen um einen ganzheitlichen Hochwasserschutz zu gewährleisten. Diese Schwerpunkte sind in erster Linie die **Künettenstrecke direkt im Ortsgebiet, der Einmündungsbereich des Vorderbergerbaches** in die Gail und der **Binnenstaubereich** entlang der Hochwasserschutzdämme der Gail.

Keywords: Hochwasserschutz, Geschiebetransport, Binnenstau

ABSTRACT

The flood at Vorderberg in the valley of the river Gail in August 2003, which according to the hydrological service was larger than a 100years flood event, has shown the necessity of a new definition of the design criteria. Considering the special situation of the Vorderberger creek, which flows in a high situation over an alluvial fan and transports considerable amounts of bed load towards the river Gail, there is the main focus on some development measures to provide an overall flood protection. The main focus lays upon the **lined canal directly in the village, the confluence of the Vorderberger creek** with the river Gail and a **polder area** along the flood embankment of the river Gail.

Keywords: flood protection, bed load transport, polder drainage

1 Wolfgang Porzer, DonauConsult Zottl&Erber ZT-GmbH, Klopstockgasse 34, 1170 Wien, Österreich, (Tel.: +43-1-4808010-23; Fax: +43-1-4808010-10; email: w.porzer@donauconsult.at)

2 Hannes Poglitsch, Amt der Kärntner Landesregierung, Abt.18 Wasserwirtschaft, Uabt. Hermagor, Hauptstrasse 41, 9620 Hermagor, Österreich, (Tel.: +43-4282 2045; Fax: +43-4282 2045-25; email: post.abt18HE@ktn.gv.at)

AUSGANGSLAGE – PROBLEMSTELLUNG

Die Ortschaft Vorderberg (Gemeinde St. Stefan/Gail, Bezirk Hermagor) – im Mittleren Gailtal rd. 20 km westlich von Villach gelegen – wurde unzählige Male durch Hochwässer beeinträchtigt. Chroniken ist zu entnehmen, dass der mitten durch die Ortschaft führende Vorderberger Bach in den Jahren 1810, 1837, 1903, 1920 und 1966 über die Ufer trat und an Häusern schwere Schäden anrichtete, wobei zumeist auch die unmittelbar neben dem Bach gelegene Ortskirche vom Hochwasser betroffen war. Die Lage am Schwemmkegel bedingte nicht nur eine ständige Hochwassergefahr durch den Vorderberger Bach, sondern auch – für die nördlichen Ortsteile – durch den Gailfluss.

Das Einzugsgebiet des Vorderberger Baches beträgt 27 km² und erstreckt sich nach Süden in das Bergmassiv der Karnischen Alpen bis auf eine Seehöhe von ca. 2000 m.ü.A. (Oisternig, Poludnig). Der HQ100-Bemessungswert wurde vom Hydrographischen Dienst Kärnten von 50 m³/s im Jahre 1960 auf 120 m³/s im Jahre 2003 erhöht. Maßgebend hierfür war vor allem eine verbesserte statistische Datenlage einschließlich einer detaillierten Neubeurteilung von Kleineinzugsgebieten.

Ein extremer Gewitterregen am 29.08.2003 mit mehr als 300 mm Niederschlag in acht Stunden führte zu einem 100-jährlichen Hochwasserereignis des Vorderberger Baches, dem die auf 60 m³/s ausgebaute Ortsregulierung nicht gewachsen war. Durch die großen Geschiebemengen (rd. 250.000 m³ beim Grabenausgang) und dem hohen Wildholzanfall kam es zu Überbordungen und Brückenverklausungen, wodurch mehr als die Hälfte der Ortschaft überflutet wurde. Der Schaden an Gebäuden, Infrastruktur und landwirtschaftlichen Flächen ist mit 3,7 Mio. Euro zu beziffern. Zum Glück forderte die Katastrophe kein Menschenleben.

Im Auftrag der Gemeinde St. Stefan/Gail als Bauherr wurden seit dem Jahre 2003 von den im jeweiligen Betreuungsbereich zuständigen Dienststellen, der Wildbach- und Lawinerverbauung WLW (Einzugsgebiet einschließlich Geschiebeablagerungsplatz) und der Bundeswasserbauverwaltung BWV (Ortsgerinne bis zum Gailfluss), umfangreiche Überlegungen für den Hochwasserschutz der Ortschaft Vorderberg angestellt. Im Einzugsgebiet sind flächenwirtschaftliche Maßnahmen sowie die Errichtung von Geschiebedosier- und Konsolidierungssperren vorgesehen. Zusätzlich wird der Geschiebeablagerungsplatz unmittelbar nach dem Grabenausgang optimiert. Im Ortsbereich wird das bestehende Profil eingetieft und aufgeweitet und unmittelbar vor dem Gailfluss ein weiterer Geschiebeablagerungsplatz (Geschiebefalle) errichtet, um bestehenden Sohlrandlandungstendenzen des Gailflusses im flußab gelegenen Abschnitt entgegen zu wirken. Zusätzlich wird beim Querdamm Vorderberg – dieser schützt die Ortschaft vor Gailhochwässern – ein Notverschluss eingebaut, welcher bei einem Hochwasser des Vorderberger Baches (Überlastfall) die gefahrlose Ableitung von Binnenwässern zum Vorfluter Gail gewährleisten soll.

BISHERIGE UNTERSUCHUNGEN/PROJEKTE

Die bedeutende Geschiebeführung des Vorderberger Baches und die damit verbundene Gefährdung für die Ortschaft Vorderberg hat bereits vor über hundert Jahren zu umfangreichen Verbauungen in Ober- und Tallauf geführt. Die aktuelle Gestaltung im Ortsgebiet entstand im Jahre 1960.

Nach dem Hochwasser 1996, das etwa einem 10-jährlichen Ereignis entsprach, wurde im Jahr 2000 ein Generelles Projekt vorgelegt. Dabei wurden grundsätzliche Lösungsansätze für den Ortsbereich wie eine Verbreiterung oder Tieferlegung des Baches, aber auch mögliche Hochwasserentlastungen oder Bachverlegungen behandelt.

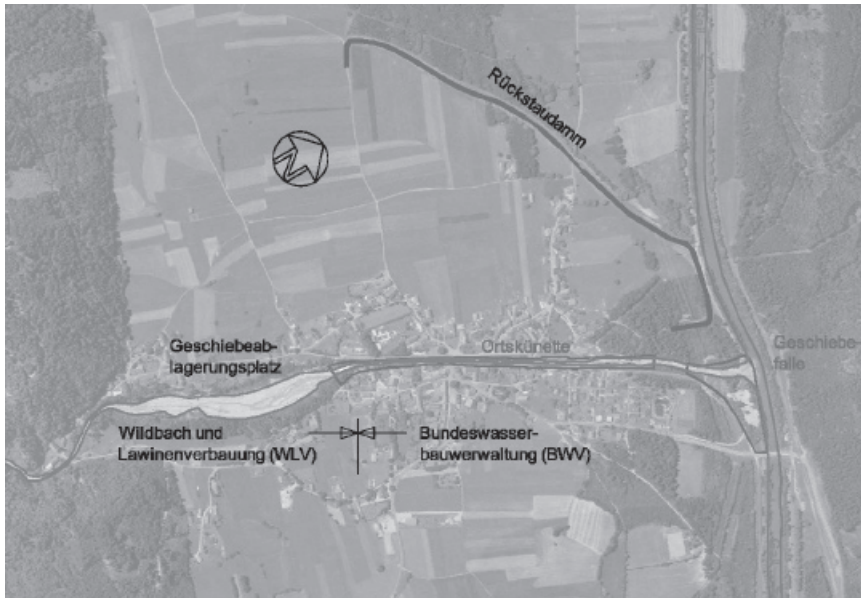


Abb. 1: Situation Vorderberger Bach mit Ort Vorderberg und der Gail
Fig. 1: situation Vorderberger creek with the village of Vorderberg and the river Gail

Das Katastrophenhochwasser 2003 mit einer Größe von mehr als HQ100 war Anlass für eine Überprüfung und schlussendlich Bestätigung der gewählten Lösungsansätze im Detailprojekt 2006. Als Konsequenz des Hochwassers wurden die Ausbaumaßnahmen am Vorderberger Bach durch eine modifizierte Binnenentwässerung am flussabwärtigen Ortsrand (Studie 2005, Detailprojekt 2006) sowie Anordnung einer Geschlebefalle vor der Mündung in die Gail ergänzt (Detailprojekt 2007).

Die aktuelle Situation des Tallaufes des Vorderberger Baches ist in Abb. 1 dargestellt.

GEWÄHLTE PROJEKTLÖSUNG

Das Ziel der geplanten Maßnahmen ist die Sicherstellung der ausuferungsfreien Abfuhr eines Bemessungshochwasserereignisses in der Größe von $120 \text{ m}^3/\text{s}$ durch den Ort Vorderberg. Auf die Abfuhrfähigkeit von anfallendem Geschiebe im neuen Profil wurde großes Augenmerk gelegt. In Anbetracht der besonderen Situation des Vorderberger Baches wurde ein Freibord in der Größe von 1.0 m gewählt.

In der Ortsstrecke werden die zentralen Maßnahmen der Sohlabsenkung und Profilvergrößerung durch Uferanhebungen, je nach Platzangebot Dammstrecken oder Ufermauern begleitet, um das erforderliche Freibordmaß zu erzielen.

Das Ausbauprojekt für den Vorderberger Bach sieht im Ortsbereich eine Tieferlegung der Bachsohle um rd. 2.5 m (sh. Abb. 2) bei gleichzeitiger Vergrößerung des Abflussquerschnittes vor. Die Profilbreite ist dabei von ca. 11 m auf 20 m, die Profiltiefe von 2.8 m auf 4.5 m vergrößert worden (sh. Abb. 3).

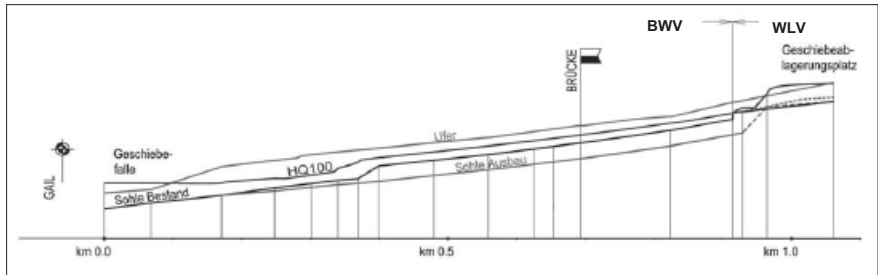


Abb. 2: Längsschnitt der Vorderberger Baches im Ortsbereich mit geplanter Tieferlegung der Sohle
Fig. 2: longitudinal section of the Vorderberger Bach along the village setting the ground lower

Die Tieferlegung des Längsschnitts wurde von der bestehenden hohen Profillage und der aus der Situierung der Landesstrassenbrücke mit ihren Zufahrtsrampen entstehenden Schwierigkeiten mitbestimmt.

Die Uferböschungen sind mit in Beton verlegten Wasserbausteinen gesichert. Die Sohle ist ebenfalls mit Wasserbausteinen gesichert, jedoch nach unten offen und abschnittsweise mit Querriegeln gesichert.

Der obere Abschluss der Ortsstrecke in Form einer Sohlrampe (Blocksteinrampe) stellt den Übergang zum Geschiebeablagungsbecken dar, das sich oberhalb der Kompetenzgrenze zur WLV befindet. Mittels Modellversuchen wird derzeit eine Verbesserung der Funktion der Geschiebeablagung ermittelt. Die Ergebnisse der Modellversuche werden die Ausgestaltung des Übergangs von der Ortsstrecke zum Geschiebeablagungsbereich bestimmen.

Bedingt durch das Hochwasserschutzprojekt werden begleitend andere Baumaßnahmen erforderlich. Diese sind u.a. die Neuerrichtung der Landesstrassenbrücke, Bau eines Fußgängerstegs sowie die Errichtung einer hydrografischen Messstation.

Zur Absicherung des Ausbauzieles im Ortsbereich sind folgende weitere Maßnahmen geplant oder bereits umgesetzt:

- Ausbau im Mittellauf (WLV)
- Umbau des Geschiebeablagungsplatzes (WLV)
- Errichtung einer Geschiebefalle vor der Gail
- Verbesserung der Binnenentwässerung

Im Oberlauf des Vorderberger Baches sind von Seiten der zuständigen Wildbach- und Lawinerverbauung als ebenfalls für die Sicherheit des Ortes wichtige Maßnahmen

umfangreiche Erhaltungs- und Baumaßnahmen vorgesehen oder zum Teil schon ausgeführt. So ist beispielsweise die Regulierung des Grabenausgangs bereits umgesetzt.

Nach Abschluss der diesbezüglichen wasserbaulichen Modellversuche erfolgt der Umbau des Geschiebeablageplatzes. Durch Steigerung der Rückhaltewirkung soll ein verstärkter Eintrag von Geschiebe in die Gail vermieden werden.

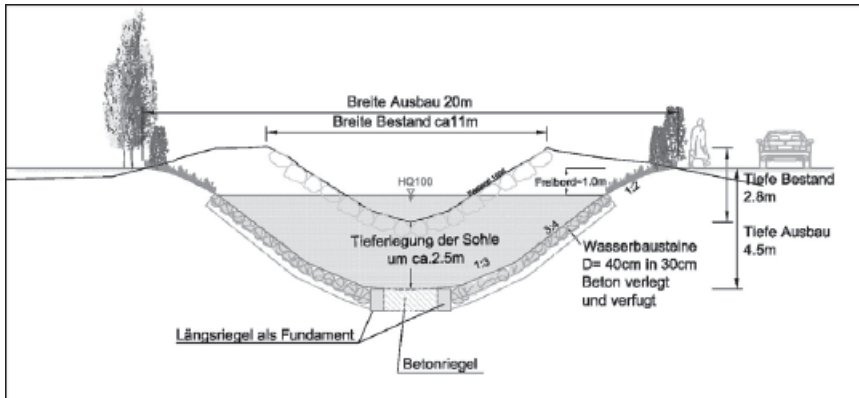


Abb. 3: Bestands- und Ausbauprofil Vorderberger Bach im Ortsbereich
Fig. 3: actual und future cross section of the Vorderberger creek along the village

Beim HW2003 wurden auf Grund des Rückstaus der ausgeferten Wassermengen im gailnahe liegenden Ortsteil Schäden verursacht. Zur Minimierung des Restrisikos auch nach erfolgtem HQ100-Ausbau der Ortsstrecke werden im Rückstaudamm zur Gail Ausleitungsbawerke neu errichtet und ein Notverschluss in den Gaildamm eingebaut. Damit soll im Überlastfall ein Ausleiten von Wasser aus dem ortsnahen Binnenstau in die Gail ermöglicht werden.

Durch das HW2003 ist im Einzugsgebiet des Vorderberger Baches eine umfassende Mobilisierung von Geschiebe erfolgt. Diese Mobilisierung bewirkt ein verstärktes Geschiebedargebot, das zum Teil durch den Geschiebeablageplatz gedriftet werden kann. Die Profilvergrößerung des Vorderberger Baches im Ortsbereich bewirkt eine größere Geschiebetransportkapazität. Da die Gail nach der Mündung des Vorderberger Baches eine Flachstrecke mit sehr geringer Geschiebetransportkapazität aufweist, wurden Maßnahmen zur Vermeidung von zu starkem Geschiebeeintrag in die Gail vorgesehen. Diese sehen die Anordnung einer Geschiebefalle vor der Mündung in die Gail vor (sh. Abb. 4). Durch Aufweitung des Abflussprofils und einer aus einer verschleppten Mündungsstrecke resultierenden Verflachung des Gefälles kann ein Geschiebevolumen von bis zu 15 000 m³ abgelagert werden. Damit wird die Gail von der Bildung von Geschiebepfropfen frei gehalten und in der flachen Unterliegerstrecke die Gefahr von Sedimentationen und daraus resultierenden Hochwasserschutzproblemen gering gehalten.

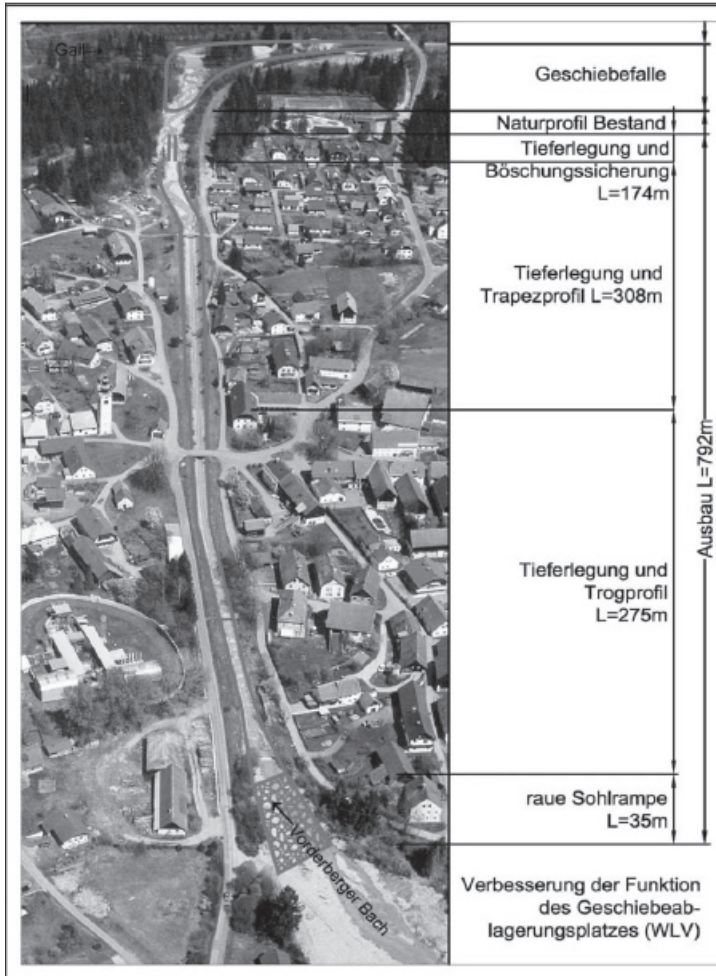


Abb. 4: Ortsstrecke Vorderberger Bach mit geplanten Maßnahmen
 Fig. 4: Vorderberger creek with planned measures

STAND DER AUSBAUARBEITEN

Nach Abwicklung des Wasserrechtsverfahrens und Sicherstellung der Finanzierung wurde im Herbst 2006 mit den Ausbaurbeiten begonnen. In einem ersten Schritt wird der eingetiefte und aufgeweitete Rohbau des zukünftigen Gerinnes in Form einer 20 cm starken Stahlbetonschale errichtet. In diesem Zuge wurde auch die Landesstraßenbrücke über dem Vorderberger Bach abgetragen und eine entsprechende Verkehrsumleitung eingerichtet. Mit Abschluss dieser Bauphase kann mit Jahresende 2007 bereits der HQ100-Hochwasserschutz für die Ortschaft gewährleistet werden.

Die Wasserhaltung für die Baustelle wird mittels eines parallel zum Bachgerinne geführten 570 m langen Rohrkanales bewerkstelligt. Als Rohrmaterial werden erdverlegte Stahlrohre mit Steckmuffen mit einem Durchmesser von 1,0 m verwendet, da auf diesen aufgrund der räumlichen Beengtheit die Baustraße geführt werden muss. Durch den abschnittsweisen Ausbau des Rohbaugerinnes und Absicherung des Absturzbereiches zwischen Altgerinne und Neubau mittels Bruchsteinen wird zu jeder Zeit eine größtmögliche Hochwassersicherheit im Bauzustand gewährleistet.

Im Rahmen des Bauvorhabens ist auch die Neuerrichtung der Landesstraßenbrücke über den Vorderberger Bach, sowie die Neugestaltung der Landesstraße im Westen des Gerinnes auf einer Länge von 270 m notwendig. Diese Maßnahmen werden gemeinsam mit der Straßenverwaltung umgesetzt. Mit der Verkehrsfreigabe der neuen Brücke über den Vorderberger Bach im Juni 2008 können auch die derzeit bestehenden Verkehrsumleitungen entfallen.

In den kommenden Jahren wird sodann der Endausbau des Ortsgerinnes vorgenommen werden. Dieser umfasst die Ausführung der Steinverkleidungen an den Böschungen des Gerinnes, sowie die Errichtung der Querriegel zur Befestigung der Sohle. Zur Gewährleistung einer entsprechenden Durchgängigkeit werden einerseits die Bereiche zwischen den Querriegeln mit Schotter und Stein aufgefüllt und andererseits am Übergangsbereich zum Geschiebeablagerungsplatz eine fischpassierbare Sohlrampe errichtet. Die Erosionssicherungen im oberen Bereich des Gerinnes mittels in Beton verlegter Bruchsteine werden mit Erde überschüttet und begrünt, zur Gewährleistung eines 1 m hohen Freibordes werden bachparallele Dämme und Ufermauern ausgeführt.

Die genehmigten Gesamtkosten für die Bachregulierung betragen für eine Regulierungsstrecke von 760 lfm 5,1 Mio. Euro.

AUSBLICK

Die laufenden Ausbaurbeiten an der Ortsstrecke werden bis zum Übergang in das Geschiebeablagerungsbecken vorangetrieben. Nach Abschluss der Modellversuche und dem Umbau des Ablagerungsbeckens ist bis zu der bereits fertiggestellten Regulierungsstrecke beim Grabenausgang der Gerinneausbau abgeschlossen.

Parallel werden die Baumassnahmen der WLV im Mittellauf betrieben. Abschluss bilden die Maßnahmen der Binnenentwässerung sowie die Errichtung der Geschiebefalle vor der Gail.

Nach Abschluss der genannten Bauvorhaben soll ein Zustand des Vorderberger Bachs vorliegen, der die Schutzfordernisse der Ortschaft betreffend schadloser Abfuhr einer HQ100-Wassermenge erfüllt und den Geschiebehaushalt von Vorderberger Bach und Gail in einem für die Gail verkraftbaren Ausmaß regelt. Die möglichen Entwicklungen im Wildbachbereich sollen damit ohne negative Auswirkungen auf die schutzwasserwirtschaftlichen Aspekte bleiben.

Laut Bauzeitplan werden die Arbeiten inklusive der Verbesserung Binnenentwässerung und Neubau der Geschiebefalle im Jahre 2010 abgeschlossen sein.

FOTOS



Abb. 5: HW2003, Hauptplatz Vorderberg
Fig. 5: flood 2003, center of Vorderberg



Abb. 6: HW2003, Rückstau hinter Gaildamm
Fig. 6: flood 2003, backwater behind the dam



Abb. 7: Abbruch bestehende Ortsstrecke
Fig. 7: demolition of the existing lined canal



Abb. 8: Aushub für neues Abflussprofil
Fig. 8: excavation for new cross section



Abb. 9: Ausbau der Ortsstrecke
Fig. 9: enlargement of the cross section



Abb. 10: Ausbau der Ortsstrecke
Fig. 10: enlargement of the cross section

LITERATUR

- Bauleitung der Gailregulierung Hermagor (1960): Vorderberger Bach, Wiederinstandsetzung der Bachkünette hm 4.00 bis hm 7.70.
- Gailbauleitung Hermagor (1974/75): Vorderberger Bach, Errichtung des rechtsufrigen Begleitdamms.
- DonauConsult Zottl&Erber (1993): Gail, Gewässerbetreuungskonzept.
- DonauConsult Zottl&Erber (2000): Vorderbergerbach in Vorderberg, Generelles Projekt.
- Amt der Kärntner Landesregierung, Abt. 18 (2001): Publikation „125 Jahre Gailregulierung“.
- Universität für Bodenkultur, Inst. für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen (2004): Dokumentation der Unwetterereignisse 29.August 2003.
- DonauConsult Zottl&Erber (2005): Vorderberg, Studie Binnenentwässerung.
- DonauConsult Zottl&Erber (2006): Vorderberger Bach, Detailprojekt.
- DonauConsult Zottl&Erber (2006): Vorderberg Binnenentwässerung, Detailprojekt.
- DonauConsult Zottl&Erber (2007): Vorderberger Bach, Geschiebefalle Detailprojekt.
- die.wildbach, Gebietsbauleitung Gailtal (lfd.): Modellversuche und Ausbaumaßnahmen an Mittellauf des Vorderberger Baches und Ausschotterungsbecken am oberen Ortsrand.

BEOBACHTUNGS- UND KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN ZUR FESTSTOFFTRANSPORTKONTROLLE AM RIEGERBACH, ÖSTERREICH

STRUCTURAL AND NON-STRUCTURAL MEASURES TO CONTROL DEBRIS FLOWS AT RIEGERBACH CATCHMENT, AUSTRIA

Christof Praschnig¹, Johannes Hübl², Friedrich Zott²

ZUSAMMENFASSUNG

Am 30. August 2005 kam es im Einzugsgebiet des Riegerbaches zu einer Großrutschung. Das gesamte bewegte Volumen betrug etwa 650.000 m³. Für kommende Ereignisse wird ein Mindestgeschiebedargebot aus den Rutschungsmassen mit etwa 16.000 m³ angenommen. Da durch die Infrastruktur des Auentales bedroht wird, war es für die lokalen Verantwortlichen notwendig, Maßnahmen zu ergreifen. Ein automatisches Frühwarnsystem wurde vom Institut für Alpine Naturgefahren – BOKU Wien entwickelt und von einer Privatfirma errichtet. Durch dieses System sollen die Bewohner des Auentales geschützt, sowie die Verantwortlichen über aktuelle Vorgänge im Rutschungsbereich informiert werden. In weiterer Folge soll dieses Frühwarnsystem durch aktive konstruktive Maßnahmen, die sich zurzeit im Planungsprozess befinden, innerhalb der nächsten drei Jahre ersetzt werden.

Keywords: Passive Maßnahmen, Frühwarnsystem, Beobachtungsmaßnahmen, kurze Vorwarnzeiten

ABSTRACT

On Aug 30th 2005 a landslide with a cubature of almost 650.000 cubic meters occurred in the Riegerbach catchment (a tributary of the river Auenbach, area Wolfsberg - Austria). The expected debris flows of 16.000 cubic meters endanger the infrastructure of the valley Auenbach, especially the single communication road. For protection it was essential for the local stakeholders to monitor the debris flow activity. A self-acting system was developed by the Institute of Mountain Risk Engineering - BOKU-Vienna. This monitoring system ensures to protect people against getting harmed by debris flows and to brief local responsibilities on the current incidence to take further measures. This system will be replaced by active and structural measures, which are currently in the process of planning.

Keywords: Passive Measures, Monitoring System, Mitigation Measures, Short Forecast Lead Time

1 3P Geotechnik ZT GmbH, Mitterlingweg 14, 9520 Sattendorf, Österreich (Tel.: +43-4243-45588-0; Mobil: +43-664-8545767; Fax: +43-4243-45588-20; email: christof.praschnig@3pgeo.com)

2 Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien, Peter Jordanstrasse 82, 1190 Wien, Österreich (Tel.: +43-1-47654-4374; Fax: +43-1-47654-4390; email: johannes.huebl@boku.ac.at)

DER RIEGERBACH

Der Riegerbach ist ein rechtsufriger Zubringer im oberen Teil des Einzugsgebietes des Auenbachs. Der Riegerbach ist Bestandteil des Gewässernetzes des östlichsten Tals der zwölf Haupttäler Kärntens – des Lavanttales. Sein Einzugsgebiet liegt im Gebiet der Gemeinde Wolfsberg. Diese ist Teil des Bezirkes Wolfsberg des Landes Kärnten.

Der Riegerbach entwässert das Gebiet am südwestlichen Gegenhang von Prebl und mündet etwa 1,5 km stromaufwärts des großen linksufrigen Auenbachzubringers Jöbstlbach in den Auenbach. Der Auenbach mündet zwischen dem linksufrigen Lavantzubringer Prössingbach und dem rechtsufrigen Lavantzubringer Weißenbach in die Lavant. Die Lavant selbst stellt einen linken Zubringer des Hauptflusses Kärntens - der Drau - dar.

Der Ursprung des Riegerbachs liegt im Gebiet Wölling an den östlichen Ausläufern der Saualpe auf einer Seehöhe von etwa 1100 m. Der Riegerbach verläuft ca. 1000 m in Richtung Nordost bis zu seiner Mündung in den Auenbach auf einer Seehöhe von etwa 765 m. Im mittleren Bereich des Einzugsgebietes weist der Gerinneverlauf des Riegerbachs im Vergleich zum oberen und unteren Bereich des Einzugsgebietes ein deutlich steileres Gefälle auf.

Das gesamte Einzugsgebiet des Riegerbachs befindet sich im Kompetenzbereich des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV) Kärnten. Die Größe des gesamten Einzugsgebietes des Riegerbachs beträgt bei einer etwa dreiecksförmigen Grundrissform etwa 90 ha (Abb.1).

In der geologischen Karte (Weissenbach & Pistotnik, 2000) wird im Bereich der bei dem Ereignis 2005 aufgetretenen Zugrisse eine alte Rutschmasse ausgewiesen. Auch sind im Mündungsbereich des Riegerbaches markante etwa 15 m hohe Ablagerungen aus früheren Ereignissen zu beobachten, die auf die instabilen Lockergesteinslagerungen im Bereich des Riegerbaches hinweisen.

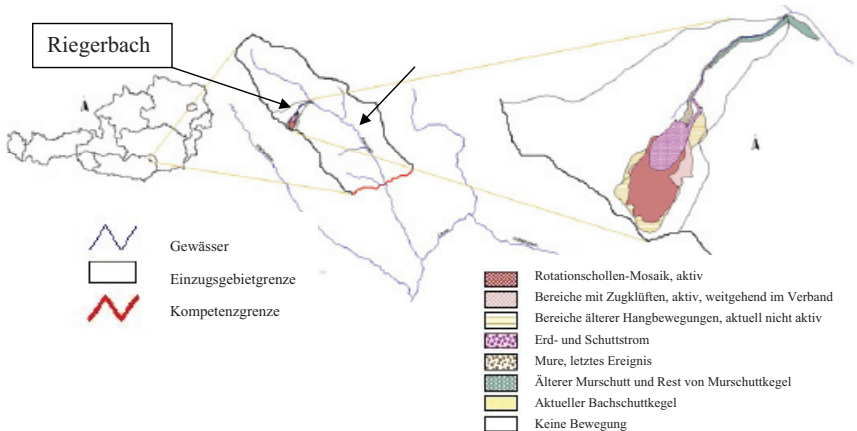


Abb. 1: Einzugsgebiete Auenbach (mitte), Riegerbach (rechts)

Fig. 1: Auenbach Catchment (middle), Riegerbach catchment (right)

EREIGNIS

Am 21. August 2005 kam es zu starken Niederschlagsereignissen im Bereich des Auenbachs, nachdem der Boden durch die Regenereignisse in den Vorwochen bereits intensiv durchfeuchtet war. Niederschlagsmaxima von bis zu 95 mm wurden an diesem Tag gemessen. Diese Niederschläge führten in weiterer Folge im Auenbach zu Abflussmengen bis zu 13 m³/s (± 2 m³/s), was einem 7-10 jährlichen Hochwasser entspricht. Im betroffenen Bereich waren rasche Grundwasseranstiege mit resultierenden Kellerüberflutungen sowie mehrere lokale Rutschungen und Vermurungen zu verzeichnen.

Bereits am 21. August wurden im oberen Bereich des Einzugsgebietes des Riegerbachs in einer Seehöhe von etwa 1050 m Zugrisse seitens des Grundeigentümers registriert (Abb.2). Bis zum 27. August nahmen diese Zugrisse nach Längenausmaß und Höhenversatz zu. Im Zeitraum vom 27. – 28. August kam es zu weiteren Niederschlagsereignissen im Gebiet des Auenbachs.

Am 30. August 2005 ereignete sich eine Massenbewegung, die sich in folgende Teilbereiche gliedert (Pirkl, 2005): Der Bereich ober den festgestellten Zugrissen (ca. 1150 -1050 m.ü.A.) besteht aus schollenförmigen Rotationskörpern (Abb. 3). Auf einer Seehöhe von etwa 1050 m.ü.A. erfolgt ein erster Phasenübergang: Die Rotationsschollen brechen und gehen in einen Erd- und Schuttstrom über (Abb. 4). An einer Steilstufe bei etwa 950 m.ü.A. erfolgt nicht zuletzt durch zusätzliche Wasserzutritte ein zweiter Phasenübergang zu einer Mure, die im Bett des Riegerbachs etwa 200 m vor der Einmündung in den Auenbach und der dem Bachlauf des Auenbachs folgenden einzigen Verbindungsstraße in Auental zum Stillstand gekommen ist (Abb. 5).

Es wird von einem gesamt bewegten Volumen von etwa 650.000 m³ ausgegangen, wobei ein Anteil von etwa 5% (ca. 30.000 m³) dem Material unterhalb der Geländekante (Bereich der Mure) zugeordnet wird (Pirkl, 2005). Unter anderem wurde durch dieses Ereignis die einzige Zufahrt zu einigen Bauernhöfen zerstört.



Abb. 2: Zugrisse
Fig. 2: Tension cracks



Abb. 3: Bereich Rotationsschollen
Fig. 3: Rotational Slide



Abb. 4: Bereich Erd- und Schuttstrom
Fig. 4: Eath Flow



Abb. 5: Bereich Mure (Murkopf)
Fig. 5: Debris Flow

MASSNAHMEN

Das zurzeit im Bett des Riegerbaches liegende Murmaterial sowie die im oberen Bereich des Einzugsgebietes liegenden Rutschungs- und Schuttstrommassen sind keineswegs als stabil einzustufen. Ein Minimalszenario weist für diesen Bereich ein zu erwartendes Geschiebeangebot von etwa 16.000 m³ aus. Das im Maximalszenario mobilisierbare Geschiebeangebot aus diesen Bereichen beträgt etwa 180.000 m³.

Im Mündungsbereich des Riegerbaches, unmittelbar neben dem Auenbach verläuft die einzige Verbindungsstrasse durch das Auental. Um die Funktionsfähigkeit der Infrastruktur und die Sicherheit der Bewohner des Auentals zu gewährleisten waren Sicherungsmaßnahmen betreffend eines möglichen erhöhten Feststofftransportes oder eines Murereignisses zu treffen. Als Sofortmaßnahme wurden Beobachtungsmaßnahmen, die mit einer automatisierten Warnfunktion ausgestattet wurden, zum Schutz der Bevölkerung gesetzt. Dieses passive Warnsystem soll bis zur Umsetzung von derzeit in Planung befindenden aktiven Maßnahmen den Schutz der Bewohner vor Muren sicherstellen.

BEOBACHTUNGSMASSNAHMEN

Vorerst wurde die Funktionsfähigkeit der Infrastruktur im Mündungsbereich des Riegerbaches durch periodische Beobachtung (Begehungen) des Bereichs der Mur-, Schuttstrom- und Rutschungsmassen etwa alle 12 Stunden gewährleistet.

Da dieses System sowohl keine kontinuierliche Beobachtung als auch keine kurze Vorwarnzeit aufweist, wurde vom Institut für Alpine Naturgefahren – BOKU Wien in Zusammenarbeit mit Ott-Hydrometrie ein automatisiertes Beobachtungs- und Warnsystem entwickelt und installiert. Dieses System stellt sowohl eine sofortige Sperre der Straße im Mündungsbereich des Riegerbaches als auch eine sofortige Information der zuständigen Behörden über etwaige Bewegungen des im Bett des Riegerbaches lagernden Murmaterials sicher.

Aufbau des Beobachtungs- und Warnsystems

An einem Querprofil, etwa 600 stromaufwärts des Mündungsbereiches werden die Bewegungen des dort lagernden Murmaterials automatisch registriert. Hierfür wurde ein Seil in einer maximalen Höhe von etwa 5 m entlang des Querprofils horizontal gespannt. Da nur eine Beobachtungsstelle entlang des Querprofils nicht als repräsentativ angenommen wurde, wurden in einem Abstand von etwa 2 m Schalter (Abb. 8) an dem Seil fixiert. An diesen Schaltern wurde jeweils ein bis zur Geländeoberkante vertikal hängender Draht angebracht (Abb. 6). Jeder hängende Draht ist jeweils mit einem etwa 1 m langen Holzpfahl verbunden. Die Holzpfähle liegen entlang des Querprofils auf dem zurzeit ruhenden Murmaterial (Abb. 7).

Die Schalter sind mit einem Datenlogger, der an einem Gebäude außerhalb des Gefahrenbereichs des Riegerbaches befestigt ist, verbunden. Dieser Datenlogger wiederum ist mit einer Verkehrsampelanlage (Abb. 9) im Mündungsbereich des Riegerbaches und mit einer GSM- und Emailsendeinheit verbunden. Die Ampelanlage besteht aus zwei Ampeln, die in beide Richtungen der Verbindungsstraße vor dem Mündungsbereich installiert sind.



Abb. 6: Horizontales Seil, Schalter und vertikale Drähte
Fig. 6 Connecting wires and hanging switches



Abb. 7: Holzpfähle, vertikale Drähte
Fig. 7: Piles with hanging wires



Abb. 8: Schalter
Fig. 8: Switches



Abb. 9: Ampelanlage
Fig. 9: Traffic Light

Funktion des Beobachtungs- und Warnsystems

Bei Bewegung eines Holzpfehles wird der jeweils verbundene Schalter ausgelöst. Im Falle der Auslösung von einem Schalter werden ein Signal via GSM und ein Email an die lokale Bezirksverwaltung vom Datenlogger gesendet. Im Falle der Auslösung von zwei Schaltern erfolgt zusätzlich zur Information der Bezirksverwaltung eine Schaltung der an der Straße installierten Ampelanlage auf rot. Die Bewohner des Auentals werden dadurch dazu angehalten, von einer Durchfahrt durch das sich im Einflussbereich eines eventuellen Murenabganges befindende Mündungsgebiet Abstand zu nehmen. Dadurch wird die Gefahr der Verletzung von Menschen oder gar der Verlust von Menschenleben vermindert.

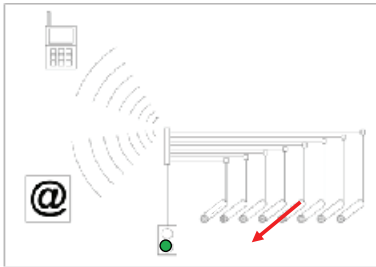


Abb. 10: Funktionsschema Warnsystem: bei Bewegung von einem Holzpfehl

Fig. 10: Warning System (scheme) by movement of one pile

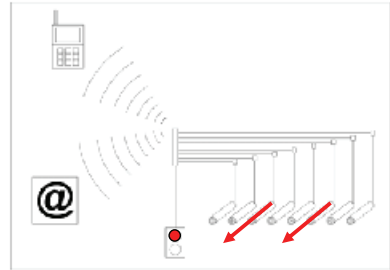


Abb. 11: Funktionsschema Warnsystem bei Bewegung von zwei Holzpfehlen

Fig. 11: Warning System (scheme) by movement of two piles

Durch die Errichtung des beschriebenen Warnsystems konnte eine wirksame Sofortmaßnahme errichtet werden. Planung und Ausführung für konstruktive Maßnahmen stehen im Besonderen unter dem Eindruck von geschehenen und künftigen Extremereignissen unter Zeitdruck. Demgegenüber können sich die Phasen von Grundlagerhebungen für Planungsprozesse sowie die Planungsprozesse selbst sehr zeitintensiv gestalten. Mit Installation eines temporären Warnsystems können durch einen gewissen Zeitgewinn die Rahmenbedingungen für qualitativ hochwertige Untersuchungen und Planungen gesteigert werden.

KONSTRUKTIVE MASSNAHMEN

Gleichzeitig mit der Installation des Beobachtungssystems begann der Planungsprozess für konstruktive Maßnahmen im Rotationsschollen-, Schuttstrom- und Murenbereich.

Diese aktiven konstruktiven Maßnahmen sollen das zurzeit in Betrieb befindende passive Warnsystem innerhalb der nächsten 3 Jahre ersetzen.

Konstruktive Maßnahmen im Rotationsschollen- und Schuttstrombereich

In diesen Bereichen ist die Errichtung von zwei Drainagesystemen geplant:

Von der Stirnseite des Schuttstromes hangaufwärts (unmittelbar oberhalb der Geländekante und des Überganges Schuttstrom/Mure) soll eine, im Grundriss Y-förmige Entwässerung den Porenwasserdruck innerhalb der Rutschungsmasse herabsetzen, um diese zu entlasten und zu stabilisieren. Um sich etwaigen Bewegungen innerhalb der Schuttstrommassen anpassen zu können, wird das Entwässerungssystem in diesem Bereich mit Blockwurf gefüllt und mit Sickergebebe gesicherten Gräben ausgeführt (Abb. 12 rechts).

An der Südostseite der Rotations- und Schuttstrommassen, entlang einer Linie von mehreren Quellaustritten mit Schüttungen von bis zu etwa 7 l/s, sollen die dort auftretenden Oberflächen- und Sickerwässer in einer Linienentwässerung gesammelt und geordnet abgeführt werden. Da in diesem Bereich sowohl kaum Bewegungen zu erwarten sind als auch größere Wassermengen abzuführen sind, wird das Entwässerungssystem mit einem mit Sickergebebe ummantelten Sickerkiesgraben, einer Drainageleitung und etwa alle 20 m angeordneten Revisionsschächten ausgeführt (Abb.12 links).

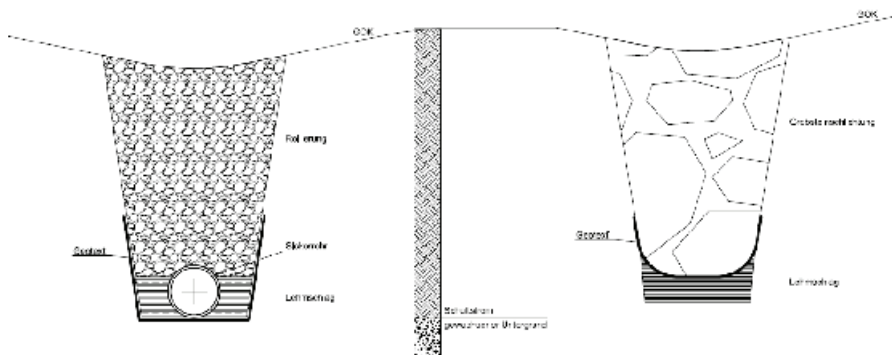


Abb. 12: Regelschnitte Entwässerungsmaßnahmen Südostseite Schuttstrom (links), Schuttstromstirn (rechts)
Fig. 12: Standard sections drainage measures: Earth flow southeast (left), Earth flow front (right)

Konstruktive Maßnahmen im Mündungsbereich

Zum Rückhalt von Lockermassen bei künftigen Ereignissen soll ein Murbrecher errichtet werden. An den Aussenseiten soll der Murbrecher in einen Erddamm eingebunden werden. Aufgrund des Erddamms in seiner Funktion als Durchflussbarriere werden Wasser- und Feststoffmassen durch die Öffnungen im Murbrecher gezwungen und die Feststoffe im Rückhalteraum abgelagert.

Nach derzeitigem Planungsstand soll der Murbrecher durch zwei Scheiben und die seitlichen Wangen in drei Felder mit einer lichten Weite von 1,50 m gegliedert sein. Zum Rückhalt von Geschiebe und Unholz werden in die Felder horizontale Walzprofile, deren Vertikalabstand mit der Höhe zunimmt, eingebaut. Mit geplanter Befestigungskonstruktion kann der Vertikalabstand der Profile nachträglich jederzeit variiert werden (Abb. 13).

Standort A:

Als erster Standort für den Murbrecher wurde der Riegergraben etwa 200 m oberhalb des Mündungsbereiches festgelegt. Nach Errichtung dieses Sperrbauwerkes ergäbe sich bei vorhandener Topographie ein maximal möglicher Rückhalteraum für Geschiebe und Unholz von etwa 25.000 – 30.000 m³.

Nach ersten geotechnischen Untersuchungen (Baggerschürfe und Kernbohrungen) musste jedoch festgestellt werden, dass aufgrund der am Standort 200 m oberhalb der Mündung des Riegerbaches vorhandenen Untergrundverhältnisse keine ausreichende Standsicherheit für den geplanten Murbrecher zu erwarten sei.

Standort B:

Nach derzeitigem Stand soll der projektierte Murbrecher etwa 100 m unterhalb der Mündung des Riegerbaches im Auengraben errichtet werden. Im Vergleich zu Variante A können an diesem Standort größere Rückhalteräume genutzt werden. So kann durch Nutzung des Bereichs unmittelbar oberhalb der Mündung des Riegerbaches der Rückhalteraum im Riegergraben annähernd verdoppelt werden. Durch eine zusätzliche Nutzung von Rückhalteräumen im Bereich des Auengrabens kann von einem gesamten Rückhalteraum für Geschiebe und Unholz bei Standort B von etwa 60.000 bis 80.000 m³ ausgegangen werden.

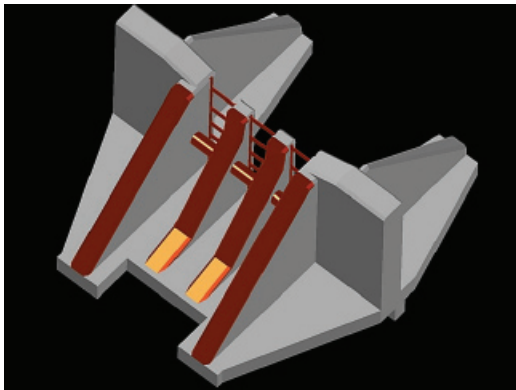


Abb. 13: Murbrecher (Animation)
Fig. 13: Debris Flow Braker (animation)

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das sich zurzeit in Betrieb befindende Beobachtungs- und Warnsystem hat sich seit seiner Installation im Jahr 2005 bewährt. Nach bisherigen Erkenntnissen kann dieses System bei Bedarf auch anderenorts als Sofort- bzw. temporäre Maßnahme errichtet werden. Vorerst bleibt dieser Einrichtung allein der Einsatz als temporäre Maßnahme vorbehalten weil die rechtliche Situation von Warnsystemen in Österreich noch ungeklärt ist (Haftungsansprüche etc.).

Die geplante Errichtung der aktiven Maßnahmen (vor allem des Murbrechers im Mündungsbereich) ist finanziell aufwendig. Eine Realisierung dieses Projektes kann nur

erfolgen, wenn der Nutzen dadurch gesteigert wird, dass in einer Kosten-Nutzen-Analyse auch Objekte außerhalb des Kompetenzbereiches der Wildbach- und Lawinenerhaltung (WLW) im Kompetenzbereich der Bundeswasserbauverwaltung (BWV) mitberücksichtigt werden.

Etwa 6 km flussab der Mündung des Riegerbaches, unmittelbar nach der Kompetenzgrenze WLW / BWV, befindet sich entlang des Auenbaches die Siedlung Auen. Etwa weitere 4 km flussab liegt die Bezirkshauptstadt Wolfsberg mit etwa 30.000 Einwohnern.

Unter der für eine positive Kosten-Nutzen-Analyse erforderlichen Miteinbeziehung der unterhalb der Kompetenzgrenze liegenden Objekte (Auen, Wolfsberg) ergibt sich für den möglichen Standort B ein weiterer Vorteil:

Aufgrund der Lage des Rückhalteraumes im Auenbach können im Falle eines Großereignisses über die Filterung der Feststoffe aus dem Einzugsgebiet des Riegerbaches hinaus auch Feststoffe aus dem Einzugsgebiet des Auenbaches an dieser Sperre retiniert werden. Nach Errichtung eines Sperrenbauwerkes erfahren die unterliegenden Bereiche bei einem Großereignis eine Verminderung der Hochwasserwelle. An Standort B ist diesbezüglich ein Doppelnutzen des Sperrenbauwerkes gegeben. So können sowohl die aus dem Ereignis 2005 ruhenden Lockermassen als auch Feststoffe aus dem Einzugsgebiet des Hauptbaches zurückgehalten werden.

LITERATUR

- Bäk, R. (2005): „Geol.Stellungnahme Rutschung im Bereich KG Preims. Anwesen Erwin Baumgartner vlg. Holsteiner, Oberleidenberg 100, 9412 St.Margarethen“. Amt der Kärntner Landesregierung UA Geologie und Bodenschutz, Klagenfurt (unveröffentlicht)
- Pirkl, H. (2005): „Massenbewegung Rieger – Wölling; Auenbach / Gemeinde Wolfsberg“. Wien (unveröffentlicht).
- Praschnig, C. (2007): „Grundlagenerhebung für die Gefahrenzonenplanerstellung am Auenbach im Lavanttal“. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien
- Praschnig, C. (2007): „Structural and Nonstructural Measures to control debris flows at Riegerbach catchment, Austria“. EGU General Assembly: Integrated Natural Hazard Protection (floods and mass movement): Structural and nonstructural measures - state-of-the-art: Poster Nr. 2007-A-03452
- Weissenbach, N. & Pistotnik, J. (2000): „Geologische Karte der Republik Österreich M1:50.000, Blatt 187 - Bad Sankt Leonhard im Lavanttal“. Geologische Bundesanstalt, Wien

HOCHWASSER UND SEDIMENTTRANSPORT WÄHREND DES UNWETTERS VOM AUGUST 2005 IN DER SCHWEIZ

FLOOD EVENTS AND SEDIMENT TRANSPORT DURING THE RAIN-STORM OF AUGUST 2005 IN SWITZERLAND

Dieter Rickenmann¹, Lukas Hunzinger², Anja Koschni¹

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die hohen Abflüsse und teilweise sehr hohen transportierten Feststofffrachten während des Hochwassers im August 2005, kam es in der Schweiz an vielen Orten zu grossen Schäden durch Überschwemmungen, Übersarungen oder Murgänge. Hohe Feststofftransporte in Form von Geschiebe und Schwemmholz traten hauptsächlich in den Bergregionen auf. Die grösseren Flüsse des Schweizer Mittellandes wiesen hohe Abflüsse auf; der Geschiebetransport spielte dort eine geringere Rolle. An vielen Stellen reichte die Gerinnekapazität nicht mehr aus, um die auftretenden Abflüsse innerhalb des Bachbettes abzuführen. Die beobachteten Geschiebefrachten sind ab Gerinnegefällen von mehr als 5% deutlich geringer als die mit einer einfachen Geschiebetransportformel berechneten Werte. Mögliche Gründe dafür sind bedeutende Formverluste, welche die für den Geschiebetransport verfügbare Abflussenergie vermindern, sowie eine beschränkte Geschiebeverfügbarkeit in steileren Gerinnen.

Keywords: Hochwasser, Feststofftransport, Erosion, Ablagerung

ABSTRACT

The flood events of August 2005 in Switzerland were associated with high water discharges and very high transported sediment loads in some channel reaches. This caused large damage in many places due to flooding, sediment deposition, debris flows, and woody debris. High sediment transport occurred primarily in mountain regions where intense bank and channel bed erosion was observed, and where deposition of sediment and woody debris also occurred outside of the channel. The larger rivers of the Swiss plateau had high flow discharges but sediment transport played only a minor role. In many places the channel conveyance capacity was too small in comparison to the high discharges. For channel reaches steeper than about 5% observed bedload volumes are significantly smaller than values calculated with a simple bedload transport equation. Possible reasons for this discrepancy are large form resistance losses, which reduce the flow energy available for sediment transport, and limited sediment availability in steeper streams.

Keywords: Flood, sediment transport, erosion, deposition

¹ Swiss Federal Research Institute (WSL), Mountain Hydrology and Torrents, Birmensdorf, Switzerland; rickenmann@wsl.ch

² Schälchli, Abegg + Hunzinger, dipl. Ing. ETH / SIA, River engineering, Bern, Switzerland; sah.be@flussbau.ch

EINLEITUNG

Durch die hohen Niederschläge vom 21.–23. August 2005 führten die meisten Fließgewässer entlang des Alpennordhangs Hochwasser. In Wildbächen und Gebirgsflüssen oberhalb der Alpenrandseen dominierten hohe Abflüsse mit starkem Geschiebetransport und mit Seitenerosion während in den grossen Flussläufen des Mittellandes außerordentliche Abflüsse beobachtet wurden, der Geschiebetransport aber weniger bedeutend war (Abb. 1). In allen Gewässern wurden große Mengen an Schwemmholz transportiert, welches Brücken und Wehre verkleaste.

Insgesamt kann gesagt werden, dass die Gewässer mit den hohen Abflüssen und grossen Feststoffumlagerungen im Wesentlichen in den Gebieten der intensivsten Niederschläge zu finden waren.

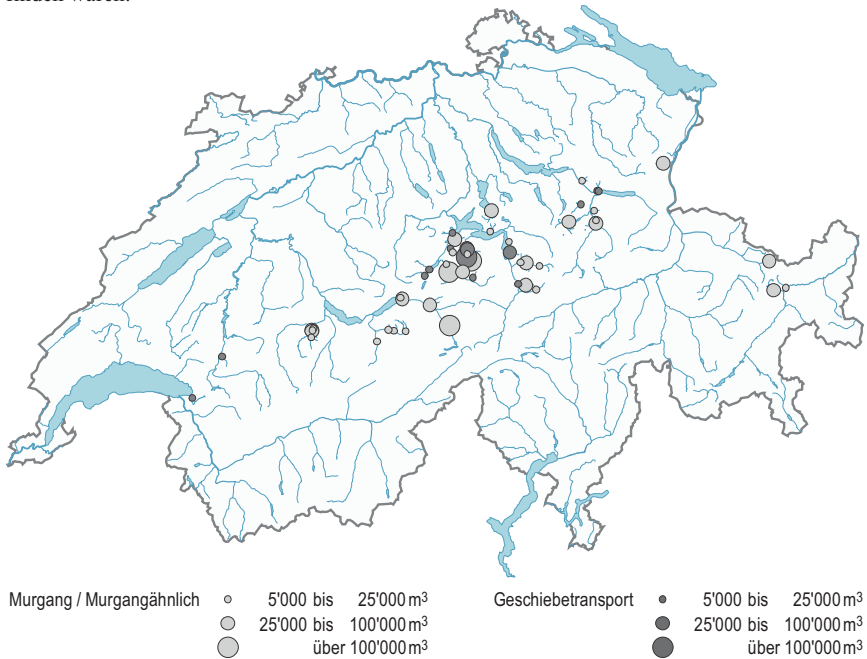


Abb. 1: Ort und Grösse der Murgang- und Geschiebetransport-Ereignisse während des Hochwassers 2005 in der Schweiz.

Fig. 1: Location and magnitude of sediment transport and debris flow events during the floods of August 2005 in Switzerland.

Für die Analyse der Gerinneprozesse wurde eine Datenbank mit etwa 80 Einzelereignissen angelegt, bei welchen u.a. Angaben zur Art der abgelaufenen Prozesse, den Abflussmengen und Feststofffrachten sowie die Charakteristik der Einzugsgebiete erfasst wurden (Rickenmann *et al.* 2007). Sie stützt sich vor allem auf die Ereignisdokumentationen und -analysen der Kantone und Gemeinden sowie auf technische Berichte von Wiederinstandstellungs- und Hochwasserschutzprojekten. Es handelt sich dabei nicht um eine

vollständige Dokumentation, sondern um eine übersichtsmässige Zusammenstellung der relevanten Ereignisse. Es ist möglich, dass einzelne kleine, lokale Ereignisse nicht erfasst worden sind.

Die Fliessgewässer wurden in der Datenbank in die drei Kategorien Wildbäche, Gebirgsflüsse und Talflüsse unterteilt. Die Einteilung erfolgte auf Grund der Einzugsgebietsgrösse und des Längsgefälles des Gerinnes, wodurch auch der unterschiedliche Anteil der Feststoffe im Abfluss charakterisiert wird. Die Grenzen zwischen Wildbach und Gebirgsfluss und zwischen Gebirgs- und Talfluss sind fließend.

Als Wildbäche werden hier die Gewässer bezeichnet, deren Einzugsgebietsgrösse unter 25 km² liegt und deren Längsgefälle mehr als 5 - 10% beträgt. Bei Wildbächen führen Ereignisse der Grössenordnung wie beim Hochwasser 2005 häufig zu Ablagerungen ausserhalb des Gerinnes und damit zu Schäden. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass die meisten dieser Ereignisse auf Grund der von ihnen verursachten Schäden dokumentiert wurden und somit in der Datenbank enthalten sind. Insgesamt wurden etwa 50 Ereignisse in Wildbächen dokumentiert.

Gebirgsflüsse weisen ein Einzugsgebiet von mehr als 25 km² auf und sind massgeblich durch den Geschiebetransport beeinflusst. Ihr Gefälle liegt in der Regel unter 5 - 10%.

Unter der Kategorie Talflüsse werden die flachen Fliessgewässer zusammengefasst, in welchen die Geschiebetransportprozesse nur eine sekundäre Rolle spielen. Es sind vor allem die grossen Flüsse des Schweizer Mittellandes.

GERINNEPROZESSE WÄHREND DES HOCHWASSERS 2005

Murgänge und Geschiebetransport in Wildbächen

Bei den registrierten Wildbachereignissen wurden Feststoffmengen zwischen 5'000 m³ und 500'000 m³ umgesetzt. In 30 der 50 untersuchten Wildbäche wurden die Feststoffe als Murgänge oder in murgangähnlicher Form transportiert. Bei den vier grössten Murgangereignissen wurden Feststoffmengen zwischen 50'000 m³ und 500'000 m³ verfrachtet. Die grössten Frachten mit fluvialem Transport in Wildbächen lagen bei vier Ereignissen zwischen 30'000 m³ und 70'000 m³.

Damit in einem Wildbach ein Murgang ausgelöst werden kann, muss der Niederschlag in seinem Einzugsgebiet bestimmte Schwellenwerte übersteigen. So müssen in den Schweizer Alpen mindestens 40 mm Niederschlag fallen und es ist eine minimale, von der Dauer abhängige Niederschlagsintensität erforderlich (Zimmermann *et al.*, 1997). Diese Bedingungen waren im August 2005 in manchen Einzugsgebieten gegeben. Über den gesamten Hauptniederschlag verteilt, traten bei den Einzugsgebieten, in denen ein Murgang ausgelöst wurde, Intensitäten von 2.5-10 mm/h auf. Abb. 2 zeigt diese im Vergleich zu den jeweiligen Schwellenwerten in Abhängigkeit der Niederschlagsdauer.

Im vom Hochwasser 2005 betroffenen Gebiet gab es auch etliche Wildbäche, welche gar nicht oder nur mittelmässig aktiv waren. Das könnte darauf zurückzuführen sein, dass in ihren Einzugsgebieten die gebietspezifischen kritischen Niederschlagsintensitäten nicht erreicht wurden.

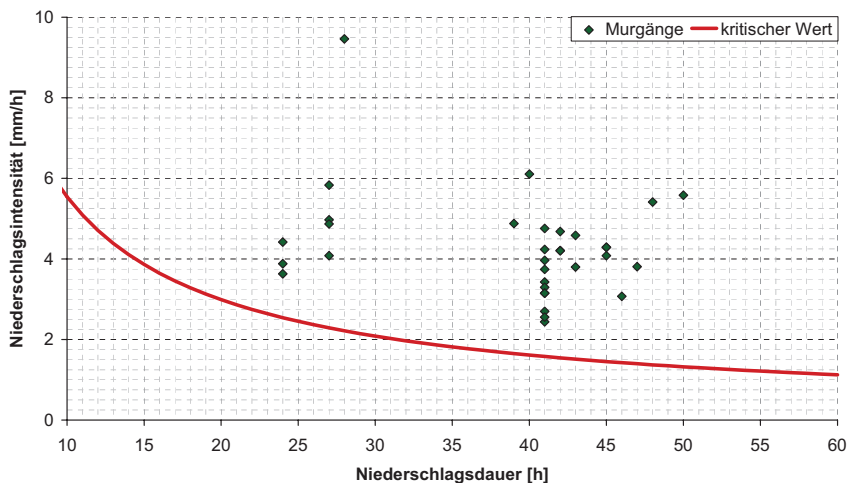


Abb. 2: Mittlere Niederschlagsintensitäten während des Hochwassers August 2005 in den von Murgängen betroffenen Gebieten. Die kritische Grenzlinie für Murgang-Auslösung in der Schweiz ist aus Zimmermann *et al.* (1997).

Fig. 2: Average rainfall intensities during the floods of August 2005 in the catchments affected by debris flows. Also shown is the threshold line for debris flow initiation in Switzerland after Zimmermann *et al.* (1997).

Das grösste Geschiebevolumen wurde mit 500'000 m³ vom Rotlauibach in Guttannen umgelagert. Hier stammt ein grosser Anteil des Geschiebes von der Rutschung Rotlauri. Bei ungefähr der Hälfte aller Murgangereignisse haben Rutschungen oder Hangmuren einen wesentlichen Teil der Feststoffe mobilisiert. In einigen Fällen waren sie die Auslöser zur Bildung der Murgänge. Bedeutende Materialeinträge aus Rutschungen haben möglicherweise auch zu grossen Abflüssen und Beanspruchungen der Sohle in Wildbachgerinnen und dadurch zu massiver Erosion der Bachbetten geführt. Im Weiteren wurden Feststoffe durch Ufer- und Seitenerosion mobilisiert.

Bei vielen Wildbachereignissen wurde Schwemholz mittransportiert, welches mehrheitlich aus Hangrutschungen und aus Uferböschungen stammte, die direkt erodiert wurden oder infolge Sohlenerosion abgerutscht waren.

Geschiebetransport und Seitenerosion in Gebirgsflüssen

Etwa 20 Fliessgewässer oberstrom der Alpenrandseen sind in der Datenbank als Gebirgsflüsse erfasst. Auf Grund der Intensität und der Dauer der Niederschläge traten in vielen Gebirgsflüssen über eine längere Zeitdauer grosse Abflüsse auf. Einige Flüsse, wie z.B. die grosse und kleine Melchaa wiesen Abflussspitzen mit Jährlichkeiten von über 200 Jahren auf. Mit den hohen und lang andauernden Abflüssen war ein intensiver Geschiebetransport mit Geschiebefrachten bis 100'000 m³ und mehr verbunden. Die Feststoffe wurden dabei entweder von den Zuflüssen, d.h. von den Wildbächen, eingetragen oder durch Seitenerosion und Gerinneverlagerung mobilisiert, seltener durch Tiefenerosion.

Die Transportprozesse waren durch intensive Seitenerosionen und Gerinneverlagerungen begleitet. Besonders in den Flussabschnitten mit Auflandungen kam es zu Gerinneverlagerungen, wie z.B. im Chärstelenbach in Bristen oder in der Chirel in Diemtigen. Auf 190 km bzw. 84% der erfassten Gerinnelänge war der Geschiebetransport ein massgeblicher Prozess. Auf gut 200 km bzw. 90% der erfassten Gerinnelänge war es die Seitenerosion. Die beiden Prozesse überlagerten sich auf Gerinneabschnitten mit einer Länge von insgesamt 170 km (74%, Abb. 3).

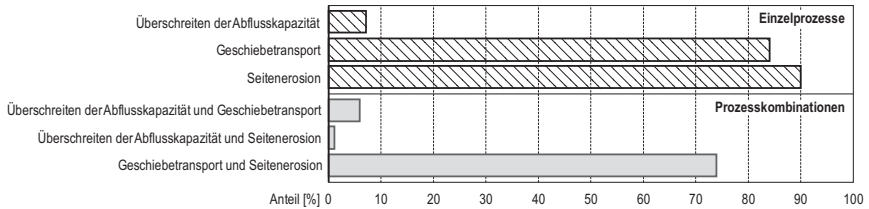


Abb. 3: Beobachtete Gerinneprozesse in Gebirgsflüssen.

Fig. 3: Observed channel processes in mountain rivers.

Wie in den Wildbächen wurde auch entlang von Gebirgsflüssen viel Schwemmholz mobilisiert. Das Schwemmholz stammte hauptsächlich aus Ufererosionen, aus gerinnenahen Hangrutschungen oder es wurde durch Seitenbäche in den Vorfluter eingetragen. Im Kanton Obwalden wurden in den ersten Wochen nach dem Unwetter rund 14'000 m³ Schwemmholz aus Flüssen und Seen entfernt. Etwa die Hälfte davon stammte allein aus der Grossen Melchaa.

Überschreiten der Abflusskapazität und Seitenerosion in Talflüssen

Zu den Talflüssen gehören vor allem die Flüsse im Mittelland und im Napfgebiet, sowie die grossen Vorfluter in den Alpentälern. Aufgenommen wurden in der Datenbank 19 Talflüsse, wobei nur 2 davon durch einen grossen Geschiebetransport auffielen.

Als massgebliche Gerinneprozesse sind bei den Talflüssen vor allem die hohen Abflüsse und die Seitenerosionen zu nennen (Abb.4). In einigen Talflüssen erreichten die Abflussspitzen neue Rekordwerte. Dadurch wurde die Abflusskapazität an vielen Orten überschritten und es kam zu grossflächigen Überflutungen. An einzelnen Stellen wurden Hochwasserschutzdämme überströmt und brachen.

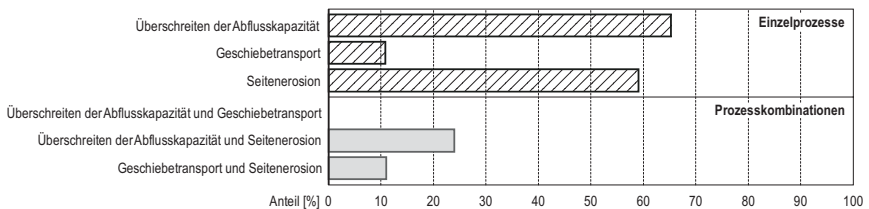


Abb. 4: Beobachtete Gerinneprozesse in Talflüssen.

Fig. 4: Observed channel processes in valley rivers.

Seitenerosion war bei etwa 60% der dokumentierten Gewässerabschnitte ein massgeblicher Prozess. Sie wurde durch die lange Dauer des Ereignisses begünstigt. Einerseits konnte die

Strömung lange Zeit auf die Böschungen einwirken, andererseits waren diese durch die anhaltenden Niederschläge mancherorts aufgeweicht und daher weniger widerstandsfähig. Beobachtet wurde Seitenerosion vor allem in den steileren Talflüssen wie Kander, Simme und Emme. Uferabschnitte von 100 m oder länger wurden zum Teil mehr als 10 m abgetragen. An der Kleinen Emme verlagerte sich das Gerinne um mehr als eine Flussbreite. Lokale Erosionen konnten auch bei einem Rückfluss des Wassers in das Gerinne, nach einem vorherigen Überströmen der Ufer entstehen.

Wie schon bei den Wildbächen und Gebirgsflüssen, kam es auch bei den Talflüssen teilweise zu enormen Schwemmholzansammlungen. In der Aare bei Bern wurde z.B. die Wehranlage im Schwellenmätteli teilweise mit Schwemmholz verlegt, so dass die Aare in der Folge durch das Mattequartier floss.

GEFAHRENPROZESSE UND SCHÄDEN

Wegen geringer Abfluss- und Transportkapazitäten, oft noch begünstigt durch Verkläuerungen, traten mancherorts die Wildbäche über die Ufer und lagerten die Feststoffe flächig ausserhalb der Gerinne ab. Abgelagert wurden sie meist im Kegelbereich. Tendenziell führten Verkläuerungen bei Murgängen dazu, dass angrenzende Strassen mit Geschiebe übersart wurden, während Verkläuerungen bei fluvialen Geschiebetransport eher Erosionsprozesse auslösten.

Die Gefahrenprozesse in Gebirgsflüssen wurden hauptsächlich durch Ufererosionen und Gerinneverlagerung sowie durch Geschiebeablagerungen und Verkläuerungen bei Brücken ausgelöst. Als Folge von Ablagerungen im Gerinne oder Verkläuerungen traten die Gewässer über die Ufer und überschwemmten und übersarten Siedlungsräume oder Kulturland. Die dynamischen Überflutungen erreichten mittlere bis hohe Intensitäten. An der Kleinen Melchaa in Giswil und anderen Orten konnten Schäden durch künstliche Breschenbildung oder Umleitung des Abflusses in weniger intensiv genutzte Gebiete zum Teil vermindert werden.

Die Talflüsse verursachten Schäden zweierlei Art: Zum einen wurden zahlreiche Gebäude von Überflutungen betroffen, was zu Gebäude- und Mobiliarschäden privater Haushalte und Gewerbebetriebe führte. Zum anderen wurden Uferschutzbauten und Strassen sowie andere, den Gewässern entlang führende Werkleitungen, durch Ufererosion beschädigt oder zerstört. Davon war meistens die öffentliche Hand betroffen.

FESTSTOFFFRACHTEN UND ABFLUSSVERHÄLTNISSE

Vorgehen

In der Ereignisdatenbank sind Angaben zu den transportierten Feststofffrachten (*GF*) vor allem für Ereignisse und Gerinneabschnitte in Wildbächen und Gebirgsflüssen aufgeführt. Die Schätzungen dieser Feststofffrachten beruhen auf Kartierungen der Ablagerungen (z.B. bei Übersarungen der Wildbachkegel), auf Rückhaltevolumen von gefüllten Geschiebesammlern, auf Auswertungen topographischen Daten aus Luftbildern und LiDAR Befliegungen sowie auf Angaben zu Lastwagenfahrten beim Räumen der Ablagerungen. Bei den Angaben für einige grössere Flüsse wurde angenommen, dass rund 50% der

Ablagerungen aus Feinmaterial bestanden. Dieser Anteil ist für die nachfolgenden Vergleiche in den hier verwendeten Werten für *GF* nicht enthalten, da sich diese auf das Grobgeschiebe beziehen. Die Genauigkeit der Angaben zu den transportierten Feststofffrachten ist unterschiedlich. Für die vorhandenen Daten muss von einer Unsicherheit im Bereich von einem Faktor von etwa 1.3 bis 2.0 ausgegangen werden.

Für die weiteren Analysen wurden für jedes erfasste Gewässer die folgenden Parameter bestimmt: Fläche des Einzugsgebietes (oberhalb des Ortes mit Angaben zur transportierten Feststofffracht), charakteristische Gerinnegefälle sowie die Abflussfracht während des Hochwasserereignisses. Weil nur in wenigen Fällen eine gemessene Abflussganglinie vorliegt, wurde die Abflussfracht in den Gerinnen über Niederschlagsdaten abgeschätzt. Das charakteristische Gefälle bezieht sich auf eine so genannte Schlüsselstrecke, also auf jenen Gerinneabschnitt mit dem geringsten Gefälle, bei welchem die bekannte Feststofffracht durchtransportiert wurde.

Ziel dieses Teils der Untersuchungen ist ein Vergleich der beobachteten Feststofffrachten mit einfachen Berechnungen. Dabei geht es um einen Vergleich von Grössenordnungen und um das Erkennen von Trends.

In den Untersuchungen wurde zwischen den beiden Hauptprozessen fluvialer Transport (in den Gebirgsflüssen, Wildbächen und z.T. Talflüssen) sowie Murgängen unterschieden. Murgänge traten nur in Wildbächen auf. In einigen Fällen war eine Unterscheidung zwischen den beiden Prozessen nicht ganz eindeutig. Die Klassierung erfolgte dann nach dem vermuteten dominanten Prozess.

Niederschlagsdaten

Die MeteoSchweiz stellte für die Analyse der Niederschläge des Hochwassers 2005 Niederschlagsdaten zur Verfügung, die zum einen mit Regenmessstationen und zum anderen mit den drei Schweizer Radarsensoren erstellt wurden. Die Daten der Messstationen stehen als Tagessummen in einem 2 km-Raster flächendeckend für die ganze Schweiz zur Verfügung. Dazu wurden die Messungen der 482 Schweizer Niederschlagsstationen räumlich gewichtet und über die Fläche der gesamten Schweiz interpoliert. Die interpolierten Niederschlagssummen haben im Mittelland eine Lagegenauigkeit von etwa 10-15 km, im Gebirge eine solche von etwa 15-20 km. Ebenfalls flächendeckend, jedoch im 1 km-Raster und als Stundenwerte, liegen die Daten der drei Schweizer Radarstationen vor. Die Radarstationen messen in einem Umfeld von jeweils 130 km und zeigen grundsätzlich nur die Intensität der Niederschläge an. Sie wurden daher an die Niederschlagssammler der Schweiz angeeicht. Ausserdem wurden Korrekturmodelle zur Unterdrückung des Bodenechos angewendet. Die Niederschlagsintensitäten in den Regionen, in denen ein Berg das Radarecho abschirmt, wurden mittels Messungen in der Höhe und einer dazugehörenden Profilkorrektur bestimmt. Genauere Ausführungen können dem Arbeitsbericht der MeteoSchweiz (2006) entnommen werden.

Da es sich bei den Ermittlungen der Niederschläge um zwei grundsätzlich verschiedene Vorgehensweisen handelt, sind Unterschiede nicht ausgeschlossen. Für die betrachteten Einzugsgebiete und die 3-tägige Hauptniederschlagsperiode ergeben sich mit den Radarbasierten Werten im Durchschnitt rund 15 % geringere mittlere Gebietsniederschläge als mit den Werten der Niederschlagsstationen, wobei die Unterschiede mit zunehmender Einzugsgebietsgrösse abnehmen.

Schätzung der Abflussfrachten

Mit den Niederschlagsdaten wurden für zwei unterschiedliche Zeiträume des Ereignisses die Abflussvolumina für jeden betrachteten Gewässerabschnitt bestimmt. Die Niederschläge wurden über die Dauer des Ereignisses und die Fläche der Einzugsgebiete aufsummiert und mit einem Abflusskoeffizienten abgemindert. Als erste Näherung für die Volumenabflusskoeffizienten wurden Werte zwischen 0.41 und 0.86 verwendet, wie sie von Eberhard *et al.* (2007) für die Periode vom 18. August 2005 12:00 Uhr bis zum 23. August 2005 12:00 Uhr in Einzugsgebieten mit Abflussmessstationen bestimmt wurden (mit $A_{EG}=45$ bis 800 km^2 für die hier verwendeten Abflusskoeffizienten).

Eine obere Grenze der Wasserfracht V_{wg} wurde für die Periode vom 20. August 2005 8:00 Uhr bis zum 23. August 2005 8:00 Uhr (Periode des Hauptniederschlages) mit dem Niederschlag basierend auf den Stationsdaten bestimmt.

Eine untere Grenze der Wasserfracht V_{wp} wurde für jene Einzugsgebiete ermittelt, für welche in der Niederschlagsganglinie der oben genannten Periode zwei unterschiedliche Phasen des Niederschlags identifiziert werden konnten. Unter der Annahme, dass die erste Phase der Niederschläge vor allem zur Bodensättigung beigetragen hat, und die zweite Phase vor allem zum Abfluss, wurden nur die Niederschläge der jeweils zweiten Phase aufsummiert, wobei hier die Radar-basierten Werte verwendet wurden.

Spezifische Feststofffrachten

In Abb. 5 sind die spezifischen beobachteten Feststofffrachten, SGF , normiert mit der Fläche des Einzugsgebietes (A_{EG}), in Abhängigkeit des Gerinnegefälles in der Schlüsselstrecke (J) dargestellt. Es ist erkennbar, dass SGF beim fluvialen Geschiebetransport mit J zunimmt. Bei den Murgängen ist kein klarer Trend zu erkennen (auch wenn die Regressionslinie einen ähnlichen Trend andeutet). Weiter fällt auf, dass die spezifischen Feststofffrachten für ein gegebenes Gerinnegefälle bei Murgängen im Durchschnitt rund 4- bis 5-mal höher waren als bei den Fällen mit fluvialen Feststofftransport.

Einfache Formeln zur Berechnung des Sedimenttransports

Die beobachteten Feststofffrachten wurden mit einem einfachen Ansatz zur Beschreibung des Geschiebetransportes verglichen. Der Geschiebetransport in Wildbächen und Gebirgsflüssen kann mit folgender Formel beschrieben werden (Rickenmann, 2001):

$$Q_b = 1.5 (Q - Q_c) J^{1.5} \quad (1)$$

Dabei ist Q_b die Geschiebetransportrate [m^3/s] über die ganze Gerinnebreite, Q ist der Abfluss, Q_c der kritische Abfluss bei Transportbeginn und J das Gerinnegefälle. Gleichung (1) beruht hauptsächlich auf Laboruntersuchung zum Geschiebetransport, ist aber sehr ähnlich zu einem Ansatz von Schoklitsch (1962), welcher sich auch auf Feldmessungen abstützt. Zur Berechnung der Geschiebefracht (G_b) kann Gleichung (1) über die Dauer eines Hochwasserereignisses integriert werden und es ergibt sich:

$$G_b = 1.5 V_w J^{1.5} \quad (2)$$

Dabei entspricht V_w der effektiven Abflussfracht [m³], und G_b [m³] bezeichnet das transportierte Geschiebevolumen (ohne Porenräume). Der Anteil der Abflussganglinie unterhalb des Grenzabflusses wurde vernachlässigt. In Anbetracht der unsicheren Werte der beobachteten Feststofffrachten und in der Annahme dass in vielen Fällen $Q \gg Q_c$ ist, ist die Vernachlässigung des Einflusses von Q_c vertretbar.

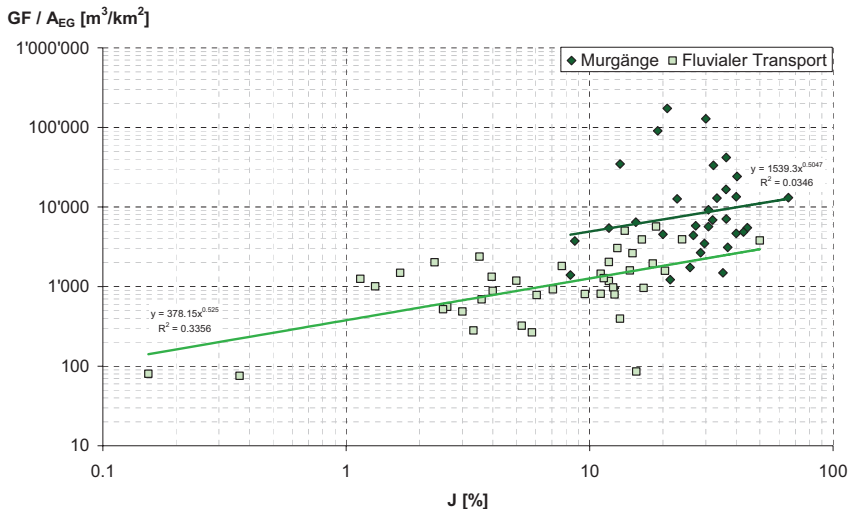


Abb. 5: Spezifische Geschiebefracht in Bezug zum Gerinnegefälle in der Schlüsselstrecke.

Fig. 5: Sediment yield per unit catchment area in relation to the minimum channel slope upstream of the point of major sediment deposition.

Bei den mit Gleichung (2) berechneten Sedimentfrachten handelt es sich um Material, das als Geschiebe transportiert wurde. Die hier verwendeten Werte der beobachteten Feststofffrachten (GF) beziehen sich auf das Grobgeschiebe und beinhalten grundsätzlich auch das Porenvolumen innerhalb des abgelagerten (bzw. erodierten) Sedimentes. Für den Vergleich wird ein mittleres Porenvolumen von 30% angenommen. Nach Gleichung (2) können dann die Feststofffracht wie folgt berechnet werden:

$$GF = 1.95 V_w J^{1.5} \quad (3)$$

Vergleich der beobachteten Geschiebefrachten mit einer Sedimenttransportformel

Abb. 6 zeigt die beobachteten Geschiebefrachten (GF), normiert mit der oberen Grenze der relevanten Abflussfracht (V_{wp}), in Bezug zum Gerinnegefälle in der Schlüsselstrecke (J), und im Vergleich mit der einfachen Geschiebetransportformel (3). Für Gerinnegefälle bis etwa 4% liegen die Daten in der Nähe der Linie der Geschiebetransportformel (3). Für Gefälle grösser als etwa 4 bis 6% zeigt sich, dass die Berechnungen von GF mit (3) für fluvialen Geschiebetransport zu einer deutlichen Überschätzung der beobachteten Frachten führt. Bei den Murgängen liegt ein Teil der Daten im Trend derjenigen für fluvialen Transport, während

ein anderer Teil der beobachteten Frachten um die Linie der Geschiebetransportformel (3) streut.

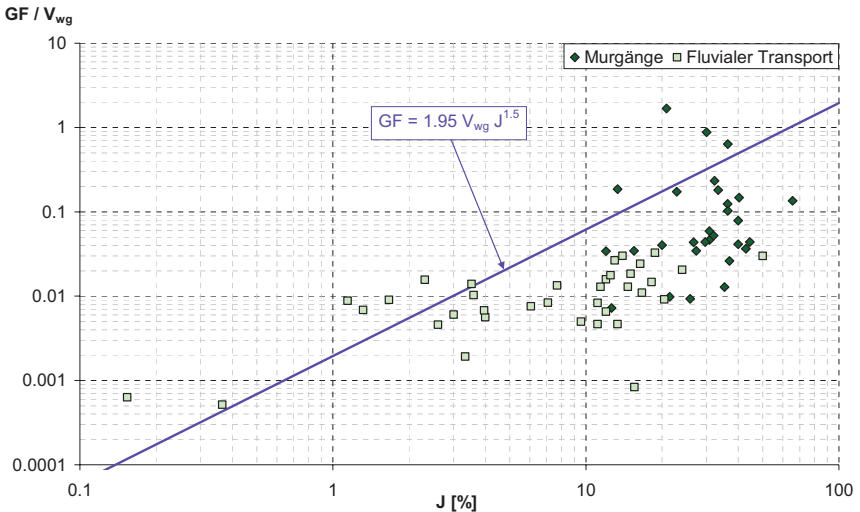


Abb. 6: Beobachtete Geschiebefrachten (GF), normiert mit der oberen Grenze der relevanten Abflussfracht (V_{wg}), in Bezug zum Gerinnegefälle in der Schlüsselstrecke (J), und im Vergleich mit der einfachen Geschiebetransportformel (3).

Fig. 6 Observed sediment load (GF), normalised with the upper value of the relevant runoff volume (V_{wg}), in relation to the channel slope (J) of the critical reach relevant for fluvial bedload transport, and in comparison with the simple bedload transport equation (3).

Zum Vergleich mit der Abb. 6 wurde in Abb. 7 im Sinne einer unteren Grenze für die Abschätzung der relevanten Abflussfracht der Wert V_{wp} verwendet. Die Datenpunkte liegen generell etwas höher, aber es gelten grundsätzlich ähnliche Feststellungen wie bei Abb. 6. Die Geschiebefrachten bei fluvialem Transport werden mit zunehmendem Gerinnegefälle ab ca. 4% bis 6% deutlich überschätzt.

Ein wichtiger Grund für die Differenzen zwischen beobachteten und berechneten Geschiebefrachten bei Gerinnegefällen grösser als etwa 5% dürfte sein, dass mit der einfachen Geschiebetransportformel die verfügbare Abflussenergie überschätzt wird, weil z.T. bedeutende Verluste des Fliesswiderstand infolge von Formverlusten durch ausgeprägte Sohlstrukturen und grobe Blöcke nicht berücksichtigt werden. Ein anderer wichtiger Grund für die Abweichungen dürfte die oft beschränkte Geschiebeverfügbarkeit in steileren Gerinnen sein, welche dazu führt, dass die Transportkapazität nicht ausgeschöpft werden kann. Diese möglichen Einflussfaktoren sind in der Sedimenttransportforschung schon länger bekannt. Eine Quantifizierung der Formverluste ist aber schwierig. Ansatzweise konnten diese Verluste anhand von Beobachtungen zum Geschiebetransport bei vorwiegend kleineren Abflussintensitäten beschrieben werden (Rickenmann, 2001, 2005). Zur Quantifizierung der Formverluste in steilen Gerinnen bei Hochwasser gibt es aber bisher kaum Untersuchungen (Rickenmann *et al.*, 2006). In diesem Sinne sind die Daten zu den Hochwassern vom August 2005 in der Schweiz eine wertvolle Grundlage für weitere Untersuchungen.

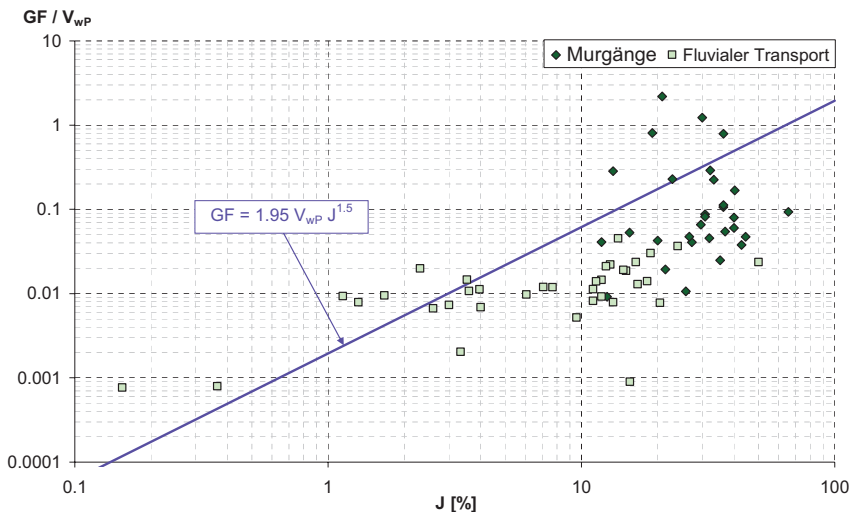


Abb. 7: Beobachtete Geschiebefrachten (GF), normiert mit der unteren Grenze der relevanten Abflussfracht (V_{wp}), in Bezug zum Gerinnegefälle in der Schlüsselstrecke (J), und im Vergleich mit der einfachen Geschiebetransportformel (3).

Fig. 7: Observed sediment load (GF), normalised with the lower value of the relevant runoff volume (V_{wp}), in relation to the channel slope (J) of the critical reach relevant for fluvial bedload transport, and in comparison with the simple bedload transport equation (3).

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Insgesamt waren im August 2005 relativ wenig Murgangereignisse zu verzeichnen, was darauf zurückzuführen sein könnte, dass die gebietsspezifischen Niederschlagsschwellwerte zur Auslösung von Murgängen nur in vereinzelt Gebieten erreicht oder überschritten wurden.

Praktisch alle Gebirgsflüsse im Niederschlagsgebiet verzeichneten einen hohen Feststofftransport und starke Seitenerosion. Ihre Abflusskapazität war in der Regel nicht ausgeschöpft. Allerdings führten Geschiebeablagerungen und Verkläusungen dazu, dass die Abflusskapazität örtlich überschritten und angrenzende Gebiete überflutet wurden.

In den Talflüssen waren die Überschreitung der Abflusskapazität und die Seitenerosion die massgeblichen Gerinneprozesse. Bei den Talflüssen flussabwärts der Alpenrandseen führten, trotz der ausgeprägten Dämpfung des Abflusses durch die Seen, primär Überflutungen zu Schäden. Im Gegensatz dazu wurden die Schäden entlang der Talflüsse oberhalb der Seen vornehmlich durch Seitenerosion verursacht.

Die bei den Hochwassern vom August 2005 in der Schweiz beobachteten Geschiebefrachten sind ab Gerinnegefällen grösser als etwa 5% deutlich geringer als die mit der einfachen Geschiebetransportformel (3) berechneten Werte. Dies dürfte unter anderem daran liegen,

dass mit der einfachen Geschiebetransportformel die verfügbare Abflussenergie überschätzt wird, weil z.T. bedeutende Verluste des Fließwiderstandes infolge von Formverlusten durch ausgeprägte Sohlstrukturen und grobe Blöcke nicht berücksichtigt werden. Zur Quantifizierung solcher Formverluste in steilen Gerinnen bei Hochwasser stellen die vorhandenen Daten eine wertvolle Grundlage für weitere Untersuchungen dar. Ein anderer wichtiger Grund für die Diskrepanzen bei Gerinnegefällen grösser als etwa 5% kann die beschränkte Geschiebeverfügbarkeit in steilen Bächen sein.

LITERATUR

- Eberhard, A., Diezig, R., Kann, C. & Cosandey, A.-C. (2007): Hydrologie Fließgewässer. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1 - Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 39-70.
- MeteoSchweiz (2006): Starkniederschlagsereignis August 2005. Arbeitsbericht der MeteoSchweiz 211, 63 p.
- Rickenmann, D. (2001): Comparison of bed load transport in torrents and gravel bed streams. *Water Resources Research*, 37(12): 3295-3305.
- Rickenmann, D. (2005): Geschiebetransport bei steilen Gefällen. In: Tagungspublikation zu VAW 75 Jahre, Festkolloquium 7. Oktober 2005, Mitteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich, Nr. 190, pp. 107-119.
- Rickenmann, D., Chiari, M., Friedl, K. (2006): SETRAC – A sediment routing model for steep torrent channels. In R. Ferreira, E. Alves, J. Leal & A. Cardoso (eds), *River Flow 2006*, Taylor & Francis, London, pp. 843-852.
- Rickenmann, D., Hunzinger, L., & Cosandey, A.-C. (2007): Gerinneprozesse. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1 - Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 163-180.
- Schoklitsch, A. (1962): *Handbuch des Wasserbaus*. 3. Ausgabe, Springer Verlag, Wien.
- Zimmermann M., Mani, P., Gamma, P. (1997): Murgangefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz. Schlussbericht NFP 31, Zürich.

ABLAGERUNGSVERHALTEN UND REICHWEITEN ALPINER MURGÄNGE

DEPOSITIONAL CHARACTERISTICS AND RUNOUT OF ALPINE DEBRIS FLOWS

Christian Scheidl¹ und Dieter Rickenmann^{1,2}

ZUSAMMENFASSUNG

Muren stellen seit jeher eine Gefährdung für die Bevölkerung und deren infrastrukturelle Einrichtungen in den Alpen dar. Bei Wildbachprozessen, wie fluviatile bis murartige Feststofftransporte, oder Murgängen im eigentlichen Sinn, sind eindeutige Erkennungsmerkmale nicht immer feststellbar. Ziel dieser Untersuchung ist es, basierend auf Analysen historischer Ereignisse, bestehende Methoden zur Abschätzung des Ablagerungsverhaltens zu testen und neue Methoden für die Reichweitenbestimmung von Murgängen zu entwickeln. Ein wichtiger Teil ist der Aufbau einer Datenbank über historische Wildbachereignisse in den Alpen, mit Schwerpunkt auf dem Ablagerungsvolumen, der Ablagerungsfläche, der Ablagerungsform sowie zusätzlichen topographischen Parametern und Beschreibungen geomorphologischer Phänomene. Insgesamt wurden hier 25 Murereignisse, 10 murartige und 17 fluviatile Feststofftransportereignisse aus Österreich und der Schweiz berücksichtigt. Gezeigt werden Zusammenhänge zwischen topologische Kennzahlen des Einzugsgebietes, der Ablagerungsfläche und der Art des Gerinneprozesses. Die gesammelten Daten bestätigen weiters den semi-empirischen Zusammenhang zwischen Ablagerungsvolumen und Ablagerungsfläche.

Keywords: Murgänge, Reichweite, Gefahrenabgrenzung, Wildbachprozesse

ABSTRACT

The immense destructive impact caused by debris flows endangers human lives and infrastructure facilities. Due to their disastrous effect in the fan area, there is a need to better understand and describe the depositional characteristics and runout behaviour of debris flows. For torrential processes there are no simple and universal runout prediction methods. Due to improved event documentations over the last years within the alpine region, more data about debris flow events are now available. The objective of this study is to test existing methods and develop new runout prediction methods for debris flows, using also data of recent debris events.

A first step of the investigation is the acquisition of data about past debris flow and debris flood like events. The database includes information on deposition volume, deposition area,

1 Institut für Alpine Naturgefahren (IAN), Universität für Bodenkultur, Peter-Jordan-Strasse 82, 1190 Wien, Österreich (Tel.: +43-147654-4378; Fax: +43-147654; email: christian.scheidl@boku.ac.at)

2 Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Gebirgshydrologie und Wildbäche, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

shape of the debris-fan, topological parameters and descriptions of geomorphologic features of debris event. Altogether 25 debris flows, 10 debris floods and 17 fluvial sediment transport events of Austria and Switzerland have been used in this study.

We have examined relations between topological parameters of the catchment, deposition area and type of process. This analysis is the basis for improving existing classification schemes to distinguish between different torrential flow processes. The new methodology, mainly based on the observed depositional characteristics, should help to differentiate debris flow events from debris floods and fluvial sediment transport events. Our data also confirm that there is an empirical relationship between the deposition volume and deposition area.

Keywords: debris flows, run out, hazard delineation, torrential processes

EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten hat ein Umdenken im Umgang mit alpinen gefährlichen Prozessen stattgefunden. Zu den „harten“ Verbauungen, wie sie noch in den 70er Jahren üblich waren, haben sich im Laufe der Zeit ingenieurbioologische und vor allem flächenwirtschaftliche Maßnahmen hinzugesellt. Als ein flächenhaftes Gutachten über die Gefährdung durch Wildbäche, Lawinen und Erosion dient der Gefahrenzonenplan (GZP). Eine der grundlegendsten Aufgabe zur Erstellung eines Gefahrenzonenplans ist die Gefahrenabgrenzung. Gerade bei Massenverlagerungsprozessen, wie Steinschlag, Rutschungen, Lawinen, Muren oder Schlammlawinen, sind Methoden zur Bestimmung potentieller Reichweiten notwendig. Um solche Methoden jedoch effektiv einsetzen zu können, ist es notwendig, die vorherrschenden Prozessarten zu identifizieren. Vor allem bei Massenverlagerungen in Wildbächen ist die Unterscheidung von Muren und murartigen Feststofftransporten nicht immer einfach.

Bardou (2002) präsentierte einen Ansatz zur Unterscheidung fluviatil sowie murartig geprägter Prozesse und Muren im eigentlichen Sinne, indem er die geometrischen Parameter des Einzugsgebietes mit den durchschnittlichen Neigungen am Ablagerungskegel verglich. Anhand der erhobenen Daten konnte der Ansatz nach Bardou (2002) grob bestätigt werden. Abbildung 1 zeigt die wichtigsten Parameter, die für eine einfache Gefahrenabgrenzung bei Murgängen benötigt werden (Rickenmann, 1999). Vom Standpunkt der potentiellen Gefährdung, ist das Ereignisvolumen die wichtigste Eingangsgröße für weitere Analysen und zur Bestimmung der möglichen Reichweite bzw. Ausdehnung der Ablagerung.



Abb. 1: Parameter zur Abschätzung potentieller Reichweiten von Muren (aus Rickenmann, 1999).

Fig. 1: Flow chart for estimating debris flow parameters (Rickenmann, 1999).

So kann nach Ansätzen von Corominas (1996), Legros (2002) und Rickenmann (2005) die Mobilität von Rutschungen und Murgängen in Abhängigkeit vom Ereignisvolumen und Pauschalgefälle bestimmt werden. In Laborversuchen analysierte Tsai (2006) die geometrische Veränderung von Murenablagerungen. Er verwendete die maximale Länge L, Breite B sowie Ablagerungshöhe Z des Murkegels zur Beschreibung von morphologischen Ähnlichkeiten. Einen semi-empirischen Ansatz zur Reichweitenbestimmung von Lahars (vulkanische Schlammlawinen) entwickelten Iverson et al., 1998. Dabei wird die Ablagerungsfläche sowie die Querschnittsfläche am Kegel aufgrund des Ablagerungsvolumens ermittelt. Crosta und Agliardi (2003) sowie Berti und Simoni (2007) testeten und modifizierten den Ansatz von Iverson et al. (1998) anhand einer großen Zahl von alpinen Murgängen.

Anhand der in dieser Studie erhobenen Daten sollen einfache Modelle zur Reichweitenbestimmung von Muren für den Alpenraum entwickelt werden. Ein weiteres Ziel ist, bestehende Klassifizierungsmethoden gerinnebasierender Feststofftransporte zu verbessern.

DATENERHEBUNG

Im Zuge einer Diplomarbeit am Institut für Alpine Naturgefahren wurden Muren sowie murartige Ereignisse in ganz Österreich recherchiert und erhoben (Schraml, 2007). Während der Aufarbeitung der Hochwasserereignisse 2005 in der Schweiz (Rickenmann et al., 2007), konnten ebenfalls einige Muren bzw. murartige Ereignisse identifiziert werden.

Der Schwerpunkt der zu erhebenden Daten lag vor allem in der Aufnahme geomorphometrischer Parameter im Bereich der Ablagerung des Ereignisses. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wichtigsten erhobenen Parameter.

Tab. 1: Übersicht der wichtigsten aufgenommenen Parameter
Tab. 1: Overview of important investigation parameters.

Parameter	Beschreibung
ID	Eindeutige Identifikation
Bachname	Toponym
Datum des Ereignisses	
Prozesstyp	Art des Prozesses
KA doku	Abgelagertes Volumen laut Ereignisdokumentation
KA doku total	gesamtes erodiertes Volumen laut Ereignisdokumentation
KA analy	Abgelagertes Volumen in GIS geschätzt, aus DOKU, Fotos, LiDAR,...
A Höhe	durchschnittliche Ablagerungshöhe
A TYP	Typ der Ablagerung
AW	oberer Öffnungswinkel der Ablagerung
ALmax	maximale Länge der Ablagerung in Fallrichtung
EZG Fläche	Fläche des Einzugsgebietes
ElevmaxEZG	höchster Punkt im EZG
ELevminEZG	niedrigster Punkt im EZG
avSlope A	durchschnittliche Neigung der Ablagerung
Prozesslänge L	Reichweite (horiz. Distanz vom obersten Punkt der Ausbruchstelle bis zum entferntesten Punkt der Ablagerung)
Höhendifferenz H	vertikale Distanz vom obersten Punkt der Ausbruchstelle bis zum entferntesten Punkt der Ablagerung
Qmax	Maximaler Abfluss am Ablagerungsbeginn
Fließhöhe	Fließhöhe bei Qmax
v	Fließgeschwindigkeit bei Qmax

Erhobene Ereignisse in Österreich

Die Datenerhebung in Österreich wurde generell sehr stark von der Verfügbarkeit relevanter Ereignisdokumentationen eingeschränkt. Insgesamt konnten 39 Ereignisse aus Österreich zur Auswertung herangezogen werden. Aufgrund der Topographie des alpinen Raumes sind diese Ereignisse vor allem in den westlichen Bundesländern, Vorarlberg, Tirol, Salzburg, Kärnten und Steiermark konzentriert. Aufgrund phänomenologischer Klassifizierungsmerkmale (vgl. Hübl et al., 2002, Hübl et al., 2006) wurden die erhobenen Ereignisse in 12 Murgänge, 10 murartige und 17 fluviatile Feststofftransporte eingeteilt (Tabelle 2).

Tab. 2: Aufgenommene Ereignisse Österreich
Tab. 2: Collected events Switzerland

Bachname (Toponym)	Bundesland	Datum des Ereignisses	Prozesstyp
Frallefrunertobel	Vorarlberg	21. Mai 1999	Mure
Enterbach	Tirol	26. Juli 1967	Mure
Danielastobel	Tirol	22. August 2005	Mure
Gridlontobel	Tirol	30. Juni 1965	Mure
Wartschenbach	Tirol	6. August 1995	Mure
Wartschenbach	Tirol	16. August 1997	Mure
Wartschenbach	Tirol	6. September 1997	Mure
Dornerbach	Kärnten	6. Juli 2004	Mure
Gerlamooserbach	Kärnten	20. Juli 1993	Mure
Edelgraben	Steiermark	3. Juli 1987	Mure
Fuchsgraben/Rachaubach	Steiermark	--	Mure
Steinbach	Steiermark	--	Mure
Bardielbach	Vorarlberg	22. August 2005	murartig
Dürrenbach	Vorarlberg	1987	murartig
Partellstobel	Vorarlberg	1983	murartig
Rauzbach	Vorarlberg	2005	murartig
Öxelbach/Schlitters	Tirol	20. August 1974	murartig
Niedersiller Mühlbach	Salzburg	7. August 1970	murartig
Niedersiller Mühlbach	Salzburg	28. Juli 1971	murartig
Eisbachgraben	Steiermark	3. August 1981	murartig
Gumpenbach	Steiermark	26. Juni 1965	murartig
Moschergraben	Steiermark	17. Juni 1997	murartig
Zürsbach	Vorarlberg	2005	fluviatil
Bäckertal	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Fimberbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Grünbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Gulgrabenbach	Tirol	23. August 2005	fluviatil
Schnannerbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Seßlabach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Stubenbach	Tirol	22. August 2005	fluviatil
Gradenbach	Kärnten	31. August 1965	fluviatil
Gradenbach	Kärnten	17. August 1966	fluviatil
Mallnitzbach	Kärnten	September 1965	fluviatil
Teuchlbach	Kärnten	August 1996	fluviatil
Unteralpenbach	Kärnten	6. September 1997	fluviatil
Vordernbergerbach	Kärnten	29. August 2003	fluviatil
Zirknitzbach	Kärnten	2. September 1965	fluviatil
Triebenbach	Steiermark	1907	fluviatil
Triebenbach	Steiermark	1938	fluviatil

Die Volumina der betrachteten Ereignisse bewegten sich zwischen 2.730m³ und 500.000m³. Die Bandbreite der zugehörigen Ablagerungsflächen lag dabei von 8.035m² bis 480.000m².

Erhobene Ereignisse in der Schweiz

Ein durch intensive und großflächige Niederschläge vom 20.-23.8. 2005 ausgelöstes Hochwasser forderte in der Schweiz 6 Todesopfer und verursachte Schäden von insgesamt 3 Mrd. Franken (1,8 Milliarden €). Unmittelbar nach dem Hochwasser 2005 erteilte das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr und Kommunikation UVEK dem damaligen Bundesamt für Wasser und Geologie BWG den Auftrag, die Ursachen und Auswirkungen des Ereignisses zu analysieren (Bezzola und Hegg, 2007). Im Zuge dieser Ereignisdokumentation konnten 13 Murgänge identifiziert werden, die sich für weitere Analysen im Rahmen dieser Studie eignen (Tabelle 3).

Als Unterstützung zur klassischen Dokumentationsmethode wurde zusätzlich die lasergestützte Fernerfassung (LiDAR) eingesetzt und Ihre Tauglichkeit zur Erfassung geomorphometrischer Parameter getestet. Direkt nach den Ereignissen 2005 wurden gezielte LiDAR Flüge für bestimmte Regionen vorgenommen. Die daraus ableitbaren Höhenmodelle nach den Ereignissen wurden mit der Geländesituation vor den Ereignissen verglichen und daraus das Ablagerungsvolumen hergeleitet. (Rickenmann et al., in Vorbereitung:a)

Tab. 3: Aufgenommene Ereignisse Schweiz

Tab. 3: Collected events Switzerland

Bachname (Toponym)	Kanton	Datum des Ereignisses	Prozesstyp
Chratzmattigraben	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Closegraben	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Glattbach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Glyssibach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Goldbach	Bern	22.-23.August 2005.	Mure
Pletschenbächli	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Rotlouwibach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Rütigraben	Bern	22.-23.August 2005.	Mure
Schwendibach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Trachtbach	Bern	22.-23.August 2005	Mure
Holdenbach	Uri	22.-23.August 2005.	Mure
Schisstalbach	Uri	22.-23.August 2005.	Mure
Fangtobel	Obwalden	22.-23.August 2005.	Mure

Die Volumina der betrachteten Ereignisse bewegten sich zwischen 10.000m^3 und 500.000m^3 . Die Bandbreite der zugehörigen Ablagerungsflächen lag dabei von 2.270m^2 bis 100.000m^2

RESULTATE

Die aufgenommenen Daten wurden aufgrund der Erhebungsgrundlagen in 3 Gruppen klassifiziert:

- Muren (Österreich, Schweiz)
- murartige Feststofftransporte (Österreich)
- fluviatile Feststofftransporte (Österreich)

Klassifizierung der Prozesse

Eine Unterscheidung gerinnebasierender Prozesse in Wildbächen erfolgt in der Praxis ausschließlich über geomorphologische Ansprachen. Durch die zeitliche Verzögerung

zwischen Eintritt und Dokumentation des Ereignisses kommt es immer wieder zu Schwierigkeiten in der Klassifikation der aufgetretenen Prozessarten vor Ort. Bardou (2002) präsentierte eine grobe Abgrenzung zwischen Muren und murartigen bzw. fluviatilen Feststoffereignissen indem er die sog. Melton-Zahl (Melton, 1965) dem durchschnittlichen Neigungsgefälle am Kegel gegenüberstellte. Die Melton-Zahl beschreibt den spezifischen Höhenunterschied des Einzugsgebietes bezogen auf die Einzugsgebietsfläche. Abbildung 2 zeigt den Zusammenhang zwischen der Melton-Zahl sowie der Neigung am Ablagerungskegel für die in dieser Studie erhobenen Daten. Nach Bardou (2002) zeigt die Zone A den Bereich der fluviatilen Feststoffprozesse und Zone C den Bereich für Muren an. Dazwischen liegt der Übergangsbereich, Zone B. Diese Einteilung wird durch die erhobenen Ereignisse grob bestätigt.

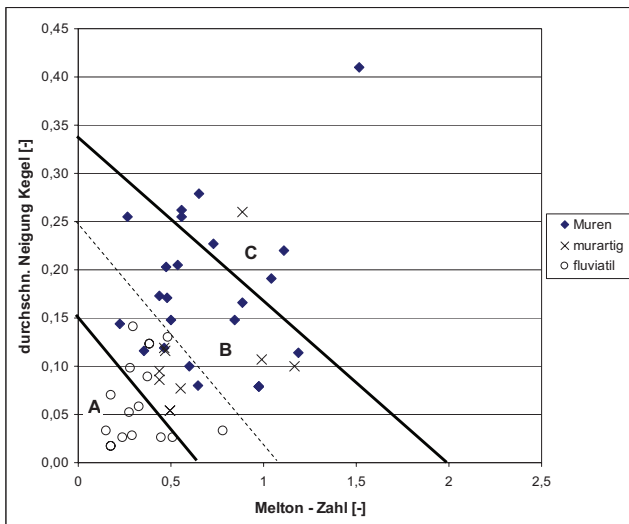


Abb. 2: Melton-Zahl vs. Neigung am Kegel. Gestrichelte Linie: Grenzlinie nach Berti & Simoni (2007).
 Fig. 2: Melton-Number vs. av. Fan slope. dashed line: boundary after Berti & Simoni (2007).

Die Gruppe der Muren ist vor allem im oberen Übergangsbereich B bzw. im Bereich C verteilt. Sie grenzen sich damit deutlich von den fluviatilen Ereignissen ab, welche ihren Schwerpunkt im unteren Übergangsbereich B und dem Bereich A haben. Die Gruppe der murartigen Ereignisse ist relativ gleichmäßig im Übergangsbereich B verteilt, ein Hinweis auf das Problem der Differenzierung solcher Prozesse.

Pauschalgefälle vs. Einzugsgebietsfläche

Der Zusammenhang zwischen Pauschalgefälle und Einzugsgebietsfläche lässt sich zunächst für eine grobe Klassifizierung erhobener Ereignisse heranziehen.

Es ist bekannt, dass alpine Muren vor allem in steilen und kleinen Einzugsgebieten (EG) auftreten. Marchi und D'Agostini (2004) analysierten 127 Muren in den Italienischen Alpen wovon 125 Ereignisse Einzugsgebiete kleiner 20 km² bei einem Längsgefälle des Gerinnes größer 10% aufwiesen. In der Aufarbeitung der Schweizer Murereignisse von 1987 (VAW 1992) wurden 82 Muren betrachtet. Die maximal dokumentierte Einzugsgebietsfläche lag bei

22 km², das minimale Pauschalgefälle betrug 19%. Rickenmann et al. (in Vorbereitung:b) unterteilen die beobachteten Fließgewässer der Hochwasserereignisse 2005 in der Schweiz aufgrund der Einzugsgebietsgrösse und des Längsgefälles des Gerinnes. Sie unterschieden Wildbäche mit einer maximalen Einzugsgebietsgröße von 25 km² bei einem Längsgefälle größer 5-10% von den maßgeblich durch Geschiebetransport beeinflussten flacheren Gebirgsflüssen. Murgänge traten nur in Einzugsgebieten mit Flächen kleiner 25km² auf. Als charakteristisch für Wildbäche wurden dabei Ablagerungen außerhalb des Gerinnes im Kegelbereich, wie sie vor allem bei Muren bzw. murartigen Ereignissen vorkommen, beschrieben. Diese Beobachtungen werden von den Ereignissen dieser Studie bestätigt (siehe Abbildung 3). Der Grenzwert der EG-Größe, hier ebenfalls mit 25 km² angenommen (blau gestrichelte Linie), wird nur von den fluviatilen Ereignissen überschritten.

Sind Einzugsgebiet und Pauschalgefälle bekannt, so kann außerdem eine Aussage über die maximal mögliche Auslauflänge gemacht werden. Zimmermann et al. (1997) postulierten ein minimales Pauschalgefälle für Muren, abhängig von der Größe des Einzugsgebietes. Sie fanden folgenden Zusammenhang:

$$fm = 0,20 \cdot A^{-0,20} \quad \text{Glg. 1/Equ. 1}$$

A bezeichnet die Fläche des zugehörigen Einzugsgebietes und fm das Pauschalgefälle.

$$\tan fm = \frac{H}{L} \quad \text{Glg. 2/Equ. 2}$$

Der Quotient H/L entspricht hier der Neigung der Visurgeraden vom entferntesten Punkt der Ablagerung bis zum obersten Punkt der Ausbruchsstelle, wobei L als Reichweite zu bezeichnen ist.

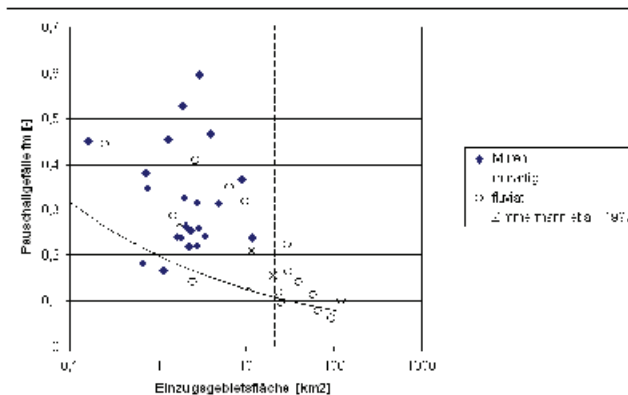


Abb. 3: Pauschalgefälle vs. Einzugsgebietsfläche; Gestrichelte Linie: Grenzlinie EZG 25km²

Fig. 3: Equivalent friction angle vs. catchment's area; dashed line: boundary catchment area 25 km²

Es zeigt sich, dass die erhobenen Daten gut dem Ansatz des minimalen Pauschalgefälles nach Gleichung 1 entsprechen. Ist die Lage des potentiellen Anbruchsgebietes bekannt, so kann die maximale mögliche Auslauflänge bestimmt werden. Als erster Anhaltspunkt für eine räumliche Gefahrenabgrenzung von Murgängen kann der Ansatz nach Gleichung 1 verwendet werden.

Pauschalgefälle vs. Volumen

Bei Massenverlagerungsprozessen ohne eindeutigen Ablagerungsbeginn (Steinschlag, Felssturz, Bergsturz) wird oft das Pauschalgefälle zur Reichweitenbestimmung herangezogen. Scheidegger (1973) und Iverson (1997) fanden bei der Analyse von Felsstürzen, dass ein Zusammenhang zwischen dem Pauschalgefälle und dem Volumen des Ereignisses existiert. Corominas (1996) übernahm diesen Ansatz für die Bestimmung der Reichweiten von Rutschungen und Murgängen. Basierend vor allem auf Murenereignissen in der Schweiz fand Rickenmann (1999) folgenden Zusammenhang zwischen Pauschalgefälle und Volumen:

$$L = 1,9 \cdot M^{0,16} \cdot H^{0,83}$$

Glg. 3/Equ. 3

H entspricht dabei der vertikalen Distanz vom obersten Punkt der Ausbruchsstelle bis zum entferntesten Punkt der Ablagerung.

In Abbildung 4 sind die Österreichischen und Schweizer Muren Daten mit dem Ansatz nach Rickenmann (1999) verglichen. Man erkennt, dass die Daten mehr oder weniger um Gleichung 3 streuen.

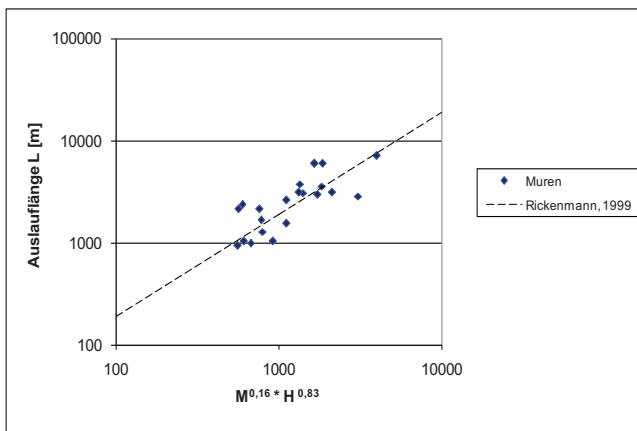


Abb. 4: Zusammenhang zwischen der maximalen Auslauflänge und dem Volumen.

Fig. 4: Total travel distance vs. event magnitude

Damit kann unabhängig von der Größe des Einzugsgebietes nach Abschätzen des Volumens (Geschiebepotential im Anbruchsgebiet) und des potentiellen Anrissgebietes die potentielle Reichweite für Muren bestimmt werden.

Ereignisvolumen vs. Ablagerungsfläche

Basierend auf Überlegungen geometrischer Ähnlichkeiten und Überlegungen zum Fließverhalten entwickelten Iverson et al. (1998) für Lahars folgende theoretische Zusammenhänge zwischen dem Ereignisvolumen V , der planimetrischen Ablagerungsfläche B sowie der Querschnittsfläche der Ablagerungen A .

$$A = k_1 \cdot V^{2/3}$$

Glg. 4/Equ. 4

$$B = k_2 \cdot V^{2/3}$$

Glg. 5/Equ. 5

In einem ersten Schritt wurde hier vor allem der theoretische Zusammenhang zwischen Ereignisvolumen und planimetrischer Ablagerungsfläche, im Hinblick der Reichweitenbestimmung von Muren, betrachtet. Durch eine statistische Auswertung der Daten von 27 Lahars, ermittelten Iverson et. al (1998) den Koeffizienten $k_2 = 200$. Eine

weitere Datenreihe stammt von Yu et al. (2006), die sechs Murgänge im Einzugsgebiet des Chen-You-Lan (Taiwan) zur Kalibrierung verwendeten. Für granulare Murgänge in den Norditalienischen Alpen bestimmten sowohl Crosta et al. (2003) als auch Berti et al. (2007) den Koeffizienten k_2 nach Gleichung 5. Tabelle 4 gibt einen Überblick der Ergebnisse der unterschiedlichen Studien zur Beziehung zwischen planimetrischer Ablagerungsfläche und Volumen.

Tab. 4: Ergebnisse verschiedener Prozessarten für Gleichung 5; aus internationalen Publikationen.

Tab. 4: Results for Equation 5 derived for different process types derived from international studies.

Studie	Art des Ereignisses	Region, Ort	Anzahl n	Koeff. k_2	Korr. Koeff. R^2
Iverson et al. (1998)	Lahars	USA, Kolumbien, Philippinen	27	200	0,90
Waythomas et al. (2000)	Vulkanische Erdbeben	Alaska	~ 10	91,7	0,90
diese Studie	murartige, fluviatile Feststofftransporte	Alpen, Österr., Schweiz	27	58	0,91
Capra et al. (2002)	Erdbeben + Muren	trans mexikan. Vulkangürtel	~ 15	54,9	0,79
Iverson et al. (1998)	Nicht vulkanische Muren	USA, Kanada	6	51	0,94
diese Studie	Muren	Alpen, Österr., Schweiz	20	39	0,64
Berti & Simoni (2007)	Muren	Alpen, Norditalien	24	33	0,80
Yu et al. (2006)	Muren	Xueshan, Taiwan	6	28,8	0,94
Griswold (2004)	Muren	USA	44	19	0,91
Crosta et al. (2003b)	granulare Murgänge	Alpen, Norditalien	~ 91	6,2	0,96

Von den erhobenen Daten wurden 5 Ereignisse aus der Schweiz sowie 1 Ereignis aus Österreich nicht berücksichtigt. Dies erschien sinnvoll, da ein Großteil der Ablagerung direkt durch den Vorfluter weitertransportiert wurde. Die dokumentierten Ablagerungsflächen unterschätzen dabei die tatsächlich möglichen Ausdehnungen am Kegel.

Neben den erwähnten Resultaten für Murgänge sind auch Ergebnisse von Lahars, Erdbeben sowie granularen Murgängen angegeben. Es ist erkennbar, dass, Felsstürze und Murgänge eine geringere Mobilität aufweisen als beispielsweise Lahars. Nachfolgende graphische Darstellungen zeigen die Abhängigkeit der planimetrischen Ablagerungsflächen vs. Volumen für die Daten dieser Studie.

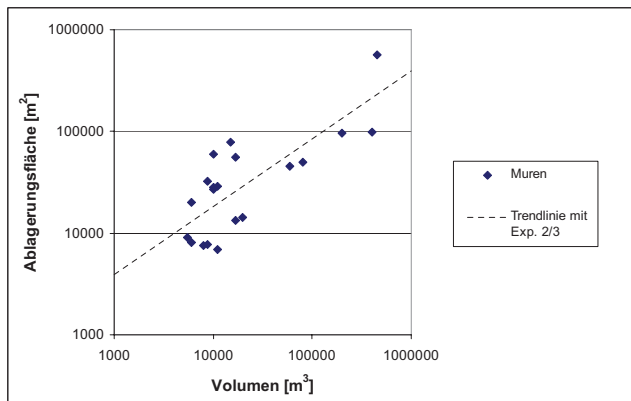


Abb. 5: Beziehung V vs. B mit Murendaten dieser Studie. Regressionsgerade nach Gleichung 5.

Fig. 5: Relation V vs. B using debris flow data of this study, best-fit equation 5.

In Abbildung 5 sind die erhobenen Murenereignisse aus Österreich und der Schweiz nach Gleichung 5 mit $k_2=39$ dargestellt.

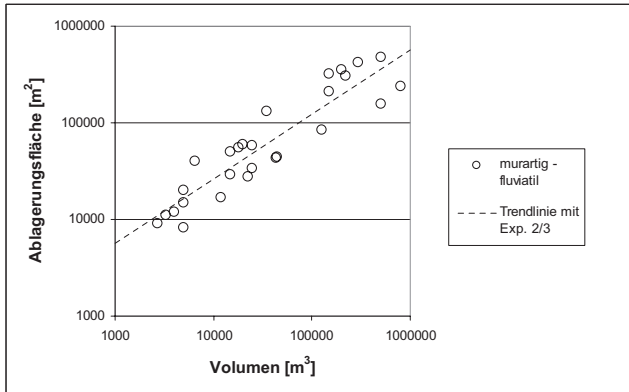


Abb. 6: Beziehung V vs. B murartiger u. fluviatiler Daten dieser Studie. Regressionsgeraden nach Gleichung 5.

Fig. 6 : Relation V vs. B using debris flow like and fluviatil data of this study, best-fit equation 5.

Analog dazu zeigt Abbildung 6 den Zusammenhang zwischen Ereignisvolumen und Ablagerungsfläche für murartige und fluviatile Ereignisse in Österreich nach Gleichung 5 mit $k_2 = 58$.

DISKUSSION UND AUSBLICK

Zur Bestimmung der Reichweite von Feststoffprozessen in Wildbäche können prinzipiell zwei Ansätze unterschieden werden. Der analytische Lösungsansatz versucht das Ablagerungsverhalten aufgrund physikalischer Grundbedingungen zu beschreiben. Diese Studie präsentiert ausschließlich empirische Zusammenhänge, welche sich in der Literatur etabliert haben. Die Vorteile einer empirischen Herangehensweise liegen in der meist leichten Anwendbarkeit begründet auf der Verwendung einfach zu bestimmender Parameter. Zu beachten ist jedoch, dass empirische Beziehungen immer nur für eine bestimmte Fragestellung und für ein bestimmtes Anwendungsgebiet (Prozessart, Topographie, Material,...) Gültigkeit besitzen. Die allgemeine Verwendbarkeit ist damit in Frage gestellt.

Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf ersten Daten, welche im Rahmen einer breit angelegten Ereignis-Recherche gesammelt wurden. Dabei zeigen die erhobenen Ereignisse eine gute Korrelation mit der vorgestellten Klassifizierung der Prozesse sowie mit einigen empirischen Zusammenhängen zur Bestimmung der Auslaufängen.

Ebenfalls konnte gezeigt werden, dass die Daten zu den in Österreich und der Schweiz erhobenen Muren bzw. murartigen Ereignissen im Vergleich zu anderen Studien als plausibel einzustufen sind. Um jedoch das totale Ablagerungsverhalten von murartigen Prozessen bzw. Muren abbilden zu können, sind noch weiterführende Untersuchungen mit Bezug weiterer Daten notwendig.

LITERATUR

- Bezzola, G. R., Hegg C. (Ed.) (2007): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung“. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0707. 215 S.
- Bezzola, G. R., Hegg C. (Ed.) (in Vorbereitung): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 – Prozesse, Schäden und erste Einordnung“. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- Bardou, E. (2002): „Methodologie de diagnostic et prevision des laves torrentielles sur un basin versant alpin“. These no. 2479, Ecole Polytechnique Federale Lausanne.
- Berti, M. und Simoni A. (2007): „Prediction of debris flow inundation areas using empirical mobility relationships“. *Geomorphology*, 2007, 90, 144-161.
- Capra, L., Macias, J.I., Scott, K.M., Abrams, M., Gardunomonroy, V.H. (2002): „Debris avalanches and debris flows transformed from collapses in the Trans-Mexican Volcanic Belt“. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2002, 113, 81-110.
- Corominas, J. (1996): „The angle of reach as mobility index for small and large landslides“. *Can. Geotech. Journal*, 1996, 33, 260-271.
- Crosta, G.B., Cucchiario, S., Frattini, P. (2003): „Validation of semiempirical relationships for the definition of debris-flow behaviour in granular materials“. *Proc. 3rd International Conference on Debris Flows Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment*. Millpress, Rotterdam, 2003, pp. 821–831.
- Griswold, J.P. (2004): „Mobility statistics and hazard mapping for nonvolcanic debris flows and rock avalanches“. Masters thesis, Portland State University, USA.
- Hübl, H., Kienholz H., Loipersberger A. (2002): „DOMODIS. Documentation of Mountain Disasters“. Schriftenreihe der Internationalen Forschungsgesellschaft Interpraevent, Handbuch 1, Klagenfurt 2002.
- Hübl, J., Habersack, H., Kienholz, H., Schnetzer, I., Agner, P., Ganahl, E., Moser, M., Scheidl, Ch., Kerschbaumsteiner, W., Schmid, F. (2006): „Disaster Information System of Alpine Regions (DIS-ALP)“. Methodik Teil 1, IAN Report 101, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur-Wien (unveröffentlicht).
- Iverson, R. M.; Schilling, S. P. und Vallance, J. W. (1998): „Objective delineation of lahar-inundation hazard zones“. *GSA Bulletin*, 1998, 110, 972-984.
- Iverson, R.M. (1997): „The physics of debris flows“. *Reviews of Geophysics*, 1997, 35, 245–296
- Legros, F. (2002): „The mobility of long-runout landslides“. *Engineering Geology*, 2002, 63, 301–331.
- Marchi, L., D’Agostino, V. (2004): „Estimation of debris-flow magnitude in the eastern Italian alps“. *Earth Surface Processes and Landforms*, 2004, 29, 207-220.
- Melton, M.A. (1965): „The geomorphic and paleoclimatic significance of alluvial deposits on southern Arizona“. *Journal of Geology*, 1965, 73, 1–38.
- Rickenmann, D. (1999): „Empirical Relationships for Debris Flows“. *Natural Hazards*, 1999, 19, 47-77.
- Rickenmann, D. (2005): „Runout prediction methods“. In: Jakob, M., Hungr, O., *Debrisflow Hazards and Related Phenomena*, 2005, 305-324; Springer, Chichester.
- Rickenmann, D., Hunzinger, L., & Cosandey, A.-C. (2007): „Gerinneprozesse“. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds) *Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1 - Prozesse, Schäden und erste Einordnung*. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, 163-180.
- Rickenmann, D., Koschni, A., Scheidl, C., Chiari, M., Canuto, N. (in Vorbereitung:a): „Feststoffrachten in Wildbächen und Gebirgsflüssen“. In: Bezzola, G.R.; Hegg, C. (eds)

- Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahregrundlagen. Bern, Bundesamt für Umwelt BAFU, Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL.
- Rickenmann, D., Hunzinger L., Koschni A. (in Vorbereitung:b): „Hochwasser und Sedimenttransport während des Unwetters vom August 2005 in der Schweiz“. In: Internationales Symposium Interpraevent 2008: Dornbirn (Austria).
- Scheidegger, A. E. (1973): „On the prediction of the reach and velocity of catastrophic landslides“. *Rock Mechanics*, 1973, 5, 231-236.
- Schraml, C. (2007): „Ablagerung von Feststoffen auf Wildbachkegeln“. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur Wien.
- Tsai, Y.-F. (2006): „Three-Dimensional Topography of Debris-Flow Fan“. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 132, 3, 307 – 318.
- Übagger, G. (1972): „Retendieren, Dosieren und Sortieren“. *Mitteilungen der forstl. Bundesversuchsanstalt Wien*, 102, 335 - 372.
- Yu, F., Chen, C., Chen, T., Hung, F., Lin, S. (2006): „A GIS Process for delimitating areas potentially endangered by debris flows“. *Natural Hazards*, 2006, 37, 169-189.
- VAW (1992): „Murgänge 1987, Dokumentation und Analyse“. Bericht Nr.: 97.6 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich. Unveröffentlicht.
- Waythomas, C. F., Miller, T. P., and Beget, J. E. (2000): „Record of Late Holocene debris avalanches and lahars at Iliamna Volcano, Alaska“. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 104, 1, 97-130.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O., Hunziker G. (1997): „Murganggefahr und Klimaänderung – ein GIS basierter Ansatz“. Schlussbericht NFP31, ETH, Zürich.

**GLYSSIBACH BRIENZ, SCHWEIZ: HOCHWASSER UND
MURGANGEREIGNIS VOM 22./23. AUGUST 2005**

**SCHUTZMASSNAHMEN GEGEN ZUKÜNFTIGE HOCHWASSER UND
MURGÄNGE**

**GLYSSIBACH BRIENZ, SWITZERLAND: FLOOD AND DEBRIS FLOW
EVENT ON AUGUST 22/23, 2005**

PROTECTION MEASURES AGAINST FUTURE FLOODS AND DEBRIS FLOWS

Prof. Dr. Jürg Speerli¹, Michael Grob², Rolf Künzi³, Peter Wyss⁴, Dr. Markus Zimmermann⁵,
Andrea Pozzi⁶

ZUSAMMENFASSUNG

Nach dem Murgangereignis vom August 2005 wurde aufgrund einer umfangreichen Ereignisanalyse das integrale Schutzkonzept gegen zukünftige Murgänge im Glyssibach von einem Planungsteam erarbeitet. Das Schutzkonzept umfasst ein Ausleitbauwerk im Glyssibach, welches grosse Murgänge ins landwirtschaftliche Gebiet Undersitsch ausleitet, kleine Murgänge jedoch durch das Ausleitbauwerk hindurchleitet. Ein Rückhaltedamm auf der Wiese Undersitsch schafft für den ausgeleiteten Murgang einen Ablagerungsraum. Die Funktionalität des Ausleitbauwerks sowie das Ablagerungsverhalten des ausgeleiteten Murgangs im Gebiet Undersitsch wurden in einer hydraulischen Modelluntersuchung nachgewiesen, respektive untersucht. Diese Bauwerke wurden hinsichtlich Funktionalität, Standort und Abmessungen optimiert. Die Murgangmodellmischung wurde aufgrund von Felduntersuchungen, theoretischen Überlegungen und Vorversuchen bestimmt. Der Murgang im hydraulischen Modell weist ähnliche Fliesseigenschaften wie der Murgang vom August 2005 auf.

Keywords: Murgang, Ausleitbauwerk, hydraulische Modelluntersuchung

ABSTRACT

An integrated safety concept has been developed in the Glyssibach (Brienz, Switzerland) following the August 2005 debris flow. The concept against future events includes a concrete structure in the Glyssibach deviating large-scale events into the Undersitsch accumulation

¹ Dean Civil Engineering, University of Applied Sciences, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, Switzerland (Tel.: +41-55-222-49-72; Fax: +41-463-55-222-44-00; email: juerg.speerli@hsr.ch)

² Research Engineer, University of Applied Sciences Rapperswil, Switzerland

³ Owners representative, Tiefbauamt des Kantons Bern, Obergeringenieurkreis 1, Thun, Switzerland

⁴ Partner, Mätzener & Wyss Ingenieure AG, Interlaken, Switzerland

⁵ Inhaber, NDR Consulting Zimmermann, Thun, Switzerland

⁶ Partner, Niederer + Pozzi Environmental Management, Zurich and Uznach, Switzerland

area; however, small-scale events should pass the dam through openings. A retention dam at the downstream end of the Untersitsch pasture confines the accumulation area. The functionality of the deviation structure as well as the accumulation behaviour of debris flows in the Untersitsch area were analysed and proofed in a hydraulic model. The two main structures were optimized with regard to functionality, exact location and dimensions. The mixture of the model debris flows was determined according to field investigations, theoretical considerations and a series of pre-test runs. The debris flow in the hydraulic model shows similar flow characteristics as the August 2005 debris flow.

Keywords: Debris flow, diversion structure, hydraulic model test

EINLEITUNG

Das Hochwasser- und Murgangereignis im Glyssibach vom 22./23. August 2005 verursachte enorme Schäden an Gebäuden und Infrastrukturanlagen. Zwei Personen verloren durch den Murgang ihr Leben. Basierend auf einer Ereignisanalyse wurde ein integrales Schutzkonzept gegen zukünftige Murgänge entwickelt. Die Ereignisanalyse, das Schutzkonzept und dessen Überprüfung in einem hydraulischen Modellversuch werden vorgestellt.

EREIGNISANALYSE

Aufgrund der topografischen, geologischen und klimatischen Verhältnisse sind im Gebiet der Briener Wildbäche im Kanton Bern die Voraussetzungen für verschiedene Naturrisiken gegeben. Das wichtigste Gefahrenpotenzial für den Talbereich stellen fünf Wildbäche dar (Ryter und Kienholz, 2006). Ereignisse mit grossen Schäden sind bereits für das 16., 18. und 19. Jahrhundert dokumentiert. Im 20. Jahrhundert ist dasjenige von 1921 hervorzuheben. Mit sehr schweren Schäden muss das Ereignis vom August 2005 in die Liste aufgenommen werden.

Das Murgangereignis vom August 2005 wurde in einer sogenannten „lokalen lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE) Glyssibach“ detailliert erfasst und analysiert (TBA-OIK1, 2006 und Zimmermann, M. und Pozzi, A. 2006). Die LLE wurden im Nachgang zu den schweren Unwettern im August 2005 in verschiedenen Teilen des Berner Oberlandes als Dokumentations- und Planungsinstrument eingeführt.

Über Tage andauernde starke Niederschläge (> 300 mm in 4 Tagen) führten im Einzugsgebiet des Glyssibachs zu einer Rutschung. Aus dieser löste sich ein Murgang, welcher in mehreren Schüben zu einer vollständigen Destabilisierung und Verflüssigung der Sohle führte. Vor dem eigentlichen Murgang wurde im Glyssibach ein deutlich erhöhter Abfluss mit intensivem Geschiebetransport beobachtet. Der Murgang brach oberhalb des Siedlungsgebietes von Brienz aus dem Gerinne aus und lagerte auf dem Schwemmkegel ca. 70'000 m³ Schutt ab. Dreizehn Gebäude wurden durch den Murgang vollständig zerstört und 25 Gebäude schwer beschädigt. Von diesen müssen drei für das Schutzkonzept weichen.

Der grösste Teil des mobilisierbaren Geschiebes wurde durch den Murgang aus der Sohle des Glyssibachs ausgeräumt. Das System wird sich mittel- bis langfristig wieder aufladen. Es besteht daher sowohl für Brienz als auch für Schwanden mittelfristig ein wesentliches Schutzdefizit. Total sind etwa 70 Häuser im roten Gefahrengebiet. Wie das Ereignis vom

August 2005 gezeigt hat, muss bei einem Murgangereignis mit Todesopfern gerechnet werden, da Häuser von der hohen Intensität der Prozesse (unter anderem auch wegen dem Transport von grossen Blöcken) vollständig zerstört werden können.



Abb. 1: Murgangereignis vom 22./23. August 2005 in Brienz. Links: Grossflächige Murgangausbreitung im Siedlungsgebiet. Rechts: Übersicht: ① Glyssibach, ② Gemeinde Schwanden, ③ Gemeinde Brienz, ④ Gebiet Untersitsch. Quelle KSL, Bundesamt für Landestopographie, Flugdienst, CH-8600 Dübendorf.

Fig. 1: Debris flow on August 22/23, 2005 in Brienz. Left: Accumulation of debris in the inhabited area. Right: Overview of the Glyssibach: ① Glyssibach, ② Schwanden village, ③ Brienz village, ④ Untersitsch area. Photograph by: KSL, Bundesamt für Landestopographie, Flugdienst, CH-8600 Dübendorf.

Charakteristika von Murgängen im Glyssibach

Der Murstrom vom August 2005 war ausserordentlich schnell. Die Geschwindigkeit im Abschnitt Untersitsch - Glyssenbrücke betrug 6 bis 10 m/s. Auf dem Kegel wurde die Geschwindigkeit auf 5 m/s bis 8 m/s geschätzt. Mehrere Quellen geben übereinstimmend die Dauer des Murgangereignisses mit etwa 15 Minuten an. Die auf dem Schuttkegel abgelagerte Geschiebemenge beläuft sich auf rund 70'000 m³. Dies ergibt einen mittleren Abfluss von 70 m³/s bis 80 m³/s, und eine Spitze von 140 m³/s bis 160 m³/s (unter der Annahme einer dreieckförmigen Abflusswelle). Auf dem Kegel im Siedlungsgebiet von Brienz wurde nach dem Ereignis vom August 2005 eine mittlere Ablagerungstiefe von rund 1 m ermittelt. Der Kegel weist ein Gefälle von 12% auf. Anhand von Murgangablagerungen seitlich des Gerinnes kann auf eine ausgeprägte Murgangfront mit einer grossen Anzahl von Gesteinsblöcken von 2 m Durchmesser und mehr geschlossen werden. Im Siedlungsgebiet von Brienz wurden Blöcke mit einem Durchmesser von 3 m angetroffen, im Gerinne oberhalb solche von etwa 5 m Durchmesser. Da wegen der Bankung des Felsens im Einzugsgebiet immer grosse

Blöcke in der Rutschmasse vorhanden sein werden, kann man davon ausgehen, dass auch bei künftigen grossen Ereignissen ein Murschub eine ausgeprägte Front aufweisen wird.

RISIKOBEURTEILUNG

Bei einem zukünftigen 100-jährlichen Ereignis kann davon ausgegangen werden, dass rund 70'000 m³ Material mobilisiert wird. Ein 30-jährliches Ereignis wird auf etwa 25'000 m³ geschätzt. Ein Extremereignis setzt eine grosse Hanginstabilität im Einzugsgebiet voraus. Das Durchfliessen bis auf den Kegel von Brienz ist nicht bei jedem Ereignis zu erwarten. Bei grossen Volumen (100-jährliches Ereignis oder grösser) ist auch ein Ausuferen und Weiterfliessen in Richtung Schwanden möglich. Dadurch wären grosse Teile der Siedlung Schwanden direkt betroffen. Eine Wiederholung des Ereignisses von 2005 muss allerdings auch in Betracht gezogen werden. Die ökonomischen Schäden des jüngsten Ereignisses betragen zwischen CHF 35 und 40 Millionen. Bei einem Ausbrechen weiter oben könnten diese Schäden sogar noch grösser sein.

RISIKO MANAGEMENT UND VORBEREITUNG FÜR ZUKÜNFTIGE EREIGNISSE

Die ersten Massnahmen zur Erhöhung der Sicherheit für die Dorfbewohner und die Wiederherstellung der wichtigsten Infrastrukturbauten waren sofort nach dem Ereignis initiiert worden. Fünf Wochen nach dem Ereignis wurde den Dorfbewohner durch das Planungsteam Notfallmassnahmen, ein modernes modulares Alarmierungskonzept zur Evakuierung und Sofortmassnahmen sowie ein integrales Schutzkonzept vorgestellt.

Das Schutzkonzept sieht eine Kombination der Hauptelemente Ausleiten, Rückhalten und Durchleiten vor. Durch ein Ausleitbauwerk im Glyssibach sollen grosse Murgänge mit Wiederkehrperioden grösser als etwa 50 Jahre, fast vollständig in das unbewohnte, landwirtschaftlich genutzte Gebiet Undersitsch abgeleitet und dort abgelagert werden. Dadurch soll verhindert werden, dass grosse Volumen mit Gesteinsblöcken ins Siedlungsgebiet gelangen. Hingegen sollen kleinere und mittlere Murgänge mit bis zu 25'000 m³ Geschiebe durch das Ausleitbauwerk fliessen, im Gerinne des Glyssibachs verbleiben und in einem neuen, vergrösserten Durchflussskorridor durchs Siedlungsgebiet abgeführt werden. Dadurch können häufige Übersarungen des Gebietes Undersitsch vermieden werden. Diese kleinen und mittleren Murgänge weisen Wiederkehrperioden zwischen 20 und 50 Jahren auf. In der Tabelle 2 sind die massgebenden Szenarien aufgelistet, auf welche das Ausleitbauwerk sowie der Rückhaltedamm ausgelegt wurden.

Der Ablagerungsraum wird an seinem unteren Rand durch einen massiven Rückhaltedamm begrenzt. Dieser verhindert einerseits eine weitere Ausbreitung talwärts, andererseits soll er Wasser und Feinmaterial, welches nicht mehr abgelagert werden kann, wieder in den Glyssibach zurückführen.

Ausleitbauwerke haben sich im Lawinenverbau bewährt, bei Murgängen sind sehr wenige Beispiele erprobt. Ein Ausleitbauwerk, das grosse Murgänge ausleiten, kleinere und mittlere jedoch durch das Bauwerk ungehindert weiterleiten soll, ist den Autoren nicht bekannt. Daher wurden an der HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz eine umfangreiche Modelluntersuchung durchgeführt, um den Nachweis der Funktionstüchtigkeit des

Schutzkonzeptes zu erbringen, sowie um die baulichen Massnahmen zu optimieren. Insbesondere wurde das Verhalten des Ausleitbauwerks und der Ablagerung im Rückhalteraum in einem hydraulischen Modellversuch abgeklärt.

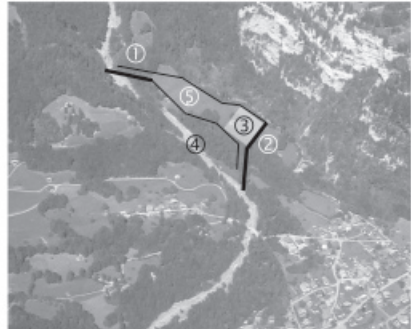
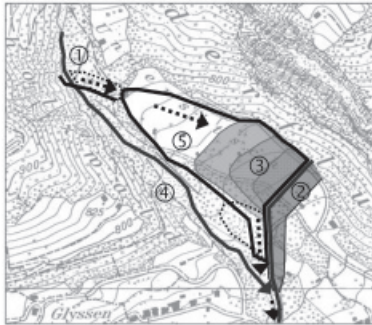


Abb. 2: Murgang Schutzkonzept: ① Ausleitbauwerk, ② Rückhaldedamm, ③ Ablagerungsbereich, ④ Glyssibach, ⑤ Gebiet Undersitsch.

Fig. 2: Concept of the debris flow protection: ① Diversion structure, ② retention dam, ③ sedimentation area, ④ Glyssibach torrent, ⑤ Undersitsch area.

HYDRAULISCHE MODELLUNTERSUCHUNG

Felduntersuchungen

Die Felduntersuchungen hatten die Bestimmung der Murgangkornverteilungskurve sowie die Abschätzung der Fliesseigenschaften von grossen Murgängen zum Ziel. Volumenabschätzungen, Fliesseigenschaften und Einschätzungen über künftige Entwicklung von Murgangereignissen und fluvialen Prozessen waren im Rahmen der LLE Glyssibach ermittelt worden.

Für die Bestimmung der Kornverteilung von Murgängen wird, falls möglich, eine oder mehrere Volumenproben dem Gesamtmaterial entnommen, da dadurch der Anteil an Feinmaterial richtig erfasst wird. Dies erfordert eine grössere Baggerung mit Hilfe von Baumaschinen und Lastwagen. Dies war im vorliegenden Fall nicht möglich, da in den zugänglichen Gebieten keine ungestörten Materialproben des Ereignisses vom August 2005 mehr vorhanden waren. Deshalb wurden im Bachbett mehrere Linienzahlanalysen durchgeführt, eine Volumenprobe des Feinmaterials entnommen sowie an drei Stellen der Anteil des Fein- und Grobmaterials am Gesamtmaterial visuell abgeschätzt. Dies erlaubte, entsprechend einer Volumenprobe, die Kornverteilung grosser Murgänge, wie derjenige von 2005, zu rekonstruieren.

Anhand der Abschätzungen des Fein- und Grobanteils innerhalb des gesamten Murgangmaterials kann für das Kornmaterial mit Korndurchmesser zwischen 0.1 cm und 6.0 cm eine erste Teilverteilung abgeleitet werden (siehe Abb. 3, Kurvenschar ①). Die Linienzahlanalysen wurden nach Fehr (1987) mit und ohne Deckschicht in Volumenproben der Unterschicht umgerechnet. Im Gegensatz zur Umrechnung bei fluvialen Geschiebe

wurde die Umrechnung nur bis zum Schritt ohne Korrektur des Feinanteils durchgeführt, da der Feinanteil bei viskosen Murgängen wesentlich grösser ist als bei fluvialen Geschiebe und die Korrektur des Feinanteils deshalb getrennt und nicht pauschal nach Fehr durchgeführt wurde.

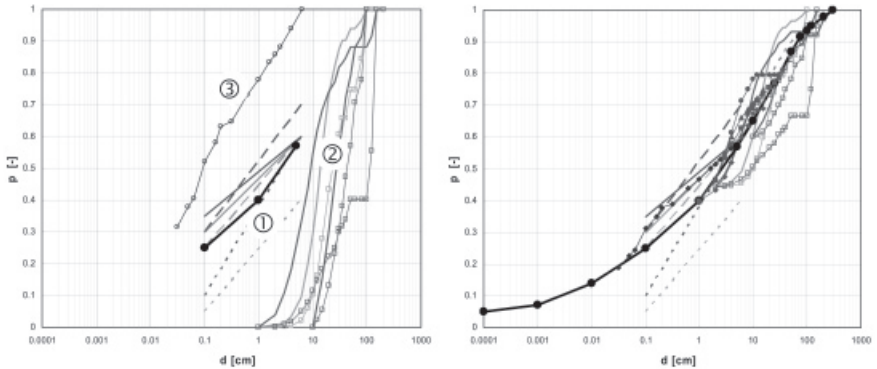


Abb. 3: Links: ① Abschätzungen Fein- / Grobanteil, ② nach Fehr umgerechnete Kornverteilungen ohne Korrekturen Feinanteil und ohne Fullergänzung, ③ Siebanalyse Feinmaterial.

Rechts: Korrigierte Kornverteilungen der einzelnen Analysen mit der abgeleiteten Kornverteilung für einen Grossmurgang (fette ausgezogene Linie) im Totalvergleich.

Fig. 3: Left: ① Estimation of fine and coarse parts, ② re-calculated grain-size distribution (using Fehr's approach) without correction for the fine parts and without a Fuller adaptation, ③ sieve analysis of fine parts. Right: Corrected grain size distribution for the individual analyses with the inferred grain size distribution for a major event (bold line).

Die umgerechneten Linienproben wie auch die Siebkurve (Volumenprobe des Feinmaterials) werden entsprechend der Teilverteilung korrigiert. Basierend auf den korrigierten Kurven sowie der abgeleiteten Teilverteilung wird eine mittlere Kornverteilungskurve für einen Grossmurgang im Glyssibach abgeleitet.

Die Abschätzung der Flieseigenschaften erfolgte anhand von geometrischen Aufnahmen von Murkopfablagerungen (Längen- und Querprofile) und Levées (Querprofile) des Ereignisses 2005 im Glyssibaches oberhalb des Gebietes Undersitsch sowie anhand der Rekonstruktion der mittleren Ablagerungstiefe des Murgangkörpers in der Ausbreitzungszone in Brienz.

Aufgrund eines geschätzten Feinanteils ($d < 0.004$ cm) in der Grössenordnung von 10% oder mehr ist in Anlehnung an Coussot und Piau (1995) von einem Murgang des Typs „viskos“ auszugehen.

Vorversuche

Während eines Murgangs treten gleichzeitig verschiedene Prozesse auf. Dies kann beispielsweise viskoses und granulares Fliesen, Transport, Erosion und Ablagerung sowie Wasserinfiltration in den Untergrund sein. Eine Modellierung aller Phänomene im physikalischen Modell ist nicht möglich. Näherungsweise können Fließgeschwindigkeit und Abfluss von Murgängen mit Hilfe des Froud'schen Ähnlichkeitsgesetzes skaliert werden.

Bei Murgängen im Glyssibach ist der Feinanteil an Gesteinskörner sehr gross: zwei Drittel der Gesteinskörner sind kleiner als 10 cm, und die Hälfte ist kleiner als 2.5 cm. Diese Feinanteile beeinflussen und prägen die dynamischen Prozesse des Murgangs in Natur wie auch im Modell ausserordentlich.

Ziel der Vorversuche war die Bestimmung von Modellmurgängen, welche eine möglichst grosse qualitative Ähnlichkeit gegenüber den natürlichen Murgängen im Glyssibach aufweisen. Dazu musste im unteren Bereich von der Soll-Kornverteilungskurve abgewichen werden. Anhand von über 50 Vorversuchen wurden verschiedene Murgang-Modellmischungen im Massstab 1:50 in einem eigens dafür gebauten Rechteck-Kanal getestet. Anhand der Vorversuche konnten verschiedene Typen von Murgängen (flüssig bis viskos) im physikalischen Modell nachgebildet werden.

Tab. 1: Zielgrössen und Zusammensetzung der Modellmischung.

Tab. 1: Target parameters and composition of model mixture.

Zielgrössen	Parametervariation
<ul style="list-style-type: none"> • Geschwindigkeit der Murgangfront: 6 – 10 m/s • mittlerer Abfluss: 70 – 80 m³/s • Spitzenabfluss: 140 – 160 m³/s • Ablagerungstiefe: 1 m 	<ul style="list-style-type: none"> • Opalit (Tonmehl) Anteil • Filler (Kalksteintmehl) Anteil • Brechsand-Anteil • Sand / Kies-Anteil • Wasseranteil



Abb. 4: Links: Murgangkopfablagerungen im Glyssibach. Rechts: Glyssibachabschnitt, welcher zur Abschätzung der Murgangcharakteristika (Zielgrössen) verwendet wurde. Das Bachbett liegt rund 6 m tiefer als vor dem Murgangereignis.

Fig. 4: Left: Head of a debris flow in the Glyssibach. Right: River reach of the Glyssibach which was used to estimate the target parameters. Today's riverbed is approximately 6 m lower than before the event.

Versuche im Hauptmodell

Die Versuche im Hauptmodell wurden in zwei Etappen durchgeführt. In einer ersten Phase wurden verschiedene Typen des Ausleitbauwerkes entworfen und im Modell getestet, bis die geforderte Funktionalität erreicht war. Die Bestvariante wurde an zwei verschiedenen Standorten untersucht und optimiert. In einer zweiten Phase standen das Ablagerungsverhalten im Ablagerungsraum Untersitsch sowie die ganzheitliche Funktionalität des Schutzkonzeptes im Vordergrund. Durch die Modellierung von mehreren Szenarien konnten die entsprechenden Nachweise erbracht werden.

Tab. 2: Szenario, Murgangvolumen, resp. Hochwasserabfluss und funktionsweise der Bauwerke.

Tab. 2: Scenario, debris flow volume, flood discharge and functioning of the structures.

Szenario	V_{total} Q_{max}	Ziel
30 - jährliches Murgangereignis	25'000 m ³	Vollständiges Durchleiten
100 - jährliches Murgangereignis	67'000 m ³	Vollständiges Ausleiten, Ablagern und teilweise Rückleitung in den Glyssibach
300 - jährliches Murgangereignis	95'000 m ³	Vollständiges Ausleiten, Ablagern und teilweise Rückleitung in den Glyssibach
Extremes Murgangereignis	115'000 m ³	Vollständiges Ausleiten, Ablagern und teilweise Rückleitung in den Glyssibach
30 - jährliches Hochwasser nach Murgangereignis	10 m ³ /s	Erosions- und Abflussverhalten
1'000 - jährliches Hochwasser nach Murgangereignis	36 m ³ /s	Bestimmung Freibord Rückhaltedamm

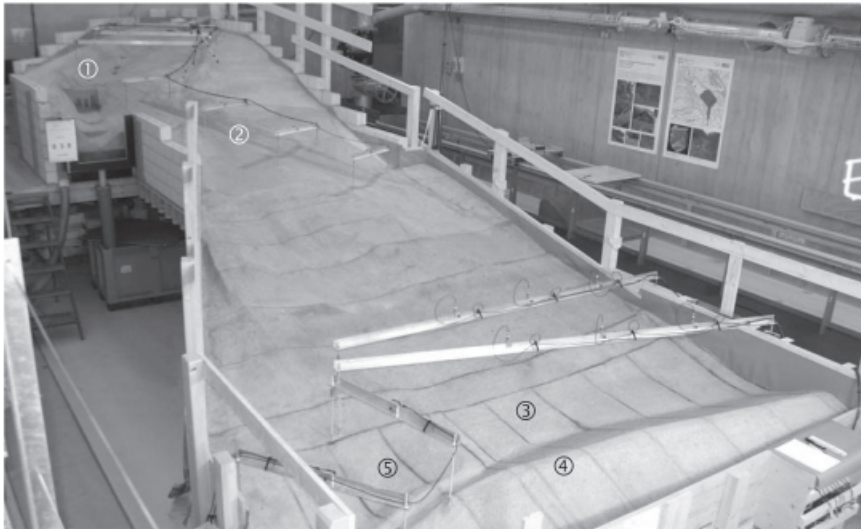


Abb. 5: Gesamtaufnahme des hydraulischen Modells: ① Ausleitbauwerk, ② Überleitkanal, ③ Ablagerungsraum, ④ Rückhaltedamm, ⑤ Rückleitkanal.

Fig. 5: Hydraulic model of the Glyssibach: ① diversion structure, ② conduit, ③ accumulation area, ④ retention dam, ⑤ overflow channel back to main river.

In einem Grossmurgang werden grosse Blöcke in der Murfront transportiert. Darauf basiert das Konzept der Murgangausleitung. Das Ausleitbauwerk wurde so ausgelegt, dass Blöcke grösser als etwa 1.6 m eine Verkläuerung der drei Durchlassöffnungen bewirken und dadurch der Murgang ausgeleitet wird. Bei kleineren Murgängen werden entsprechend nur kleinere Blöcke transportiert. Murgänge mit maximalen Blöcken zwischen 1.2 m und 1.5 m werden durch das Ausleitbauwerk hindurchgeleitet; eine Verkläuerung sollte nicht stattfinden.

Falls bei einem kleineren Murgang grössere Mengen Schwemmholz mittransportiert wird, ist eine vorzeitige Verklauung beim Ausleitbauwerk nicht auszuschliessen. Dies würde jedoch lediglich eine frühzeitige Übersarung des Gebietes Untersitsch bewirken. Der Unterhalt des Waldes im Einzugsgebiet oberhalb des Ausleitbauwerkes ist wichtig. Ein kontinuierliches Ausholzen und Entfernen von grossem Totholz (Stämme und Wurzelstöcke) kann unerwünschte Verklauungen während kleinen Ereignissen verhindern.



Abb. 6: Verhalten des Ausleitbauwerkes bei einem Grossmurgang. Der Murgang wird grösstenteils ausgeleitet.
Fig. 6: Behaviour of the diversion structure during an extreme event. The main part of the debris flow is deviated.

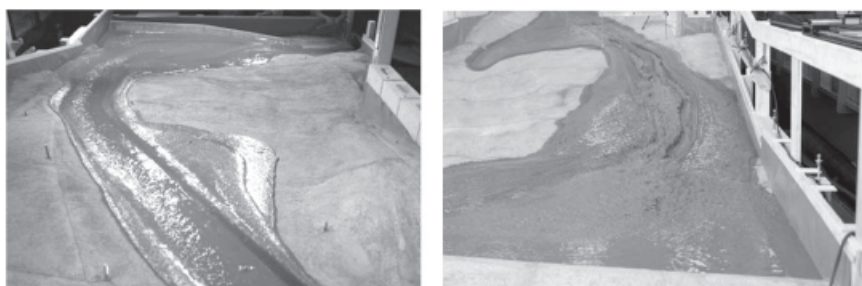


Abb. 7: Links: Ablagerung eines Grossmurgangs im Gebiet Untersitsch. Rechts: Hochwasserabfluss über Murgangablagerung.
Fig. 7: Left: Accumulation of an extreme debris flow in the Untersitsch area. Right: flood discharge on the debris flow accumulation.

Der Murgang lagert sich im Gebiet Untersitsch vor dem Rückhaltedamm ab und füllt den Ablagerungsraum. Im Falle eines Grossereignisses fliesst ein Wasserschlammgemisch entlang des Rückhaltedammes zurück in den Glyssibach. Die Grobkomponenten werden grösstenteils abgelagert. Um ein Überströmen des Rückhaltedammes ausschliessen zu können, wurde der Damm auf folgendes Szenario ausgelegt (Tab. 2): Ausleitung eines Grossmurgangs ins Gebiet Untersitsch mit einem nachfolgenden 1'000 jährlichen Hochwasser, welches über die Murgangablagerung abfliesst (Abb. 7, rechts). Bei diesem Szenario muss das Freibord noch 1 m betragen. Beim Hochwasserabfluss wurde eine starke Strömung entlang des Dammes festgestellt, weshalb der Rückhaltedamm gegen Erosion geschützt werden muss.



Abb. 8: Murgangablagerungen im Gebiet Untersitsch.
Fig. 8: Debris flow accumulation in the Untersitsch area.

Ausleitbauwerk

Aus dem Variantenstudium resultiert ein Ausleitbauwerk in Form einer Pfeilerbalkensperre. Das Ausleitbauwerk ist zwischen zwei bestehenden Wildbachsperren normal zur Fliessrichtung angeordnet. Die schrägen Sperrenflügel definieren eine klare Überfallsektion. Die 11 m breite Krone der Überfallsektion liegt 9 m über der festen Sohle. Die drei Durchlassöffnungen haben je eine Grösse von 3.0 m x 2.5 m. Wegen den starken vertikalen Veränderungen der Gerinnesohle im Glyssibach wird eine feste Sohlrampe mit einem Längs-

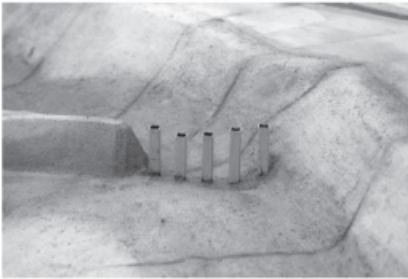


Abb. 9: Links: Vorschlag Projektteam. Rechts: optimierte Geometrie des Ausleitbauwerks.
Fig. 9: Left: Proposal of the engineers. Right: optimized geometry of the diversion structure.

gefälle von 25% unter dem Ausleitbauwerk hindurch gezogen. Damit soll verhindert werden, dass sich im Bereich des Ausleitbauwerks Geschiebe abgelagert und somit die Durchlassöffnungen reduzieren könnten. Somit bleiben die Zuströmbedingungen und die Höhe der Durchlassöffnungen konstant.

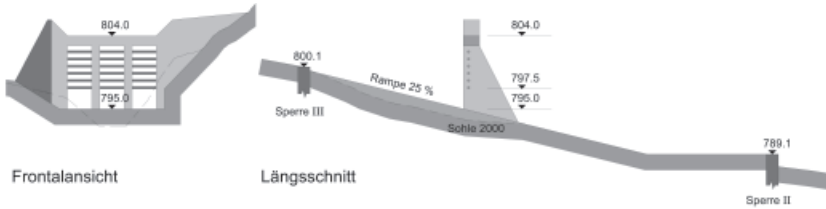


Abb. 10: Ansicht und Längsschnitt Ausleitbauwerk.
Fig. 10: Aspect and section of the diversion structure.

Der Überleitkanal hat eine Breite von 10 m und bis Punkt 776 ein Gefälle von 17%, danach noch ca. 15%. Bis an den Tiefpunkt im Kamm ist talseitig ein 5 m hoher Damm vorgesehen, welcher zum Ausleitbauwerk hin ansteigt. Der untere Teil des Kanals und die Böschungen können landwirtschaftlich bewirtschaftet werden.



Abb. 11: Situation von Ausleitbauwerk und Überleitkanal: ① bestehendes Seitenleitwerk, ② Ausleitbauwerk, ③ Überleitkanal, ④ Ablagerungsraum.

Fig. 11: Plan view of the diversion structure and conduit: ① existing training dike, ② diversion structure, ③ conduit, ④ accumulation area.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit des integralen Schutzkonzeptes, welches aufgrund der umfangreichen durchgeführten Ereignisanalyse erarbeitete wurde, konnte im hydraulischen Modellversuch erbracht werden. Die Modellversuche haben gezeigt, dass das vorgeschlagene Konzept Ausleitbauwerk und Ablagerungsraum funktioniert, und dass das betroffene Siedlungsgebiet vor grossen Murgangereignissen geschützt werden kann.

Grossmurgänge werden durch das Ausleitbauwerk ausgeleitet, kleinere hingegen durchgeleitet. Diese Funktionalität basiert auf der Grösse der mittransportierten Blöcke in der Murfront. Damit eine Verklauung der Durchlassöffnung erfolgt, müssen mehrere Blöcke grösser als 1.6 m in der Murfront mittransportiert werden. Grossmurgänge können nur infolge einer Rutschung im Einzugsgebiet entstehen. Durch die Bankung des Felsens im Einzugsgebiet werden bei zukünftigen Grossmurgängen immer grössere Blöcke in der Murfront vorhanden sein.

Der Murstrom füllt den Ablagerungsraum langsam auf, eine direkte impulsartige Einwirkung auf den Rückhaltedamm findet nicht statt. Im Ablagerungsraum kann die geplanten Volumina aufgenommen werden. Der Rückhaltedamm wird auf einen Grossmurgang mit anschliessendem 1'000-jährlichem Hochwasser ausgelegt, um ein Überströmen ausschliessen zu können.

Verklauungen beim Ausleitbauwerk infolge von Schwemmholz beeinträchtigen die Sicherheit des Siedlungsgebietes nicht. Bei verfrühtem Ausleiten von Murgängen verursachen sie aber häufiger Übersarungen im landwirtschaftlich genutzten Gebiet Undersitsch, welche Kosten für Aufräumarbeiten nach sich ziehen.

LITERATUR

- Coussot P., Piau J.-M. (1995): "A large scale coaxial clinders rheometer for the study of the rheology of natural coarse suspensions". J. Rheol., 39, 105 – 125.
- Fehr, R. (1987): „Einfache Bestimmung der Korngrößenverteilung von Geschiebematerial mit Hilfe der Linienzahlanalyse“. Schweizer Ingenieur und Architekt 105 (Heft 38): Seiten 1104-1109, Zürich.
- Ryter, U., Kienholz, H. (2006): „Die Brienzer Wildbäche im Überblick“ . FAN Fachleute Naturgefahren Schweiz, Herbstkurs 2006 – Unwetter 2005: Lehren für das Risikomanagement, Meiringen 2006.
- TBA-OIK1. (2006): „Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse Glyssibach – Bericht zum Vorprojekt“. Tiefbauamt des Kantons Bern, Oberingenieurkreis I, Thun, Schweiz, (unveröffentlicht).
- Zimmermann, M., Pozzi, A. (2006): „Glyssibach Brienz – Ereignisse 2005 und Massnahmen“. FAN Fachleute Naturgefahren Schweiz, Herbstkurs 2006 – Unwetter 2005: Lehren für das Risikomanagement, Meiringen 2006.

MURGANGAKTIVITÄT AUF EINEM BEWALDETEN KEGEL DER SCHWEIZER ALPEN SEIT DEM SPÄTEN HOLOZÄN

LEHREN AUS DER DER VERGANGENHEIT – AUSWIRKUNGEN FÜR DIE ZUKUNFT

LATE HOLOCENE DEBRIS-FLOW ACTIVITY ON A FORESTED CONE IN THE SWISS ALPS

LESSONS LEARNED FROM THE PAST – IMPLICATIONS FOR THE FUTURE

Markus Stoffel^{1,2}

ZUSAMMENFASSUNG

Die Analyse von 1102 Bäumen auf dem bewaldeten Kegel des Wildbachs Ritigraben (Wallis, Schweizer Alpen) ermöglichte die Rekonstruktion von 123 Murgangereignissen seit AD 1570. Die Resultate deuten darauf hin, dass sich während der kühlen Sommer und infolge regelmässiger Schneefälle in höheren Lagen zwischen den 1570ern und 1860ern verhältnismässig wenig Muren zugetragen haben. Im Gegensatz dazu wird in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts verstärkte Aktivität festgestellt. Ein Maximum an Murgängen ist zwischen 1916 und 1935 zu erkennen, als infolge warm-feuchter Sommer 14 Ereignisse in 20 Jahren aufgetreten sind. Für die letzten zehn Jahre wird dagegen eine äusserst geringe Aktivität mit nur einem Ereignis am 27. August 2002 festgestellt. Da die Materialverfügbarkeit nicht als limitierender Faktor für die Auslösung von Ereignissen angesehen werden kann, muss davon ausgegangen werden, dass das Ausbleiben von Ereignissen auf fehlende Starkniederschläge zurückzuführen ist. Basierend auf unseren Resultaten und den Daten regionaler Klimamodelle dürften in Zukunft tendenziell eher weniger Ereignisse auftreten, da Starkniederschläge im Sommer seltener und eher im Frühling und Herbst vorkommen dürften.

Keywords: Murgang, Frequenz, Magnitude, Saisonalität, auslösende Faktoren, Jahrring, Dendrogeomorphologie, *Larix decidua* Mill., *Picea abies* (L.) Karst., *Pinus cembra* L.

ABSTRACT

The study of 1102 trees growing on the forested cone of the Ritigraben torrent (Valais, Swiss Alps) allowed reconstruction of 123 debris-flow events since AD 1570. Records suggest that cool summers with frequent snowfalls at higher elevations prevented the release of debris flows between the 1570s and 1860s. Enhanced activity is observed at the end of the 19th

¹ Labor für Dendrogeomorphologie, Departement Geowissenschaften, Universität Fribourg, chemin du Musée 4, 1700 Fribourg, Schweiz (Tel.: +41-26-300-9015; Fax: +41-26-300-9746; email: markus.stoffel@unifr.ch)

² Climate Change and Climate Impacts (C³i), Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, route de Drize 7, 1227 Carouge, Schweiz (email: markus.stoffel@unige.ch)

century and culminated between 1916 and 1935, when warm-wet summers prevailed in the Swiss Alps and led to the release of 14 events in the Ritigraben torrent. In contrast, very low activity is observed for the last 10 years with only one debris-flow event recorded on August 27, 2002. As sediment availability does not present a limiting factor, the absence of debris-flow activity is due to an absence of triggering precipitation events. Based on our reconstruction and on results of RCM simulations, there are indications that debris-flow frequencies might continue to decrease in a future climate, as heavy precipitation events are projected to occur less frequently in summer but become more common in spring or fall.

Keywords: debris flow, frequency, magnitude, seasonality, triggers, dendrogeomorphology, tree ring, *Larix decidua* Mill., *Picea abies* (L.) Karst., *Pinus cembra* L.

EINLEITUNG

Starkniederschläge führen in den Schweizer Alpen regelmässig zu verheerenden Überschwemmungen und Murgängen, verursachen massive Schäden und fordern wiederholt auch Menschenleben. Bei der Analyse und Dokumentation der Hochwasser- und Murgangereignisse der letzten Jahre und Jahrzehnte wurde jeweils darauf hingewiesen, dass nebst der dichteren Besiedlung der Alpen und des grösseren Schadenpotentials auch die globale Erwärmung für die offensichtliche Häufung von Ereignissen verantwortlich sei (Christensen & Christensen 2007). Völlig unklar bleibt indes, wie sich ein künftiges Treibhausklima auf die Intensität, die Dauer, die Art und den Zeitpunkt von Niederschlagsereignissen und die damit verbundene Hochwasser- und Muraktivität auswirken werden (Bradzil et al. 2002).

Bisherige Untersuchungen zur möglichen Entwicklung der künftigen Muraktivität basierten vorab auf der Interpretation von Chronikdaten und Klimamessreihen, die einerseits lückenhaft sind und andererseits nur sehr selten bis ins 19. Jahrhundert zurückreichen. So haben etwa Rebetz et al. (1997) Archivdaten von Murgängen im Ritigraben mit Meteodaten verglichen und stellten dabei eine Zunahme der Grosseereignisse seit 1987 fest. Marchi & Tecca (2006) verzeichneten für Italien ebenfalls eine Zunahme der Ereignisse in historischen Dokumenten im Laufe der letzten Jahrzehnte, wobei die grössere Zahl Ereignisse nicht zuletzt auch auf die grössere Verfügbarkeit von Murgangdaten zurückzuführen sei. In den Französischen Alpen schliesslich berichtet Van Steijn (1996) ebenfalls von einer hohen Muraktivität seit den 1980ern, doch scheint dort der Klimawandel nicht eine einheitliche Zunahme der Ereignisse nach sich zu ziehen (Jomelli et al. 2007).

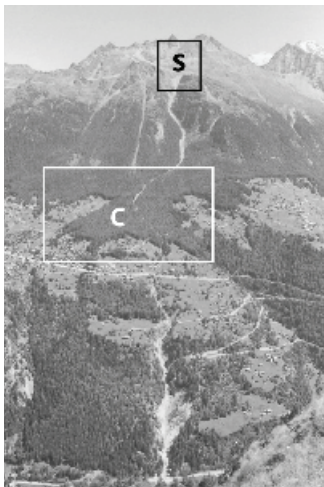
Während die vorgängig genannten Studien durchaus erste Erkenntnisse zur Rolle des Klimawandels auf die Auslösung von Murgängen zu liefern vermochten, so ist ihre Gültigkeit durch die beschränkte Anzahl Daten zu vergangenen Ereignissen und vorherrschenden Wetterverhältnissen doch stark begrenzt.

Auf waldbestandenen Kegeln lassen sich vergangene Ereignisse mit Hilfe dendrogeomorphologischer Untersuchungen rekonstruieren, um so räumliche Muster (Stoffel et al. 2006, 2008, Bollschweiler & Stoffel 2007, Bollschweiler et al. 2007, 2008a) oder die Grösse vergangener Ereignisse (Strunk 1997, Baumann & Kaiser 1999) abschätzen zu können.

Es ist daher das Ziel dieses Beitrags, die vergangene Muraktivität auf dem bewaldeten Kegel des Ritigraben (Schweiz) mit Hilfe von Jahrringanalysen zu untersuchen, um so (i) Aussagen über die Frequenz und die Saisonalität von Ereignissen treffen sowie (ii) mögliche Auswirkungen eines Klimawandels auf das Mursystem und dessen Aktivität skizzieren zu können.

UNTERSUCHUNGSGEBIET

Die Untersuchung zur vergangenen Murgangdynamik und Wachstumsanomalien in Bäumen wurde auf dem Kegel des Ritigraben im Mattertal (Wallis, Schweiz) durchgeführt. Aus Abbildung 1 ist der Verlauf des Wildbachs ersichtlich wie auch sein Anrissgebiet auf rund 2600 m ü. M., wo mittels geophysikalischer Messungen Permafrost nachgewiesen wurde (Lugon & Monbaron 1998). Auf seinem Weg ins Tal quert der Bach zwischen 1800 und 1500 m ü. M. einen Kegel (32 ha). Hier verursacht vorbei fließendes Murmaterial immer wieder Schäden an Lärchen (*Larix decidua* Mill.), Fichten (*Picea abies* (L.) Karst.) und Arven (*Pinus cembra* L.). Beim Zusammenfluss des Ritigraben mit der Matternvispa (1080 m ü. M.) fehlen Ablagerungsformen dagegen weitestgehend.



Das Murmaterial im Ritigraben besteht aus stark zerrütteten metamorphen Graniten und Gneisen. Während die einzelnen Schübe an der Front eines aktiven Blockgletschers entstehen, so wird der grösste Teil des transportierten Materials in der Rinne mobilisiert. Die Muraktivität ist aufgrund der hohen Lage des Anrissgebiets auf die Monate Juni bis September beschränkt (Stoffel et al. 2005a) und aktuelle Ereignisse scheinen vorab durch lang anhaltende Niederschläge im Herbst und weniger durch Sommergewitter ausgelöst zu werden. Archivdaten reichen bis 1922 zurück und umfassen zehn Einträge. Das „mit Abstand grösste Ereignis“ soll sich 1993 zugetragen haben, als durch elf Murschübe 60'000 m³ Material verfrachtet wurden und die Rinne auf dem Kegel teils mehr als 10 m eingetieft wurde (Zimmermann et al. 1997).

Abb1: Der Ritigraben entspringt auf 2600 m ü. M. (S) und quert den bewaldeten Kegel (C), bevor er in die Matternvispa mündet.

Fig1. The Ritigraben torrent takes its source (S) at 2600 m a.s.l., passes through a forested cone (C), before converging with the main Matternvispa river.

MATERIAL UND METHODEN

Auf dem intermediären Murkegel des Ritigraben weist eine Mehrheit der Jahrhunderte alten Nadelbäume Wachstumsanomalien infolge Murgangaktivität auf (d. h. schräggestellte Stammachsen, Verschüttung des Stammfusses, Köpfung, Wurzelzerstörung oder –freilegung, Wunden; Stoffel & Bollschweiler 2008). Basierend auf einer detaillierten geomorphologischen Karte des Kegels und anhand einer äusseren Begutachtung der Bäume

wurden 1102 Bäume ausgewählt, die durch vergangene Muraktivität Schaden genommen haben. Mit Zuwachsbohrern wurden alsdann mindestens zwei Bohrkerne pro Baum gezogen (insgesamt 2246 Bohrkerne; max. 40 cm lang, Ø 6 mm). Zusätzlich zu den gestörten Bäumen wurden 102 in ihrem Wachstum ungestörte Referenzbäume beprobt.

Im Jahrringlabor wurden die Bohrkerne auf Holzträger geklebt und geschliffen, Jahrringe gezählt sowie die Jahrringbreiten mit einem LINTAB-Messtisch und der Software TSAP 3.0 (Rinntech 2007) mit einer Präzision von 1 µm vermessen. Die Messkurven der „Murgangsbäume“ wurden alsdann mit jenen der Referenzbäume abgeglichen, um so Störungen, die den gesamten Bestand betreffen (z. B. Insektenepidemien oder klimatische Einflüsse), von räumlich begrenzten Murgangschäden unterscheiden zu können (Cook & Kairiukstis 1990).

Auf den Wachstumskurven wurde vorab nach abrupten Wachstumseinbrüchen und –schüben gesucht (Schweingruber 2001) und im Falle schräggestellter Baumachsen nach exzentrischem Wachstum (Fantucci & Sorriso-Valvo 1999). Schliesslich wurden die Bohrkerne auch noch unter dem Binokular untersucht, um weitere Anzeichen vergangener Muraktivität in der Form von Kallusgewebe und traumatischen Harzkanalreihen in der Nähe von Wunden festzustellen (Stoffel et al. 2005b, 2006, Perret et al. 2006, Bollschweiler et al. 2008a, b).

Da Nadelbäume nach erfolgter Verletzung direkt mit der Ausbildung von Kallusgewebe oder traumatischen Harzkanalreihen beginnen, kann das Auftreten vergangener Ereignisse mit bis zu monatlicher Genauigkeit rekonstruiert werden (Stoffel et al. 2005c, Stoffel & Beniston 2006, Stoffel, 2008). Die dadurch gewonnenen Resultate zum saisonalen Auftreten der Muren wurden in einem weiteren Schritt mit den Daten der seit 1863 existierenden lokalen Meteorstation Grächen sowie mit Archiveinträgen zu Hochwasserereignissen in den Walliser Alpen (Lütschg-Lötscher 1926, Röthlisberger 1991) verglichen.

RESULTATE

Die Analyse der Murgangsbäume erlaubte die Rekonstruktion von 2263 Wachstumsanomalien infolge vergangener Muraktivität auf dem Kegel des Ritigraben. Die detaillierte Analyse der Anomalien und die räumliche Verteilung der Schäden erlaubt die Rekonstruktion von insgesamt 123 Murgangereignissen für die letzten 440 Jahre.



Abb2: Jahrring-basierte Rekonstruktion der Murgangaktivität auf dem Kegel des Ritigraben zwischen AD 1566 und 2005.

Fig2: Tree-ring based reconstruction of debris flow activity at Ritigraben between AD 1566 and 2005.

Somit konnte die Anzahl bekannter Ereignisse um einen Faktor zwölf verdichtet und die Frequenzreihe um dreieinhalb Jahrhunderte verlängert werden (Abb. 2). Aus den Daten geht auch hervor, dass sich Phasen mit zahlreichen Ereignissen mit solchen geringer Aktivität abwechseln. Eine Häufung von rekonstruierten Murgängen ist vorab in den 1870ern, 1890ern und zwischen 1916 und 1935 augenfällig.

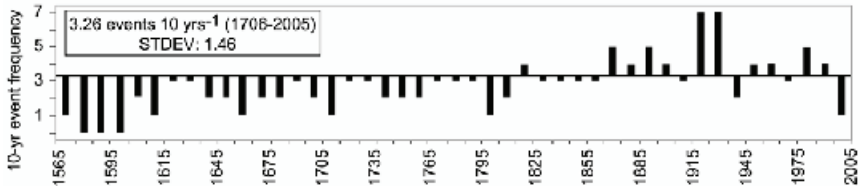


Abb3: Rekonstruierte 10-Jahresfrequenzen der Murgangereignisse zwischen AD 1566 und 2005. Resultate sind als Abweichungen von der mittleren Dekadenfrequenz der letzten 300 Jahre (1706–2005) dargestellt.

Fig3: Reconstructed 10-yr frequencies of debris-flow events between AD 1566 and 2005. Data are presented as variations from the mean decadal frequency of debris flows of the last 300 yrs (1706–2005), corresponding to the mean age of trees sampled.

In Abb. 3 wird die rekonstruierte Frequenz in Zehnjahresabschnitte zusammengefasst und mit der durchschnittlichen Frequenz seit 1706 verglichen (= 3.26 Ereignisse pro zehn Jahre). Die Resultate deuten darauf hin, dass die Muraktivität während der “Kleinen Eiszeit” (1570–1900; Grove 2004) zumeist unterdurchschnittlich war und dass ein Anstieg in der Frequenz erst nach dem letzten grossen Vorstossen der Alpengletscher in den 1860ern verzeichnet wird. Diese Periode verstärkter Aktivität dauerte bis ins frühe 20. Jahrhundert an und erreichte ihren Höhepunkt zwischen 1916 und 1935, als innert 20 Jahren 14 Murgänge aus den Jahrringserien rekonstruiert werden konnten. Danach nahm die Aktivität im Ritigraben tendenziell ab. Eine sehr geringe Aktivität wird für den letzten Zehnjahresabschnitt (1996–2005) festgestellt, als lediglich ein Murgang (27. August 2002) aufgetreten ist. Zusammen mit den Zehnjahresabschnitten 1706–1715 und 1796–1805 weisen die letzten zehn Jahre die geringste Murgangaktivität der letzten 300 Jahre auf.

Die Saisonalität der vergangenen Ereignisse wurde aufgrund der Position der Verletzungen und Harzkanalreihen innerhalb des Jahrrings festgelegt und die Resultate mit Meteodaten und Archiveinträgen zu Hochwasserereignissen verglichen. Abbildung 4 zeigt die Saisonalität der Murgänge auf und deutet auf ein saisonal frühes Auftreten von Ereignissen vor 1900 hin. Dies trifft insbesondere für die Zeit von 1850–1899 zu, wenn mehr als 70% der Ereignisse im Juni und Juli auftraten und kein Murgang im September verzeichnet wurde.

Im Laufe des 20. Jahrhunderts hat sich die Muraktivität zu den Monaten August und September hin verlagert – seit 1962 ist kein Murgang mehr im Juni aufgetreten. Basierend auf unseren Rekonstruktionen scheint es auch, dass bei Niederschlagsereignissen im Mai oder Oktober die tiefen Temperaturen und der damit verbundene Schneefall sowie der gefrorene Boden im Anrissgebiet (>2600 m ü. M.) die Auslösung von Muren verunmöglichen.

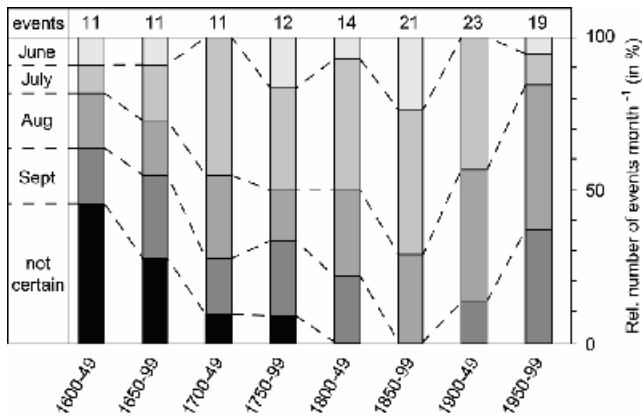


Abb4: Die Saisonalität (JJAS) vergangener Murgangereignisse wurde anhand von Harzkanalreihen in der Nähe von Verletzungen sowie durch einen Abgleich mit Archivdaten rekonstruiert.

Fig4: Seasonality (JJAS) of past debris-flow activity as inferred from the intra-annual position of rows of traumatic resin ducts (TRD) in the tree ring as well as on archival data.

DISKUSSION

In der vorliegenden Studie wurden durch die Untersuchung von 1102 Lärchen, Fichten und Arven insgesamt 123 Murgangereignisse seit 1570 rekonstruiert. Ein Vergleich der rekonstruierten Murgänge mit regionalen Klima- und Wetterdaten (Pfister 1999) zeigt deutlich auf, dass zwischen 1570 und 1860 aufgrund der kühleren Sommer mit regelmässigem Schneefall bis in tiefere Lagen offenbar nur wenige Muren losgelöst werden konnten. Im Gegensatz dazu scheinen die tendenziell wärmeren Temperaturen sowie die überdurchschnittlichen Regenmengen im Sommer und Herbst zwischen 1864 und 1895 zu günstigeren Auslösebedingungen im Anrissgebiet geführt haben. Die Zunahme in der Frequenz lässt sich insbesondere auch zwischen 1916–1935 beobachten, als während warm-feuchten Sommern nicht weniger als 14 Murgangereignisse in den Jahrringserien rekonstruiert werden konnten.

Die vorliegende Frequenz für den Ritigraben deckt sich auch weitgehend mit Archivdaten zu Hochwassern in Flüssen der Schweizer Alpen (Lütschg-Lötscher 1926, Röthlisberger 1991). Wie im Untersuchungsgebiet sind auch in den Chroniken nur wenige Ereignisse während der “Kleinen Eiszeit” anzutreffen. Im Gegensatz zur Murrinne Ritigraben beginnt die Zunahme in der Hochwasserfrequenz in den Schweizer Flüssen aber bereits in den 1830ern (Pfister 1999), also drei Jahrzehnte bevor die Murgangaktivität im Mattertal zunimmt.

Das saisonale Auftreten der Murgänge hat im Laufe der Zeit ebenfalls Veränderungen erfahren. Die Jahrringdaten deuten auf eine Verschiebung der Muraktivität im 20. Jahrhundert von Juni und Juli in Richtung August und September hin – Ereignisse im Juni fehlen seit 1962 ganz. Ein Vergleich der Murfrequenz mit Archivdaten zu Überschwemmungen in benachbarten Gewässern lassen zudem den Schluss zu, dass zwischen den 1860ern und bis in die 1980er lokal begrenzte Sommergewitter für die Auslösung der Muren zuständig waren.

Lang anhaltende und ausgiebige Niederschläge im späten Sommer und Herbst werden vorwiegend durch Tiefdruckgebiete im Golf von Genua und die damit verbundene Staulage entlang des Alpenrückkamms verursacht und waren für die Murgangereignisse von 1987, 1993 und 1994 verantwortlich. Vom 14. bis 16. Oktober 2000 verursachte das Genatief erneut sehr grosse Schäden im Kanton Wallis, der bereits gefrorene Boden und der einsetzende Schneefall in den Anrissgebieten des Mattertals verhinderten jedoch das Auslösen von Murgängen aus dem Periglazialbereich des Ritigraben (>2600 m ü. M.).

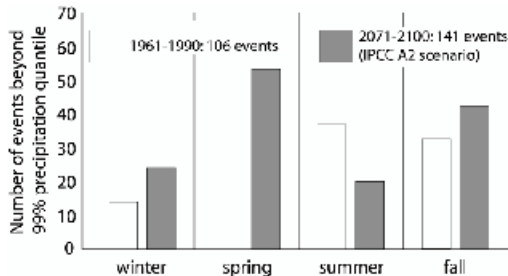


Abb5: Anzahl Starkniederschläge in den Schweizer Alpen jenseits des 99%-Quantils (≥ 60 mm/Tag) im jetzigen (1961–1990) und in einem zukünftigen Treibhausklima (2071–2100), basierend auf dem IPCC A2-Szenario.

Fig5: Number of heavy precipitation events beyond the 99% quantile in the Swiss Alps under current (1961–1990) and in a greenhouse climate (2071–2100) based on the IPCC A2 scenario.

Die rekonstruierte Verschiebung der Muraktivität vom Sommer hin zum frühen Herbst geht mit einer beobachteten Abnahme der Starkniederschläge im Sommer und einer leichten Zunahme der herbstlichen Niederschlagsintensitäten im 20. Jahrhundert einher (Schmidli & Frei 2005). Basierend auf Simulationen des dänischen Klimamodells HIRHAM und unter der Annahme, dass sich bis ins Jahr 2100 die CO_2 -Konzentration der Atmosphäre im Vergleich zur vorindustriellen Zeit verdoppelt haben wird (IPCC-Szenario A2, siehe Nakićenović et al. 2000), dürften sich die Extremniederschläge mit mehr als 60 mm pro Tag noch weiter vom Sommer in Richtung Frühling und Herbst verschieben. Abbildung 5 illustriert diese Verschiebung und zeigt ebenfalls auf, dass die Zahl der Extremniederschläge in einem künftigen Treibhausklima um mehr als 30% zunehmen dürfte.

Die Klimaveränderung und die Zunahme der Extremniederschläge müssen jedoch nicht zwingend zu einer Zunahme in der Frequenz führen – im Gegenteil: Denn in einem künftigen Frühling und Herbst dürften die Temperaturen um 4–7 °C unter den aktuellen Sommertemperaturen verbleiben und durch Schneefälle im Anrissgebiet viel Wasser zurückgehalten werden. Wenn man zusätzlich bedenkt, dass Starkniederschläge in einem künftigen Sommerklima tendenziell seltener auftreten dürften, so kann sogar davon ausgegangen werden, dass im Ritigraben in Zukunft weniger Murgangereignisse verzeichnet werden dürften als dies in der Vergangenheit der Fall war. Aber auch wenn in Zukunft Ereignisse weniger häufig auftreten sollten, so muss in einem Treibhausklima doch mit sehr – wenn nicht sogar ausserordentlich – grossen Sommerereignissen gerechnet werden. Dies vor

allem deshalb, weil bei wärmeren Temperaturen mehr Feuchte transportiert und potentiell ein höherer Abfluss generiert werden kann.

Die Auslösung von Muren hängt aber nebst der Verfügbarkeit von Wasser auch vom Vorhandensein erodierbaren Materials im Anrissgebiet und entlang der Rinne ab. Trotz des Grossereignisses vom September 1993 mit elf Schüben und einem Volumen von rund 60'000 m³ (Zimmermann et al. 1997) stellt die Materialverfügbarkeit zurzeit keinen limitierenden Faktor im Ritigraben dar, weil (i) während der letzten Jahrzehnte jeweils nur rund 10% des Materials aus dem Periglazialbereich losgelöst wurden und (ii) die übersteilten Rinnenwände im Bachverlauf nach dem Ereignis von 1993 teilweise kollabierten und so Material für neue Ereignisse bereitstellen.

Die Verfügbarkeit erodierbaren Materials könnte sich zudem infolge der Klimaerwärmung merklich verändern. Vorausgesetzt, dass sich die Lufttemperaturen bis zum Ende des 21. Jahrhunderts um mehrere Grade erwärmen (wie dies vom IPCC A2-Szenario vorhergesagt wird, Nakićenović et al. 2000), so dürften vor allem auch im Permafrostkörper (Blockgletscher) des Anrissgebiets drastische Veränderungen auftreten. Basierend auf Temperaturmessungen in Bohrlöchern im Anrissgebiet sind die Permafrost-Temperaturen bereits jetzt verhältnismässig hoch (Herz et al. 2003) und es muss mit einer Beschleunigung der Bewegungsraten des Blockgletschers gerechnet werden. Dadurch könnte in absehbarer Zukunft auch im Anrissgebiet mehr Material zur Verfügung gestellt werden.

Die Analyse der räumlichen Verteilung von Bäumen, die gleichzeitig auf ein Ereignis reagieren, und die Datierung der Ablagerungen auf der Kegeloberfläche (Stoffel et al. 2008) lassen weitere Schlüsse auf die vergangene Muraktivität zu. So fällt auf, dass sich Ausbrüche aus der aktuellen Rinne fast ausschliesslich oberhalb 1650 m ü. M. zugetragen haben und in der Vergangenheit mit grosser Regelmässigkeit aufgetreten sind. Die häufigen Gerinneverlagerungen waren möglich, weil vor 1993 seit mindestens 100 Jahre kein Ereignis mehr zu massiver Erosion und zur Eintiefung der Rinne auf dem Kegel geführt hat. Durch den allmählichen Einsturz der aktuellen Rinne und der instabilen Levées seit 1993 muss jedoch davon ausgegangen werden, dass künftige Ereignisse ohne Massnahmen zur Rinnenstabilisierung erneut durch alte Rinnen über den Kegel fliessen und Gebäude bedrohen dürften.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aufgrund unserer Jahrringrekonstruktionen, aufgrund der Materialverfügbarkeit und basierend auf den existierenden Klimamodellen muss davon ausgegangen, dass sich Murgänge in einem künftigen Klima wegen der vorhergesagten Verschiebung der Starkniederschläge eher im Herbst zugetragen werden und tendenziell weniger häufig vorkommen dürften. Durch das weniger häufige Auftreten von Ereignissen dürfte sich das Gerinne zwischen den Schüben stärker verfüllen und bei Starkniederschlägen mehr Material zur Verfügung stellen. Insbesondere bei Starkniederschlägen im Sommer könnten so eher seltene, dafür aber sehr grosse Ereignisse auftreten, die auf dem Kegel und bei der Mündung des Ritigraben in die Mattervispa Schäden an Strasse, Bahn und Gebäuden anrichten könnten.

Nebst den mittel- und langfristigen Veränderungen in der Saisonalität, Grösse und Frequenz von Ereignissen sollte auch den kurzfristigen Veränderungen im aktuellen Gerinneverlauf Beachtung geschenkt werden: Die Rinne hat sich im Bereich des Kegels seit der starken

Eintiefung von 1993 teilweise wieder verfüllt, an anderen Stellen weisen die seitlichen Levées Schwachstellen auf, was bei einem künftigen Grossereignis durchaus zu Ausbrüchen und der Reaktivierung von alten Rinnen und im unteren Bereich des Kegels zu Schäden an Gebäuden und Verkehrswegen führen könnte. Eine Stabilisierung und Aufrechterhaltung der aktuellen Rinne und deren Einhänge könnte dagegen bewirken, dass auch künftige Murgänge im Gerinne verbleiben und Schäden auf dem Kegel und an Hab und Gut verhindert werden können.

DANK

Diese Arbeit wurde teilweise durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU), die Dienststellen für Wald und Landschaft (DWL) und Strassen und Flussbau (DSF) sowie das RP6-EU-Projekt „Ensembles“ finanziert. Der Autor schuldet Delphine Conus, Michael A. Grichting, Igor Lièvre und Gilles Maître seinen aufrichtigen Dank für die Mitarbeit im Gelände und Labor sowie Michelle Bollschweiler für die sorgfältige Durchsicht des vorliegenden Manuskripts.

LITERATUR

- Baumann, F., Kaiser, K.F. (1999): "The Multetta debris fan, Eastern Swiss Alps: A 500-year debris flow chronology". *Arct. Antarc. Alp. Res.*, 31(2): 128-134.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M. (2007): "Debris flows on forested cones – reconstruction and comparison of frequencies in two catchments in Val Ferret, Switzerland." *Nat. Hazard Earth Syst. Sci.*, 7: 207-218.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Schneuwly, D. M. (2008a): "Dynamics in debris-flow activity on a forested cone – a case study using different dendroecological approaches." *Catena*, 72: 67-78.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Schneuwly, D. M., Bourqui, K. (2008b): „Traumatic resin ducts in *Larix decidua* stems impacted by debris flows.“ *Tree Physiol.*, 28: 255-263.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Ehmisch, M. & Monbaron, M. (2007): "Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods." *Geomorphology* 87: 337-351.
- Bradzil, R., Glaser, R., Pfister, C., Stangl, H. (2002): "Floods in Europe – a look into the past." *Science Highlights Pages News* 10.
- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (1990): "Methods of dendrochronology – applications in the environmental sciences." London: Kluwer.
- Christensen, J.H., Christensen, O.B., (2007): „A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century.“ *Clim. Change* 81(1): 7-30.
- Fantucci, R., Sorriso-Valvo, M. (1999): "Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy)." *Geomorphology* 30: 165-174.
- Grove, J.M. (2004): "Little Ice Ages: ancient and modern." London: Routledge.
- Herz, T., King, L., Gubler, H. (2003): "Microclimate within coarse debris of talus slopes in the alpine periglacial belt and its effects on permafrost." In: M. Philipps, S.M. Springman, L.U. Arenson (eds.), *Permafrost. Proc. 8th Int. Conf. on Permafrost*, Zurich, 21-25 July 2003. Rotterdam: Balkema.
- Jomelli, V., Brunstein, D., Grancher, D., Pech P. (2007): "Is the response of hill slope debris flows to recent climate change univocal? A case study in the Massif des Ecrins (French Alps)." *Clim. Change* 85 (1-2): 119-137.

- Lütschg-Lötscher, O. (1926): „Über Niederschlag und Abfluss im Hochgebirge: Sonderdarstellung des Mattmarkgebietes: ein Beitrag zur Fluss- und Gletscherkunde der Schweiz.“ Zürich: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband.
- Lugon, R., Monbaron, M. (1998): „Stabilité des terrains meubles en zone de pergélisol et changements climatiques. Deux études de cas en Valais: Le Ritigraben (Mattertal) et la moraine du Dolent (Val Ferret).“ Zürich: vdf Hochschulverlag AG.
- Marchi, L., Tecca P.R. (2006): “Some observations on the use of data from historical documents in debris-flow studies.” *Nat. Hazard* 38: 301-320.
- Nakićenović, N. et al. (2000): “IPCC Special Report on Emissions Scenarios”. Cambridge: Cambridge University Press.
- Perret, S., Stoffel, M., Kienholz, H. (2006): “Spatial and temporal rockfall activity in a forest stand in the Swiss Prealps – a dendrogeomorphological case study.” *Geomorphology* 74(1-3): 219-231.
- Pfister, C. (1999): „Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen.“ Bern, Stuttgart, Wien: Paul Haupt.
- Rebetez, M., Lugon, R., Baeriswyl, P.A. (1997): “Climatic change and debris flows in high mountain regions: The case study of the Ritigraben torrent (Swiss Alps).” *Clim. Change* 36: 371-389.
- Rinntech. 2007. <http://www.rinntech.com/Products/Lintab.htm>.
- Röthlisberger, G. (1991): „Chronik der Unwetterschäden in der Schweiz.“ *Ber. Forsch'anst. WSL* 330: 1-122.
- Schmidli, J., Frei, C. (2005): “Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century.” *Int. J. Climatol.* 25: 753-771.
- Schweingruber, F.H. (2001): „Dendroökologische Holzanatomie.“ Bern, Stuttgart, Wien: Paul Haupt.
- Stoffel, M. (2008): “Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts.” *Dendrochronologia*: in press.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M. (2008): “Tree-ring analysis in natural hazards research – a state of the art.” *Nat. Hazard. Earth. Syst. Sci.* 8: in press.
- Stoffel, M., Beniston, M. (2006): “On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: A case study from the Swiss Alps.” *Geophys. Res. Letter* 33: L16404.
- Stoffel, M., Conus, D., Grichting, M.A., Lièvre, I., Maître, G. (2008): Unraveling the patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in the Swiss Alps: chronology, environment and implications for the future. *Glob. Planet. Change*: in press.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Hassler, G.R. (2006): “Differentiating events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach.” *Earth Surf. Process. Landf.* 31(11): 1424-1437.
- Stoffel, M., Lièvre, I., Conus, D., Grichting, M.A., Raetzo, H., Gärtner, H.W., Monbaron, M. (2005a): “400 years of debris-flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland.” *Arct. Antarct. Alp. Res.* 37(3), 387-395.
- Stoffel, M., Schneuwly, D., Bollschweiler, M., Lièvre, I., Delaloye, R., Myint, M. & Monbaron, M. (2005b): “Analyzing rockfall activity (1600–2002) in a protection forest – a case study using dendrogeomorphology.” *Geomorphology* 68(3-4): 224-241.
- Stoffel, M., Lièvre, I., Monbaron, M., Perret, S. (2005c): “Seasonal timing of rockfall activity on a forested slope at Täschgufer (Valais, Swiss Alps) – a dendrochronological approach.” *Z. Geomorphol.* 49(1): 89-106.
- Strunk, H. (1997): “Dating of geomorphological processes using dendrogeomorphological methods.” *Catena* 31, 137-151.

- Van Steijn, H. (1996): "Debris flow magnitude-frequency relationships for mountainous regions of Central and Northwest Europe." *Geomorphology* 15: 259-273.
- Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, P., Gsteiger, P., Heiniger, O., Hunziker, G. (1997): „Murgangefahr und Klimaänderung – ein GIS-basierter Ansatz.“ Zürich: vdf Hochschulverlag AG.

JAHRRINGREKONSTRUKTION VERGANGENER MURGANGEREIGNISSE UND ERKENNUNG KÜNFTIGER RISIKEN IN 32 WILDBÄCHEN DER WALLISER ALPEN (SCHWEIZ)

TREE-RING BASED RECONSTRUCTIONS OF PAST DEBRIS-FLOW EVENTS AND ASSESSMENT OF FUTURE RISKS IN 32 TORRENTS OF THE VALAIS ALPS (SWITZERLAND)

Markus Stoffel^{1,2} und Michelle Bollschweiler³

ZUSAMMENFASSUNG

Im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Kantons Wallis werden zurzeit in den Walliser Alpen (Schweiz) an 32 Wildbächen und auf deren Kegeln Jahrringanalysen durchgeführt, um so die vergangene Murgangaktivität zu rekonstruieren und detaillierte Grundlagen hinsichtlich der Erstellung von Gefahrenkarten zu erhalten. Die Projektarbeiten sind auf insgesamt fünf Jahre ausgelegt und wurden im Oktober 2006 in Angriff genommen. In diesem Beitrag wird ein Überblick über das Projekt „RUFINE“ im Allgemeinen sowie die Untersuchungsgebiete der 1. Projektphase (2006–2008) vermittelt. Durch die Präsentation erster Resultate aus dem Matteredal wird zudem aufgezeigt, dass Jahrringuntersuchungen auf bewaldeten Kegeln die Ereigniskataster nicht nur um mehrere Jahrhunderte erweitern, sondern auch um Faktoren im zweistelligen Bereich verdichten und so entscheidend bei der Erstellung von Gefahrenkarten helfen können.

Keywords: Frequenz, Magnitude, auslösende Faktoren, Dendrogeomorphologie, Jahrring.

ABSTRACT

By mandate of the Swiss Federal Office for the Environment (FOEN) and the Canton of Valais, tree-ring analysis are currently being performed at 32 torrent and cones of the Valais Alps (Switzerland) in order to reconstruct previous debris-flow activity and to obtain valuable input data for the realization of hazard maps. The project behind this mandate is called „RUFINE“, has a duration of five years and was launched in October 2006. This paper wants to provide an overview on the project in general and on the study sites of the first phase (2006–2008) in particular. Through the presentation of first results from the Zermatt valley, it is shown that tree-ring analyses may not only help to extend the catastrophe of known events by

¹ Labor für Dendrogeomorphologie, Dept. Geowissenschaften, Universität Fribourg, chemin du Musée 4, 1700 Fribourg, Schweiz (Tel.: +41-26-300-9015; Fax: +41-26-300-9746; email: markus.stoffel@unifr.ch)

² Climate Change and Climate Impacts (C³i), Institut des Sciences de l'Environnement, Université de Genève, route de Drize 7, 1227 Carouge, Schweiz (email: markus.stoffel@unige.ch)

³ Labor für Dendrogeomorphologie, Dept. Geowissenschaften, Universität Fribourg, chemin du Musée 4, 1700 Fribourg, Schweiz (Tel.: +41-26-300-9249; Fax: +41-26-300-9746; email: michelle.bollschweiler@unifr.ch)

several centuries, but also to densify the amount of available data on past events by a two-digit factor, which is of crucial importance for the realization of hazard maps.

Keywords: debris flow, frequency, magnitude, triggers, dendrogeomorphology, tree ring.

EINLEITUNG

Die anhaltenden Niederschläge vom Oktober 2000 haben im Wallis zahlreiche Murgänge ausgelöst und viele Bäche über die Ufer treten lassen. Die Flüsse im Unterlauf vermochten die grossen Wasser-, Geschiebe- und Schwemmholzmengen nicht oder nur bedingt aufzunehmen, weshalb auch hier nachhaltige Beschädigungen oder die völlige Zerstörung von bewirtschaftetem Land und Objekten die Folge waren. Damit stellten die Unwetter vom Oktober 2000 nach den Hochwasserereignissen in den Jahren 1987 und 1993 ein weiteres Ereignis mit beträchtlicher Schadenfolge für den Kanton Wallis dar. Im Zusammenhang mit den erwähnten Unwettern wurden detaillierte Dokumentationen erstellt und mögliche Ursachen erforscht (VAW 1992, BWG 2002). Ebenso wurden im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms (NFP) 31 „Klimaänderung und Naturkatastrophen“ erste Daten zu Hochwasserereignissen der schweizerischen Alpenflüsse während der letzten Jahrhunderte gesammelt (Pfister 1999).

Am Labor für Dendrogeomorphologie der Universität Freiburg (CH) wurden während der letzten Jahre umfangreiche Ereignisrekonstruktionen an Wildbächen und Rinnen vorgenommen, so dass heute namentlich für gewisse Rinnen im Matteredal (Stoffel et al. 2005a, 2008, Stoffel 2008a), Lötschental (Stoffel et al. 2006), Val Ferret (Bollschweiler & Stoffel 2007) sowie bei Naters (Bollschweiler et al. 2007) umfassende Informationen zur vergangenen Muraktivität vorliegen (siehe auch Tabelle 1 unter ‚Vorstudien‘). Durch die umfangreichen Rekonstruktionen von Murreignissen bestehen in den erwähnten Wildbächen und Rinnen bereits heute detaillierte Datenpools zu Ereignissen der Vergangenheit. Im Gegensatz dazu fehlen für andere Einzugsgebiete im Kanton vergleichbare Datengrundlagen oder sind nur lückenhaft vorhanden. So fehlen vorab Angaben zur Frequenz (*wie häufig?*), Volumen (*wie gross?*), räumlichen Mustern (*wo?*) oder Jahreszeitlichkeit (*wann?*) vergangener Ereignisse.

Aus diesem Grund hat das Bundesamt für Umwelt (BAFU) gemeinsam mit dem Kanton Wallis (Dienststelle für Wald und Landschaft, Dienststelle für Strassen und Flussbau) das Labor für Dendrogeomorphologie (www.dendrolab.ch) im Oktober 2006 beauftragt, während fünf Jahren und im Hinblick auf die Erstellung von Gefahrenkarten 32 Rinnen und Wildbäche zu untersuchen und mit Jahrringuntersuchungen vergangene Ereignisse zu erfassen. Nebst der reinen Rekonstruktion vergangener Ereignisse sollen vorab die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Wo und wie häufig traten Murgänge auf?
- Wie viel Material wurde bei vergangenen Ereignissen transportiert und wo wurde es abgelagert?
- Wie hat sich die Frequenz in der Vergangenheit verändert?
- Wann und warum sind Murgänge in der Vergangenheit aufgetreten?
- Welche meteorologischen Bedingungen (insbesondere Temperatur und Niederschlag) und welche Grosswetterlagen herrschten während vergangener Ereignisse vor?
- Wo bestehen heute Schwachstellen im Gerinneverlauf?
- Wo traten in der Vergangenheit Ausbrüche, Übermürungen und Übersarungen auf?

Der vorliegende Beitrag kann die aufgeführten Fragen nicht allesamt beantworten. Vielmehr soll er einen Überblick über das Projekt „RUFINE“ (<walliserdeutsch>: Murgang, Hangmure oder Schlammlawine) vermitteln, indem er (i) Einblick in die verwendeten Methoden gibt, die zur Erfassung vergangener Ereignisse verwendet werden und (ii) eine Zusammenstellung der Untersuchungsgebiete gibt. Zudem werden (iii) für das Mattertal erste Resultate präsentiert.

METHODEN

Die Rekonstruktion alter Murgang- und Wildbachereignisse erfolgt durch die Untersuchung von Bäumen, welche durch vergangene Ereignisse beschädigt wurden. Die Analyse der Zuwachsringe von Bäumen erlaubt eine jahrgenaue Rekonstruktion dieser Ereignisse und lässt so Schlüsse über die Frequenz und Grösse älterer wie jüngerer Murgangereignisse zu.

Geomorphologische Detailkartierung der Rinnen und Kegel

Die Durchführung einer Detailkartierung (1:1000) bildet die Grundlage der gesamten weiteren Untersuchung. Durch die Aufnahme der Ablagerungsformen entlang der Rinnen und auf den Kegeln sowie die Lokalisierung geschädigter und zu beprobender Bäume lassen sich (i) die räumliche Ausbreitung von einzelnen Ereignissen aufzeigen und (ii) im Idealfall Ablagerungen bestimmten Ereignissen zuordnen. Für die Kartierung der Formen und Ablagerungen werden Kompass, Distanz- und Neigungsmesser verwendet (Lièvre 2002).

Dendrogeomorphologische Untersuchungen

Aufbauend auf den Ergebnissen der Kartierung und anhand einer äusseren Begutachtung der Bäume werden in einem weiteren Schritt Laub- und Nadelbäume ausgewählt, die durch vergangene Muraktivität Schaden genommen haben. Der Standort der Bäume wird auf die Detailkarte übertragen, die anschliessende Beprobung erfolgt mit Zuwachsbohrern, im Einzelfall werden Bäume gefällt oder von bereits gefällten Baumstrünken Stammscheiben entnommen. Im Jahrringlabor werden die Bohrkerne auf Holzträger geklebt und geschliffen, Jahrringe gezählt sowie die Jahrringbreiten mit einem LINTAB-Messtisch und der Software TSAP 3.0 (Rinntech 2007) vermessen. Die Messkurven der „Murgangsbäume“ werden alsdann mit jenen der Referenzbäume abgeglichen, um so Störungen, die den gesamten Bestand betreffen (Insektenepidemien, klimatische Einflüsse), von Murgangschäden unterscheiden zu können (Cook & Kairiukstis 1990).

Auf den Wachstumskurven wird vorab nach abruptem Wachstumseinbrüchen und –schüben gesucht (Schweingruber 2001) und im Falle schräg gestellter Baumachsen nach exzentrischem Wachstum (Fantucci & Sorriso-Valvo 1999). Schliesslich werden die Bohrkerne auch noch unter dem Binokular untersucht, um weitere Anzeichen vergangener Muraktivität in der Form von Kallusgewebe und traumatischen Harzkanalreihen in der Nähe von Wunden festzustellen (Stoffel et al. 2006, Bollschweiler et al. 2008a, b, Stoffel 2008b). Für weitere Details zur Dendrogeomorphologie, zur Auswahl der Bäume sowie zur Bearbeitung von Bohrkernen und Stammscheiben sei auf Stoffel & Bollschweiler (2008) verwiesen.

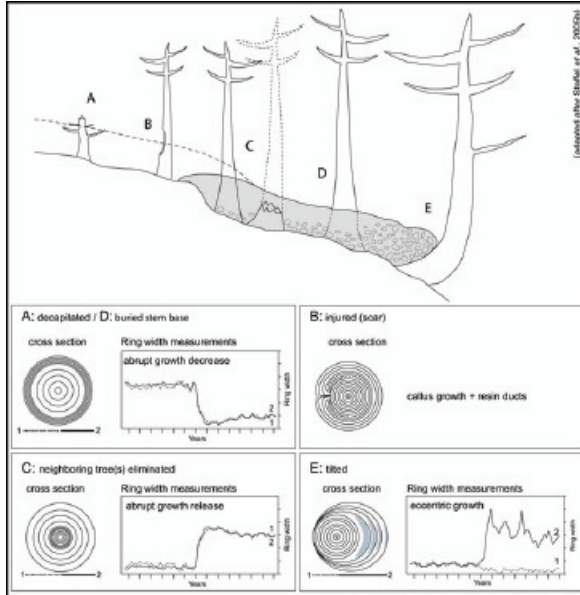


Abb. 1: Bäume können durch Murgänge geköpft, verletzt, schräg gestellt oder verschüttet werden und reagieren auf die Störung mit charakteristischen Wachstumsanomalien (Bildnachweis: Bollschweiler et al. 2007).

Fig. 1: Trees can be decapitated, injured, tilted or (partially) buried by debris flows. They react upon these disturbances with characteristic growth anomalies (Bildnachweis: Bollschweiler et al. 2007).

Frequenzrekonstruktion in einzelnen Wildbäche und Rinnen

Durch die Datierung der Wachstumsanomalien und die räumliche Verteilung der Bäume, die gleichzeitig auf ein Ereignis reagiert haben, lässt sich für die einzelnen Bäche eine Frequenz zur vergangenen Aktivität erstellen. Da aber bei sehr stark eingetieften Rinnen, Bereichen mit jungem Bestand oder sehr flüssigen Muren vereinzelt Ereignisse nicht erfasst werden können, sind die Resultate stets als „minimale Frequenz“ zu betrachten (Bollschweiler et al. 2008a).

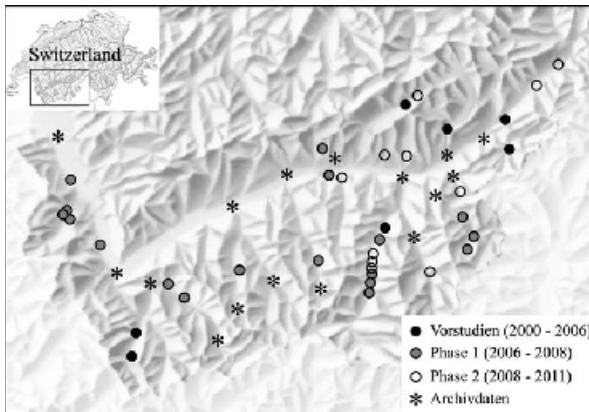
Räumliche Muster, Ausbruchsstellen und Magnituden

In einem weiteren Schritt werden die datierten Reaktionen in den gestörten Bäumen mit der Kartierung der Rinnen und Ablagerungen verbunden, um so ein räumliches Bild für jedes der vergangenen Ereignisse zu erhalten und einzelne Muren und Hochwasserabflüsse in einen Gesamtzusammenhang zu stellen. Dabei kann vor allem die räumliche Ausdehnung von Ereignissen abgeschätzt und das Alter inaktiver Rinnen eruiert werden. Falls in Ablagerungen (Loben, Levées) überlebende Bäume vorhanden sind, lässt sich das beim Ereignis abgelagerte Material quantifizieren und erlaubt so annäherungsweise Rückschlüsse auf die Mindestgröße des Ereignisses. Daneben lässt sich mit Hilfe der Resultate auch eine grobe Abschätzung der unmittelbaren Gefährdung von Gebäuden und Infrastruktur vornehmen. Ein sehr zentraler Aspekt ist dabei die Ausweisung potenzieller Ausbruchsstellen im aktuellen Gerinneverlauf.

Die Rekonstruktionen der einzelnen Untersuchungsgebiete werden in einem aufbauenden Schritt untereinander und alsdann mit den Chronikeintragungen und Abflussdaten der Flüsse im Wallis und Tessin verglichen, um so die Ausdehnung und das räumliche Verhaltensmuster vergangener Ereignisse abzuschätzen (Stoffel et al. 2005a, Bollschweiler & Stoffel 2007). Für Ereignisse der letzten Jahrzehnte sollen auch Niederschlags- und Temperaturdaten (Auer et al. 2005, Begert et al. 2005) herangezogen werden, um das Verhalten der Wildbäche besser abschätzen zu können. Ebenso werden bei Ereignissen mit Tiefdruckgebieten im Golf von Genua und Staulagen am Alpensüdkamm – wie dies im September 1993, September 1994 und Oktober 2000 der Fall war – die Resultate mit Daten aus Norditalien abgeglichen.

UNTERSUCHUNGSGEBIETE

Das Projekt „RUFINE“ wird in zwei Phasen durchgeführt: In einer ersten Phase (Oktober 2006 bis September 2008) werden insgesamt 16 Wildbäche und Rinnen untersucht. Diese sind in Abbildung 2 mit grauen Kreisen dargestellt. Gemeinsam mit den bereits analysierten Rinnen und Kegeln (Vorstudien 2000–2006; schwarze Kreise) sollten somit bis Ende 2008



für 23 Einzugsgebiete im Kan-ton umfassende Informa-tionen zur räumlichen und zeitlichen Muraktivität zur Verfügung stehen. Die mit weissen Kreisen markierten Bäche und Rinnen sind für die zweite Projektphase (2008–2011) vorgesehen, die dargestellte Auswahl ist provisorisch und bedarf der Zustimmung des Kantons Wallis. In den mit Sternen bezeichneten Ortschaften werden Chronikdaten ausgewertet.

Abb. 2: Murgang-Untersuchungsgebiete des Labors für Dendrogeomorphologie im Kanton Wallis (Schweizer Alpen). Rinnen und Wildbäche, die im Rahmen des Projekts „RUFINE“ untersucht werden sollen, sind mit grauen und weissen Kreisen gekennzeichnet.

Fig. 2: Debris-flow study sites of the Laboratory of Dendrogeomorphology in The Canton of Valais (Swiss Alps). The torrents and gullies that shall be analyzed within the project “RUFINE” are indicated with grey and white dots.

Tabelle 1 vermittelt einen Überblick über die Vorstudien (2000–2006) sowie die im Rahmen der ersten Projektphase von „RUFINE“ bearbeiteten Untersuchungsgebiete und das bereits vorhandene Probenmaterial. Bis dato wurden die Projektarbeiten in 13 von 16 Wildbächen in Angriff genommen und auf den Murkegeln sowie entlang der Rinnen 3924 Bohrkerne und Stammscheiben entnommen.

Tab. 1: Detaillierte Übersicht zu den Untersuchungsgebieten des Dendrolabors Fribourg mit Resultaten der Vorarbeiten (2000–2006), Daten zur 1. Phase des Projekts „RUFINE“ (Okt. 2006 – Sept. 2008) und zum aktuellen Stand der Arbeiten (Referenzdatum: Dez. 2007).

Table 1: Detailed overview on the study sites of the Dendrolab Fribourg with results from previous studies, data from the 1st phase of the “RUFINE” project (Oct 2006 – Sept 2008) and the current state of work progress (reference date: Dec 2007).

	Untersuchungsgebiet	Ortschaft	Anzahl Proben	ältestes Ereignis	Anzahl Ereignisse	Abschluss der Arbeiten
Vorstudien	Bruchi	Naters	802	1850	40	abgeschlossen
	Ritigraben	St. Niklaus	2246	1550	123	abgeschlossen
	Birchbach	Blatten	520	1750	19	abgeschlossen
	Reuse de Saleinaz	Orsières	456	1700	39	abgeschlossen
	Torrent de la Fouly	Orsières	100	1800	30	abgeschlossen
Projekt RUFINE (Phase 1, 2006 – 2008)	Laggina	Simplon-Dorf	133	1850	in Bearb.	Mitte 2008
	Grosses Wasser	Gondo	136	1800	in Bearb.	Mitte 2008
	Rots Chi	Zwischbergen	239	1650	in Bearb.	Mitte 2008
	Grosse Grabe	St. Niklaus	222	1800	49	abgeschlossen
	Geisstriftbach	St. Niklaus	719	1750	33	Mitte 2008
	Birchbach	Randa	328	1700	in Bearb.	Ende 2008
	Wildibach	Randa	694	1700	in Bearb.	Ende 2008
	Milibach	Albinen	17	1900	in Bearb.	Mitte 2008
	Illgraben	Leuk-Susten	1315	1800	in Bearb.	Ende 2008
	Torrent du Pétérey	Ayer	70	1850	13	abgeschlossen
	Torrent du Bajin	Pralong	-	-	-	Arbeitsbeginn 2008
	Le Merdenson	Vollèges	51	1850	in Bearb.	Mitte 2008
	Torrent de Lourtier	Bagnes	390	1800	in Bearb.	Ende 2008
	Torrent de la Greffe	Vionnaz	313	1800	in Bearb.	Mitte 2008
	La Vièze	Val d'Illiez	-	-	-	Arbeitsbeginn 2008
St. Barthélemy	St. Maurice	-	-	-	Arbeitsbeginn 2008	

Total (Projekt RUFINE)	4627	-	95
Durchschnitt (Projekt RUFINE)	356	AD 1788	-
Total (inkl. Vorarbeiten 2000-2006)	8751	-	346
Durchschnitt (inkl. Vorarbeiten)	486	AD 1772	-

Eine erste Begutachtung des Probenmaterials zeigt auf, dass aufgrund des beachtlichen Alters der zu untersuchenden Laub- und Nadelbäume in den verschiedenen Untersuchungsgebieten Rekonstruktionen zur Frequenz sowie zu räumlichen Mustern vergangener Ereignisse im Schnitt bis ins späte 18. Jahrhunderts möglich sein dürften. Im Fall der überdurchschnittlich alten und nur minim bewirtschafteten Lärchen-, Fichten- und Arvenbestände des südlichen Mattertals und der Simplon-Südseite erwarten wir für diese Gebiete ausgiebige Resultate ab AD 1700.

Aussagen zu den Frequenzen in den einzelnen Wildbächen sowie zur Anzahl Ereignisse lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt nicht machen, da endgültige Resultate zur vergangenen Muraktivität erst für drei Bäche (Grosse Grabe, Geisstriftbach, Torrent de Péteyre) vorliegen und 95 datierte Murgangereignissen umfassen. Gerade für den Grosse Grabe und den Geisstriftbach liefern die Rekonstruktionen mit 49 bzw. 33 Ereignissen sehr wertvolle Daten, da für beide Wildbäche (praktisch) keine Archivangaben zu früheren Ereignissen existierten.

Die Untersuchungen zur Grössenabschätzung vergangener Murgänge auf diesen und anderen Kegeln laufen noch, Ergebnisse liegen noch keine vor. Ebenso ist auch noch kein Abgleich der rekonstruierten Murgang- mit Meteo- oder Chronikdaten erfolgt. Diese Untersuchungen werden erst nach Abschluss der dendrogeomorphologischen Analysen in Angriff genommen werden.

ERSTE RESULTATE AUS DEM MATTERTAL

Das Mattertal ist für dendrogeomorphologische Untersuchungen in verschiedener Hinsicht besonders geeignet. Einerseits fördern das hangparallele Schichtfallen an den Westflanken und die stark zerrütteten Augengneise das Auftreten von Muren aus den hoch gelegenen Anrissgebieten. Daneben entladen sich an den steilen Kämmen und Gletscherkesseln immer wieder Sommergewitter, im Herbst führen Tiefdrucklagen im Golf von Genua durch das Heranführen feucht-warmer Luftmassen an den Alpensüdkamm zu lang anhaltenden und intensiven Niederschlägen (wie im August 1987, September 1993, September 1994 und im Oktober 2000). Andererseits profitieren die Untersuchungen davon, dass die Murkegel im Talgrund mit ausserordentlich alten Nadelwäldern (Lärchen, Fichten und Arven) bestanden sind und so mehrhundertjährige Rekonstruktionen zulassen.

In Abb. 3 sind die bestehenden sowie die weiteren möglichen Untersuchungsgebiete im Mattertal wiedergegeben. Es ist geplant, bis 2011 auf insgesamt acht Kegeln dendrogeomorphologische Untersuchungen durchzuführen. Zum jetzigen Zeitpunkt existieren Rekonstruktionen lediglich für den Geisstriftbach und Grosse Grabe (Projekt „RUFINE“, Phase 1) sowie den Ritigraben (Vorstudien 2000–2006).

Für diese drei Bäche konnten mit 3187 Bohrkernen und Stammscheiben nicht weniger als 205 Murgangereignisse seit der Mitte des 16. Jahrhunderts rekonstruiert werden (siehe Stoffel & Beniston 2006; Bollschweiler et al. 2008a; Stoffel 2008a; Stoffel et al., 2008). Im Vergleich zu den bislang bekannten Ereignissen (15 dokumentierte Murgänge) stellen die Ergebnisse der Jahrringuntersuchungen für jedes der Gebiete eine Erweiterung der vorhandenen Einträge im Ereigniskataster um einen zweistelligen Faktor dar.

Auf allen Kegeln liessen sich durch die Kombination der Jahrringdaten mit den Ergebnissen der Kartierung Ereignisse in heute inaktiven Rinnen rekonstruieren, bevorzugte Ausbruchstellen im Gelände festlegen und Schwachstellen im Gerinneverlauf aufzeigen. Auf dem Kegel des Ritigraben liessen sich überdies sogar Rückschlüsse auf die Grösse von Murgangereignissen ziehen.

Im Wildibach und Birchbach sind zum jetzigen Zeitpunkt die Kartierung sowie die Beprobung der durch Murgänge geschädigten Lärchen und Fichten abgeschlossen (1022 Bohrkern und Stammscheiben). Aufgrund erster Abschätzungen dürften auch für diese

beiden Wildbäche Rekonstruktionen bis ins früheste 18. Jahrhundert möglich sein und umfassende Daten zur vergangenen Muraktivität erarbeitet werden können.

Die Arbeiten im Dorfbach, Fallzug und Bielzug sollen erst in der zweiten Phase des Projekts „RUFINE“ in Angriff genommen werden. In diesen Bächen werden ebenfalls wichtige Informationen zur vergangenen Muraktivität erwartet. Wegen der kleineren Waldbestände auf den Kegeln, dem jüngeren Alter der Bäume sowie der gleichzeitigen Beeinflussung der Bestände durch Lawinen und Murgänge wird aber mit zeitlich eher limitierten und weniger umfassenden Datensätzen gerechnet.

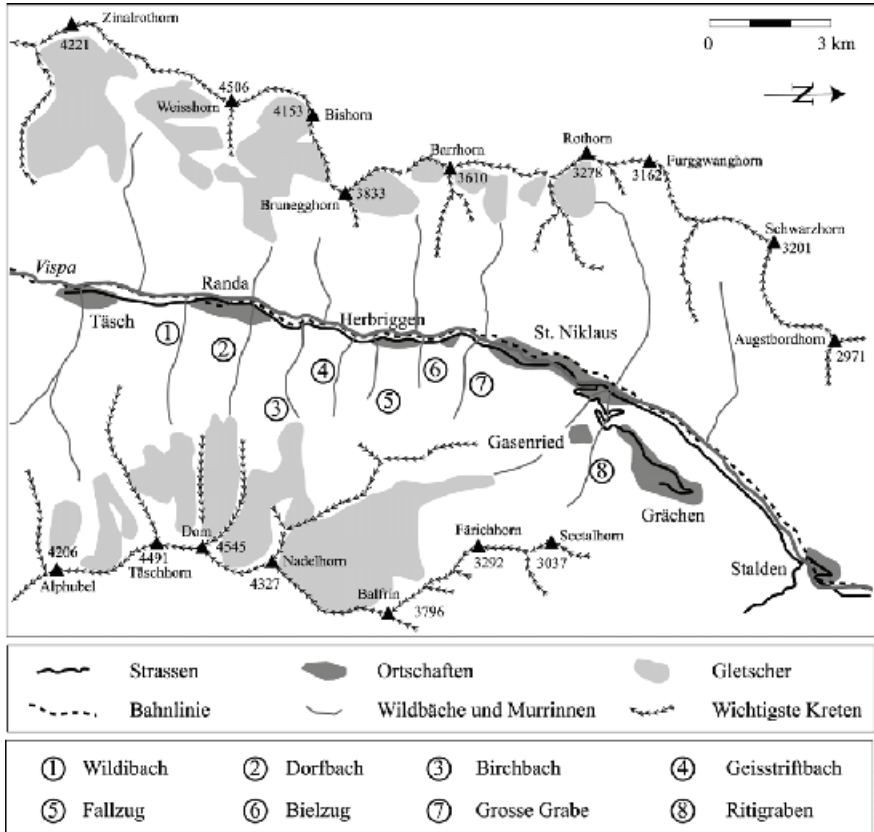


Abb. 3: Untersuchungsgebiete des Labors im Matternal. Für den Geisstriftbach, Grosse Grabe und Ritigraben liegen Resultate bereits vor. Im Wildibach und Birchbach ist die Kartierung und Beprobung abgeschlossen. Der Dorfbach, Fallzug und Bielzug sollen in der zweiten Phase des Projekts „RUFINE“ untersucht werden.

Fig. 3: Study sites in the Zermatt valley. Results already exist for the Geisstriftbach, Grosse Grabe and Ritigraben. The Wildibach and Birchbach torrents are currently being analyzed, whereas analyses in the Dorfbach, Fallzug and Bielzug are only planned for the second phase of the “RUFINE” project.

Die rekonstruierten Frequenzen des Geisstriftbachs, Grosse Grabe und Ritigraben seit 1850 sind in Abb. 4 wiedergegeben. Obwohl die drei Wildbäche vergleichbare Verhältnisse im Anrissgebiet aufweisen, auf ähnlicher Höhe ihren Ursprung haben und nur wenige Kilometer voneinander entfernt sind, weisen sie doch deutliche Unterschiede in der rekonstruierten Frequenz auf. Es scheint, als ob der Ritigraben das mit Abstand aktivste Gerinne sei und im Geisstriftbach die geringste Aktivität vorgeherrscht haben dürfte.

Die beprobten Bäume auf den drei Kegeln weisen allesamt ein beachtliches Alter auf, weshalb sie Ereignisse in ihren Jahrringserien hätten registrieren müssen. Obwohl es durchaus möglich ist, dass die Aktivität in den drei Rinnen tatsächlich verschieden ausgeprägt war, so scheint es auch wahrscheinlich, dass einzelne Ereignisse des Grosse Grabe und des Geisstriftbachs das (stark) eingetiefte Gerinne nicht verlassen haben und sich so der dendrogeomorphologischen Rekonstruktion entziehen konnten.

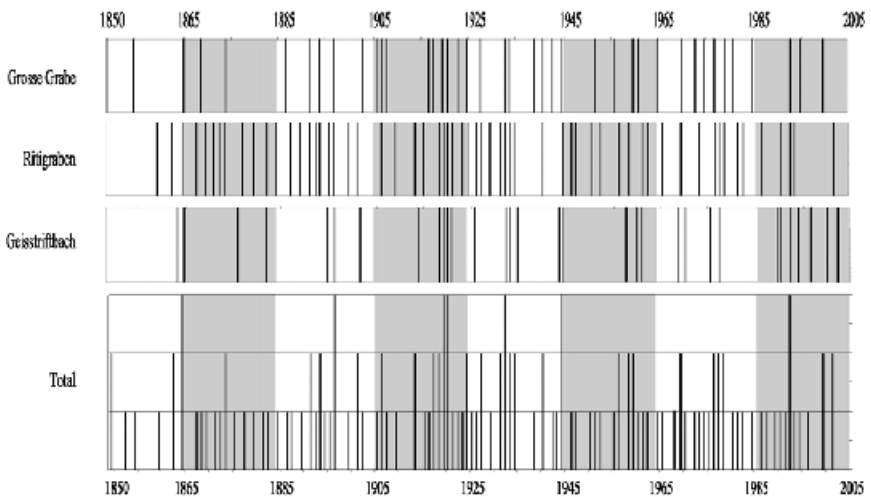


Abb. 4: Vergleich der rekonstruierten Murgangfrequenzen (1850–2007) im Ritigraben, Grosse Grabe und Geisstriftbach. Es fällt auf, dass in einzelnen Jahren mehrere Bäche aktiv waren (Total), in anderen aber nur in jeweils einer Rinne Bäume auf Muren reagiert haben.

Fig. 4: Comparison of frequencies (1850–2007) reconstructed for the Ritigraben, Grosse Grabe and Geisstriftbach torrents. It also seems as if several torrents would have been active during particular events (Total), whereas only one torrent has caused damage to trees in other years.

Nebst den Unterschieden in den einzelnen Bächen und trotz der erwähnten Einschränkungen lassen sich durchaus Ähnlichkeiten im Murgangverhalten ausmachen. So erkennen wir etwa mehrere Jahre, in welchen mindestens zwei Bäche Murgänge produzierten, in anderen Jahren können für alle drei Bäche Ereignisse rekonstruiert werden.

Des Weiteren fällt auf, dass zu Beginn des 20. Jahrhunderts und bis in die 1930er zahlreiche Murgänge auftraten – dies in einer Zeit, als in den Alpen warm-feuchte Sommer vorherrschten (Pfister 1999). Ebenso fällt die geringe Aktivität des späten 20. Jahrhunderts und der letzten Jahre auf, während derer nur sehr vereinzelt Ereignisse registriert wurden. Da

DANK

Diese Arbeit wird durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) sowie die Dienststellen für Wald und Landschaft (DWL) und Strassen und Flussbau (DSF), Kanton Wallis finanziert. Die Autoren sind ihren Masterstudierenden und Doktorierenden Patrick Aeby, Estelle Arbella, Nathalie Chanez, Michael Graupner, Oliver M. Hitz, Astrid Leutwiler, Joëlle Pfister, Romain Schlaeppy, Annina Sorg und Susanne Widmer zu aufrichtigem Dank für die Arbeit und Hilfe im Gelände und Labor verpflichtet.

LITERATUR

- Auer, I., Böhm, R., Jurkovi, A., Orlik, A., Potzmann, R., Schöner, W., Ungersböck, M., Brunetti, M., Nanni, T., Maugeri, M., Briffa, K., Jones, P., Efthymiadis, D., Mestre, O., Moisselin, J. M., Begert, M., Brazdil, R., Bochnicek, O., Cegnar, T., Gajiapka, M., Zaninovi, K., Majstorovi, S., Szalai, S., Szentimrey, T., Percalli, L. (2005): „A new instrumental precipitation dataset for the greater alpine region for the period 1800-2002.“ *Int. J. Climatol.*, 25: 139-166.
- Begert, M., Schlegel, T., Kirchhofer, W. (2005): „Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000.“ *Int. J. Climatol.*, 25: 65-80.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M. (2007): „Debris flows on forested cones – reconstruction and comparison of frequencies in two catchments in Val Ferret, Switzerland.“ *Nat. Hazard Earth Syst. Sci.*, 7: 207-218.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Schneuwly, D. M. (2008a): „Dynamics in debris-flow activity on a forested cone – a case study using different dendroecological approaches.“ *Catena*, 72: 67-78.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Schneuwly, D. M., Bourqui, K. (2008b): „Traumatic resin ducts in *Larix decidua* stems impacted by debris flows.“ *Tree Physiol.*, 28: 255-263.
- Bollschweiler, M., Stoffel, M., Ehmisch, M., Monbaron, M. (2007): „Reconstructing spatio-temporal patterns of debris-flow activity using dendrogeomorphological methods.“ *Geomorphology* 87: 337-351.
- BWG (Bundesamt für Wasser und Geologie) (2002): „Hochwasser 2000 – Les crues 2000.“ *Berichte des Bundesamtes für Wasser und Geologie, Serie Wasser 2: 1-248.*
- Cook, E.R., Kairiukstis, L.A. (1990): „Methods of dendrochronology – applications in the environmental sciences.“ London: Kluwer.
- Fantucci, R., Sorriso-Valvo, M. (1999): „Dendrogeomorphological analysis of a slope near Lago, Calabria (Italy).“ *Geomorphology* 30: 165-174.
- Lièvre, I. (2002): „Détermination de la fréquence de laves torrentielles sur le torrent du Ritigraben (Valais, Suisse).“ *Diplomarbeit, Universität Fribourg*, 61 pp.
- Pfister, C. (1999): „Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen.“ Bern, Stuttgart, Wien: Paul Haupt.
- Rinntech. 2007. <http://www.rinntech.com/Products/Lintab.htm>.
- Schweingruber, F. H. (2001): „Dendroökologische Holzanatomie.“ Bern, Stuttgart, Wien: Paul Haupt.
- Stoffel, M. (2008a): „Murgangaktivität auf einem bewaldeten Kegel der Schweizer Alpen seit dem späten Holozän. Lehren aus der Vergangenheit – Auswirkungen für die Zukunft.“ 11. Kongress Interpraevent 2008, Dornbirn, Tagungsband.
- Stoffel, M. (2008b): „Dating past geomorphic processes with tangential rows of traumatic resin ducts.“ *Dendrochronologia*: in press.

- Stoffel, M., Bollschweiler, M. (2008): "Tree-ring analysis in natural hazards research – a state of the art." *Nat. Hazard. Earth. Syst. Sci.* 8: in press.
- Stoffel, M., Beniston, M. (2006): "On the incidence of debris flows from the early Little Ice Age to a future greenhouse climate: A case study from the Swiss Alps." *Geophys. Res. Letter* 33: L16404.
- Stoffel, M., Conus, D., Grichting, M.A., Lièvre, I., Maître, G. (2008): Unraveling the patterns of late Holocene debris-flow activity on a cone in the Swiss Alps: chronology, environment and implications for the future. *Glob. Planet. Change*: in press.
- Stoffel, M., Bollschweiler, M., Hassler, G.R. (2006): "Differentiating events on a cone influenced by debris-flow and snow avalanche activity – a dendrogeomorphological approach." *Earth Surf. Process. Landf.* 31(11): 1424-1437.
- Stoffel, M., Lièvre, I., Conus, D., Grichting, M.A., Raetzo, H., Gärtner, H.W., Monbaron, M. (2005a): "400 years of debris-flow activity and triggering weather conditions: Ritigraben, Valais, Switzerland." *Arct. Antarc. Alp. Res.* 37(3), 387-395.
- Stoffel, M., Schneuwly, D., Bollschweiler, M., Lièvre, I., Delaloye, R., Myint, M., Monbaron, M. (2005b) "Analyzing rockfall activity (1600-2002) in a protection forest – a case study using dendrogeomorphology." *Geomorphology* 68(3-4), 224-241.
- VAW (Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie) (1992): „Murgänge 1987. Dokumentation und Analyse im Auftrag des Bundesamtes für Wasserwirtschaft.“ Bericht Nr. 97.6. Zürich. 620 pp.

INSPEKTION UND ÜBERWACHUNG VON SCHUTZANLAGEN DER WILDBACHVERBAUUNG IN ÖSTERREICH

MAINTENANCE AND MONITORING OF PROTECTION WORKS FOR TORRENT CONTROL IN AUSTRIA

Jürgen Suda¹, Martin Jenni² und Florian Rudolf-Miklau³

ZUSAMMENFASSUNG

Im folgenden Artikel wird ein Erhaltungskonzept (Zustandserfassung und –überwachung) für Schutzbauwerke der Wildbachverbauung auf Basis der ÖNORM – Regel 24803 vorgestellt. Es wurde vom Institut für konstruktiven Ingenieurbau (BOKU) im Auftrag des BMLFUW erarbeitet. Die Erhaltung läuft dabei zweistufig ab. Die erste Stufe, die Inspektion, dient dazu den augenblicklichen Zustand des Bauwerkes zu beschreiben und zu beurteilen. Die zweite Stufe beinhaltet die konkreten baulichen oder organisatorischen Maßnahmen. Um einen ökonomischen Einsatz der personellen und finanziellen Ressourcen zu gewährleisten erfolgt eine dreistufige Einteilung der Inspektion in die Laufende Überwachung (LÜ) die Kontrolle (K) und die Prüfung (P). Im Zuge des Artikels werden Instrumente und Grundlagen (Schädigungsmechanismen) beschrieben um Schutzbauwerke zu erfassen, deren Zustand zu bewerten und daraus Erhaltungsmaßnahmen abzuleiten.

Keywords: Schutzanlagen, Wildbach, Zustandsüberwachung

ABSTRACT

This paper deals with a maintenance concept (monitoring concept) for protection works developed within the ÖNORM 24803. This concept is worked out by the Institute of Structural Engineering (BOKU) by order of the BMLFUW. It is based on two main parts. The first part, the inspection, focuses on description and visual assessment of the current condition of a structure. The second part deals with discrete structural and organizational measures. The subdivision of the inspection in regular supervision, control and examination guarantees an economic use of the personnel and financial resources. The aim of this contribution is to introduce to instruments and basics for the maintenance of protection works.

Keywords: protection works, torrent, monitoring

1 Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Department für Bautechnik + Naturgefahren, Universität für Bodenkultur (BOKU), Peter Jordan Straße 82, 1190 Wien, Österreich (Tel.: +43-1-47654-5256; Fax:-5299; email: juergen.suda@boku.ac.at)

2 Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung Bludenz, Austria (Tel.: +43-5552/62006; email: martin.jenni@die-wildbach.at)

3 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Abteilung IV/5, Schutz vor Wildbächen und Lawinen; Bereich Technische Schutzmaßnahmen und Risikomanagement. , Wien, Austria (Tel.: +43-1-71100 - 7333; email: florian.rudolf-miklau@lebensministerium.at)

EINLEITUNG

Schutzbauwerke des FTD f. WLW werden in Österreich seit dem Jahr 1883 systematisch errichtet und in Stand gehalten. Zurzeit investiert der Bund jährlich rund € 45 Mio. in technische Wildbachschutzmaßnahmen, € 10 Mio. in Lawinenschutzmaßnahmen und € 4 Mio. in Erosionsschutzmaßnahmen (Steinschlag, Rutschungen). Diese Beträge erhöhen sich zusätzlich um die Anteile der Bundesländer und der Interessenten (z.B. Gemeinden, Wassergenossenschaften). Insgesamt wurden im Jahr 2006 in Österreich € 112 Mio. in technische Schutzmaßnahmen investiert.

Im Laufe der Zeit wurde ein umfangreicher Bestand an Anlagen mit direkter Schutzwirkung für den Siedlungsraum und für Infrastruktureinrichtungen geschaffen, der die Grundlage für ein hohes Sicherheitsniveau vor Naturgefahren und somit vieler Orts auch eine Voraussetzung für die Besiedelbarkeit der betreffenden Region bildet. Die laufende Erhaltung der Schutzwirkung dieser Anlagen (Schutzbauwerke) sowie im Bedarfsfall die Sanierung und Erneuerung des Bauzustandes stellt die Voraussetzung dar, dass das erreichte Sicherheitsniveau nachhaltig bestehen bleibt. Neben dem Neubau ist jedoch auch die laufende Erhaltung mit einem finanziellen Aufwand verbunden. Laut *Rudolf/Agerer, 2007* sind für Schutzbauwerke je nach Baumaterial und Art der Beanspruchung zwischen 0,1 und 1,0 % der Herstellungskosten jährlich für die Instandhaltung zu veranschlagen.

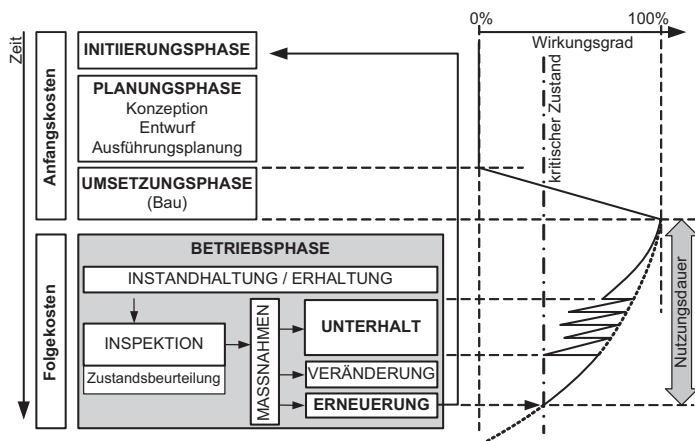


Abb 1: Schematische Darstellung der Lebensphasen und der Lebenszykluskosten einer Schutzanlage und dem jeweiligen Wirkungsgrad der Schutzanlage, die Instandhaltung beeinflusst die Kosten der Betriebsphase
Fig 1: Schematic figure of life cycle periods and costs for protection measures

Versucht man ein Optimum der Gesamtkosten zu erreichen muß der gesamte Lebenszyklus eines Bauwerkes betrachtet werden. Das Konzept eines auf die Kosten eines Lebenszyklus abstellenden Kostenmanagements (Live Cycle Costing/LCC) bezieht neben den Planungs- und Baukosten auch die Erhaltungskosten für die gesamte Lebensdauer von Anlagen mit ein (Abb 1). Darüber hinaus werden alle anderen Kosten berücksichtigt, die während der Nutzungsphase anfallen. Die Lebenszykluskosten umfassen üblicherweise die Planungskosten, Baukosten, Betriebskosten, Instandhaltungs- und Wartungskosten, Instandsetzungs- und Sanierungskosten, sowie die Kosten für eine eventuelle spätere

Nutzungsänderung und die Kosten für den Abtrag und die Entsorgung der Baumaterialien. Vom volkswirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet ist es sinnvoll, das Design des Schutzsystems und die Erhaltungsstrategie während der Betriebsphase so zu wählen, dass die Lebenszykluskosten der Anlagen ein Minimum werden, ohne ein festgelegtes Sicherheitsniveau zu unterschreiten. Um verschiedene Varianten der Erhaltungsstrategien zu entwickeln und zu optimieren benötigt man allerdings umfangreiche Informationen über das Langzeitverhalten der Schutzanlagen und der jeweils anfallenden Kosten.

Ein auf dem Lebenszyklus basierendes Kostenmanagement benötigt somit ein operatives Instrument, welches der Sammlung und Aufbereitung von Informationen aus allen Lebensphasen der Anlage ermöglicht (Abb 1). Erst auf dieser Grundlage können die mit dem Betrieb und dem Abtrag (Entsorgung) der Anlage verbundenen Vorgänge genau analysiert und später prognostiziert werden. Im Folgenden soll das für Österreich entwickelte System zur Instandhaltung und Überwachung der Schutzanlagen während der Betriebsphase im Bereich der Wildbachverbauung dargestellt werden.

INSTANDHALTUNG VON SCHUTZBAUWERKEN

Jedes technische Bauwerk ist in der Betriebsphase durch die Umgebungsbedingungen und die Funktionserfüllung einem Alterungs- und Abnutzungsprozess ausgesetzt. Dadurch ergibt sich für jedes Bauwerk eine beschränkte Lebensdauer (Abb 1). Nach der Errichtung erreicht die Schutzmaßnahme den vollen Wirkungsgrad. Dieser nimmt über die Nutzungsdauer je nach Erhaltungsstrategie ab. Bei der Konzeption geht man von einer plangemäßen Nutzungsdauer aus, deren Optimum von sicherheitsrelevanten und ökonomischen Überlegungen abhängig ist. Die ÖNORM EN 1990 schlägt für Brücken und andere Ingenieurbauwerke eine optimale Nutzungsdauer von 100 Jahren vor. Für austauschbare Tragwerksteile sollte eine Nutzungsdauer von 10 - 25 Jahren angestrebt werden. Um dieser geplanten optimalen Lebensdauer des Bauwerkes möglichst nahe zu kommen, muss es regelmäßig instand gehalten werden, besonders die austauschbaren Tragwerksteile (z.B. Rechen, Balken, Kronenpanzerungen in der Abflusssektion). Die Instandhaltung (Erhaltung) eines Bauwerkes ist „die Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann.“ (Schröder, 2005, 30f)

Die technischen und organisatorischen Grundlagen der Instandhaltung (Erhaltung) von Bauwerken bedarf, wie viele anderer technischer Fragen, einer Standardisierung oder Normung, um eine einheitliche Vorgehensweise zu gewährleisten bzw. hinsichtlich der sicherheitsrelevanten Fragen einen einheitlichen Stand der Technik vorzugeben. Im Bereich von Brückenbauwerken bestehen in Österreich seit Jahren gute Erfahrungen mit der normativen Regelung der Instandhaltung und des Zustandsmonitorings (z.B.: *RVS 13.71*). Auch für den Bereich der Stauanlagen (Wasserrückhalteanlagen) liegen entsprechende Regelwerke vor. Für Schutzbauwerke der Wildbachverbauung liegt seit 2007 die ÖNORM - Regel ONR 24803: Betrieb, Überwachung und Instandhaltung vor.

Die **Instandhaltung** auf Basis dieser ÖNORM - Regel läuft in zwei Stufen ab (Abb 2). Die erste Stufe ist die Inspektion, welche dazu dient den augenblicklichen Zustand des Bauwerkes zu beschreiben und zu bewerten. Die zweite Stufe beinhaltet die konkreten baulichen und organisatorischen Maßnahmen zur Instandhaltung der Anlagen. Die Entscheidung über Art

und Umfang der auszuführenden Maßnahmen wird in Abhängigkeit der Zustandsbewertung getroffen. Geht man so vor ist es möglich, nachvollziehbare und ökonomische Entscheidungen zu treffen.

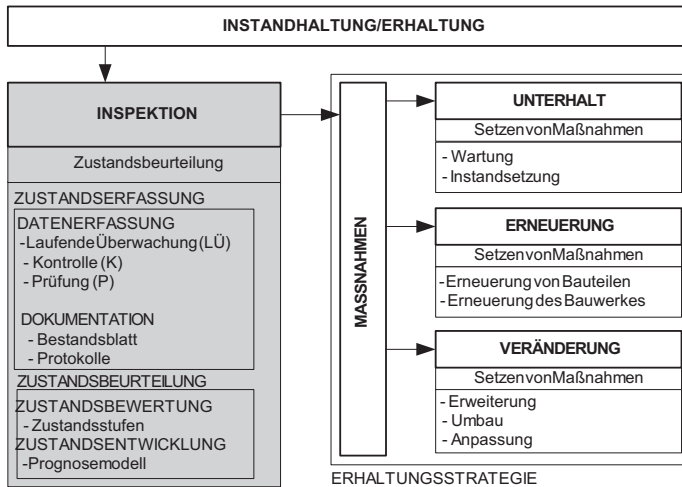


Abb 2: Übersicht über die Teile der Instandhaltung von Schutzbauwerken, aus *Suda et al., 2007*

Fig 2: Overview of the maintenance tools for torrent control measures; in *Suda et al., 2007*

Die Maßnahmen können je nach Art, Schwere und Umfang in jene des Bauwerksunterhaltes, der Erneuerung und der Veränderung eingeteilt werden.

Der **Unterhalt** (Bauwerksunterhalt) umfasst die Wartung und die Instandsetzung der Anlagen. Die **Wartung** von Schutzanlagen umfasst jene Maßnahmen, die die Zunahme des altersabhängigen Abnutzungsgrades verzögern. Er beinhaltet kleinere Maßnahmen, die zur Sicherung der Substanz und der Funktion erforderlich sind. Dazu gehört die Freihaltung der Gewässer und Abflusssektionen der Bauwerke von abflusshemmendem Bewuchs, absturzgefährdeten Bäumen und von Geschiebeablagerungen. Als **Instandsetzung** wird die Summe von jenen Maßnahmen bezeichnet, die die Funktionsfähigkeit einer Schutzanlage im Falle ihrer Beeinträchtigung oder Einschränkung, beispielsweise durch Schäden, Baumängel, Funktionsbeeinträchtigungen oder als Folge eines Extremereignisses wieder herstellen. Er umfasst bauliche Maßnahmen kleineren Umfangs ohne nennenswerte Anhebung des Gebrauchswertes. Dazu gehören neben Maßnahmen an den Bauwerken selbst auch die Behebung kleinerer Uferanbrüche, die im Zusammenhang mit der Standsicherheit des Schutzbauwerkes zu sehen sind.

Die **Veränderung** einer Schutzanlage der Wildbachverbauung ist die strukturelle und/oder funktionale Modifikation. Die Veränderung kann in einer Erweiterung, einem Umbau oder einer Anpassung der Anlage bestehen. Beispielsweise spricht man von einer Erweiterung wenn auf eine bestehende Konsolidierungssperre ein Dosierwerk aufgesetzt wird. Ein Umbau hingegen ist zum Beispiel, wenn aus einer Dosiersperre durch baulichen Verschluss der Öffnungen eine reine Konsolidierungssperre gemacht wird. Unter einer Anpassung versteht

man z.B. die Anpassung der Größe der Abflusssektion an geänderte hydrologische Verhältnisse.

Die **Erneuerung** ist der „Ersatz von Bauwerksteilen oder eines ganzen Bauwerks durch Abbruch und Neubau, wodurch der volle Gebrauchswert der Anlage wieder hergestellt wird.“ (BMVIT, 1997, 6f.) Das Vormauern eines gesamten Sperrnkörpers oder das neue Aufsetzen einer abgesicherten Abflusssektion ohne in den Dimensionen etwas zu verändern zählt ebenfalls zu den Maßnahmen der Erneuerung und nicht der Veränderung.

INSPEKTION VON SCHUTZBAUWERKEN

In der Inspektion (Abb 2) sind alle Tätigkeiten zur „Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustandes eines technischen Bauwerkes einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung“ (DIN 31051, 3) zusammengefasst. Sie dient dem Zweck, die Zuverlässigkeit (Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit, Dauerhaftigkeit) und Funktionssicherheit des Bauwerkes zu gewährleisten.

Die Tätigkeiten im Zuge der Inspektion gliedern sich in die Zustandserfassung und die Zustandsbeurteilung (Abb 2 und Abb 3). Im Zuge der **Zustandserfassung** werden der aktuelle Zustand und die bisherige Entwicklung des Bauwerkes erhoben. Dazu gehört die Erhebung der verwendeten Werkstoffe und deren Eigenschaften, der geometrischen Abmessungen, der Einwirkungen und des statischen Systems. Im Zuge der **Zustandsbeurteilung** werden die erfassten Daten bewertet und analysiert. Dies geschieht auf Basis der Zustandserfassung und -bewertung (aktueller Zustand) sowie einer Prognose der weiteren Zustandsentwicklung und deren Konsequenzen im Laufe einer festgelegten Restnutzungsdauer. In Verbindung mit der Erhaltungsstrategie werden Maßnahmen abgeleitet.

Bauwerkskategorien

Die Einteilung in Bauwerkskategorien hat das Ziel, den Inspektionsaufwand nach einem nachvollziehbaren Schema auf ein Minimum zu reduzieren und gleichzeitig einen gewünschten Sicherheitslevel zu gewährleisten.

Das Verbauungssystem eines Einzugsgebietes besteht aus einer Vielzahl von Schutzbauwerken, die in einer Wirkungsbeziehung zueinander stehen. Innerhalb dieser Wirkungsbeziehungen gibt es Bauwerke, deren Versagen höhere und geringere negative Auswirkungen auf das restliche Verbauungssystem und die geschützten Bereiche haben. Eine ökonomische Betrachtung der Inspektionsroutinen zeigt die Notwendigkeit, sicherheitstechnisch relevante Bauwerke (Schlüsselbauwerke) öfter zu überwachen als die restlichen (Standardbauwerke). Die Auswahl der relevanten Bauwerke darf natürlich nicht undifferenziert erfolgen. Es ist erforderlich, einen nachvollziehbaren, standardisierten Entscheidungsprozess zu entwickeln.

Die Wertigkeit definiert sich über die Auswirkungen eines Versagens eines Einzelbauwerkes auf das restliche Verbauungssystem oder auf die durch die Verbauung geschützten Bereiche. Die Einteilung kann, basierend auf den Schadensfolgeklassen der *ÖNORM EN 1990*, nach Tab. 1 erfolgen. Weiters sind in den Entscheidungsprozess folgende Punkte einzubeziehen:

- Funktion und Art der Schutzwirkung des Bauwerks
- Beanspruchung durch Prozesse und Lasten
- Lage des Bauwerks bezüglich anderer Bauwerke (Bauwerkverband)
- Lage des Bauwerkes bezüglich des Gefährdungsgebietes
- Sensibilität des Bauwerks gegen Einwirkung (Ereignisse) oder Funktionsstörungen
- Erreichbarkeit des Bauwerkes (Aufschließung)

Tab. 1: Zusammenhang zwischen den Auswirkungen auf das Verbauungssystem und die geschützten Bereiche bei Versagen eines Bauwerkes und den Schadensfolgeklassen nach ÖNORM EN 1990

Tab. 1: Relation between a group of structures and the area to be protected regarding the failure consequences due to the breakdown of one structure of a group

Auswirkungen auf das Verbauungssystem	Auswirkungen auf die geschützten Bereiche		
	hoch	mittel	gering
	dicht besiedelte Gebiete, Siedlungskerne, wichtige Infrastruktureinrichtungen, überregionale Verkehrswege; hohes Personenrisiko	locker besiedelte Gebiete, Einzelgebäude, regionale Verkehrswege; mittleres Personenrisiko	Nebengebäude, untergeordnete Infrastruktur, Nebenverkehrswege; geringes Personenrisiko
hoch (Auswirkungen auf die gesamte Verbauung - Serienversagen)	CC3	CC3	CC3
Mittel	CC3	CC3	CC2
Gering (nur lokale Auswirkungen, keine Auswirkung auf das Versagen weiterer Bauwerke)	CC3	CC2	CC1
Die Schadensfolgeklassen sind nach ÖNORM EN 1990 wie folgt definiert: Schadensfolgeklasse CC3: hohe Folgen für Menschenleben <u>oder</u> sehr große wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen. Schadensfolgeklasse CC2: mittlere Folgen für Menschenleben <u>und</u> beträchtliche wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen. Schadensfolgeklasse CC1: niedrigere Folgen für Menschenleben <u>und</u> keine oder vernachlässigbare wirtschaftliche, soziale oder umweltbeeinträchtigende Folgen.			

In die Kategorisierung ist auch die Wirkung von Bauwerksverbänden einzubeziehen. Dabei sind folgende Wirkungsbeziehungen von Bedeutung:

- Räumlich in Beziehung stehende Bauwerksgruppen, die gemeinsam eine Schutzwirkung ausüben (z.B. Sperrenstaffelung in einer Erosionsstrecke)
- Funktional in Beziehung stehende Bauwerksgruppen, die gemeinsam eine Schutzwirkung ausüben (z.B. Hochwasserrückhalt in Kombination mit der auf die Restwassermenge dimensionierten Regulierungsstrecke)

Im Sinne der Effizienz können Standardbauwerke für die Zustandserfassung zu Bauwerksgruppen zusammengefasst werden.

Somit umfasst die Bauwerkskategorie der **Standardbauwerke** jene Bauwerke deren Versagen nur mittlere oder geringe (lokale) Auswirkungen auf das Verbauungssystem und geringe Auswirkungen auf die geschützten Bereiche hat. Bauwerke die in die Schadensfolgeklasse CC1 fallen, dürfen als Standardbauwerke betrachtet werden. **Schlüsselbauwerke** sind Bauwerke, deren Versagen entscheidende Auswirkungen auf die geschützten Bereiche oder das Verbauungssystem haben. Beispielsweise sind Murbrecher,

Dosiersperren und Bauwerkssysteme, in denen das Versagen eines Bauwerkes zu einem Serienversagen führen kann, in diese Kategorie einzuordnen. Bauwerke, die in die Schadensfolgeklassen CC3 fallen, sind als Schlüsselbauwerke zu betrachten. Bei Bauwerken, die in die **Kategorie CC2** fallen, ist im Einzelfall zu entscheiden.

Die Bauwerkskategorien eines Einzugsgebietes sind vor den Begehungen von fach- und ortskundigen Experten (z.B.: Experten der WLV) festzulegen und kartografisch und schriftlich festzuhalten.

Instrumente der Inspektion

Eine große Zahl von Schutzbauwerken der Wildbachverbauung befindet sich an schwer zugänglichen Stellen. Eine flächendeckende Inspektion dieser Bauwerke ist somit mit einem hohen Aufwand an zeitlichen und personellen Ressourcen verbunden. Bei der Entwicklung einer standardisierten Inspektionsroutine gilt es nun, einen tragbaren Kompromiss zwischen sicherheitsrelevanten und ökonomischen Faktoren zu finden. In der *ONR 24803* wird daher ein dreistufiges Inspektionsverfahren vorgeschlagen. Es gliedert sich in die Laufende Überwachung (LÜ), welche an allen Bauwerken flächendeckend und regelmäßig durchgeführt wird, die Kontrolle (K), welche nur an sicherheitstechnisch relevanten Bauwerken regelmäßig durchgeführt wird und die Prüfung (P), welche nur im Bedarfsfall angeordnet wird. Gemeinsam mit der Erstaufnahme bilden diese drei Inspektionsarten die **operativen Instrumente** der Inspektion (Abb 3). Der Umfang der durchzuführenden Erhebungen je Inspektionsart ist in der *ONR 24803* geregelt.

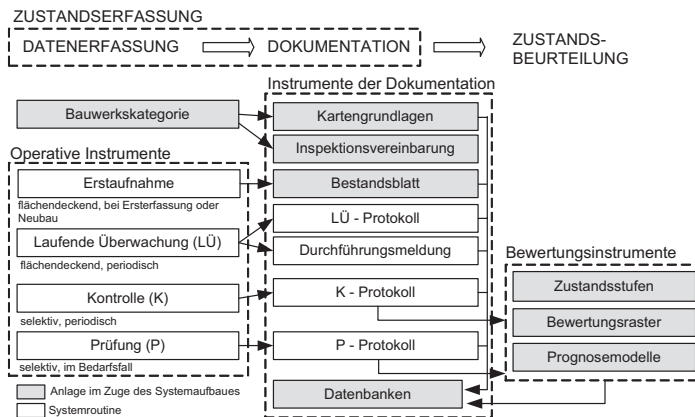


Abb 3: Instrumente der Inspektion

Fig 3: Instruments for Inspection

Die Laufende Überwachung ist von eingeschultem forsttechnischem Personal durchführbar, die Kontrolle von einschlägigen Experten und eine Prüfung im Optimalfall von einer interdisziplinären Expertengruppe. Somit erfolgt die flächendeckende Überwachung durch geschultes Fachpersonal (lohnkostensparend) mit relativ geringem Aufwand, die höheren Stufen durch Experten (lohnkostenintensiv) mit höherem Aufwand pro Bauwerk.

Die Einteilung in Bauwerkskategorien hat Auswirkungen auf die Inspektionsintervalle und die durchzuführenden Inspektionsarten. So sind Schlüsselbauwerke jährlich und Standardbauwerke mindestens alle 5 Jahre einer Laufenden Überwachung zu unterziehen. Schlüsselbauwerke sind alle 5 Jahre zu kontrollieren, Standardbauwerke nur, wenn bei einer LÜ ein möglicher Schaden festgestellt wurde. Die Inspektionsarten und weitere zugeordnete Vorschriften sind in Tab. 2 zusammengestellt.

Tab. 2: Übersicht über die Inspektionsarten nach *ONR 24803*
Tab. 2: Types of Inspection according to *ONR 24803*

Art der Inspektion	LÜ	K	SK	P
	Laufende Überwachung	Kontrolle	Kontrolle nach besonderem Anlass	Prüfung
Zeitraum	Schlüsselbauwerke: jährlich Standardbauwerke: mind. alle 5 Jahre und nach außergewöhnlichen Ereignissen	alle Bauwerke: vor Ablauf der Gewährleistung Schlüsselbauwerke: alle 5 Jahre	Schlüsselbauwerke: nach außergewöhnlichen Ereignissen (Hochwasser, Murgänge,...)	bei Bedarf
Ansprache	visuell	visuell		Methoden laut Stand der Technik
Durchführung	geschultes Personal oder forsttechnisches Personal	fachkundige Experten oder entsprechend geschultes und erfahrenes Fachpersonal		fachkundige Experten (interdisziplinäre Expertenteams)
Ergebnis	LÜ-Protokoll bei Beschädigung	K-Protokoll		P-Protokoll

Neben den Bauwerkskategorien und den operativen Instrumenten gibt es noch jene der Dokumentation. Sie dienen der Protokollierung und Speicherung der erhobenen Daten, Einteilungen und getroffenen Vereinbarungen. Für jedes operative Instrument wurde ein zugehöriges feldtaugliches Protokoll (Standardformular) entwickelt. Vorschläge für Bestandsblätter und Protokolle sind teilweise in der *ONR 24803* und zur Gänze in *Suda. et. al., 2007* enthalten. Die Bewertungsinstrumente dienen dem Zweck der Zustandsbewertung (Abb 3), der letzten Stufe der Inspektion.

ZUSTANDBEWERTUNG

Das Ziel der Zustandsbewertung ist es, das Bauwerk in eine der sieben Zustandsstufen einzuordnen (Tab. 3). Diese Klassifizierung beruht auf dem Vorschlag einer Schadensklassifizierung für Betonbrücken nach *Wicke et al., 1987*. Je niedriger die Zustandsstufe, desto besser der Bauwerkszustand. Aus diesen Zustandsstufen werden die Sanierungsmaßnahmen und deren Dringlichkeit abgeleitet. Da die Dringlichkeit der Maßnahmen von der Wertigkeit des Bauwerkes abhängt, gibt es eigene Klassen für Standardbauwerke und Schlüsselbauwerke.

Die Beurteilung der erfassten Schäden und die Zustandsbeurteilung geschehen gutachterlich, mit Unterstützung eines standardisierten Formulars. Die Einteilung sollte primär nach dem Kriterium erfolgen, ob für das Bauwerk nach dem nächsten Ereignis (HQ 30), dem nächsten Bemessungsereignis oder längerfristig die **prozessbezogene Gebrauchstauglichkeit** (Funktionserfüllung) und **Standicherheit** gegeben ist. (Tab. 4). Da an eine Zustandsstufe konkrete Maßnahmen und ein Durchführungszeitraum geknüpft sind, ist die **Dringlichkeit der Maßnahmen** ebenfalls in die Beurteilung einzubeziehen.

Die Grundlage der Zustandserfassung bildet somit die Aufnahme von Schäden und Mängel am Bauwerk im Zuge einer Inspektion. Die Schäden lassen sich in jene, die zu einer Verringerung der Tragfähigkeit, der Gebrauchstauglichkeit oder der Dauerhaftigkeit führen einteilen.

Tab. 3: Zustandsstufen von Schutzbauwerken

Tab. 3: Condition levels

Zustandsstufen			
für Standardbauwerke		für Schlüsselbauwerke	
0	Bauwerk ist entbehrlich	-	-
1	sehr guter Erhaltungszustand	S1	sehr guter Erhaltungszustand
2	guter Erhaltungszustand	S2	guter Erhaltungszustand
3	ausreichender Erhaltungszustand	S3	ausreichender Erhaltungszustand
4	mangelhafter Erhaltungszustand	S4	mangelhafter Erhaltungszustand
5	schlechter Erhaltungszustand	S5	schlechter Erhaltungszustand
6	Zerstörung (Totalschaden)	S6	Zerstörung (Totalschaden)

Da die Komponenten eines Schutzsystems durch die Prozessdynamik (hydraulische Prozesse, Abtrags- und Ablagerungsprozesse,...) in einer komplexen Wirkungsbeziehung zueinander stehen, ist es bei der Beurteilung des Zustandes eines Einzelbauwerkes zwingend erforderlich das gesamte Verbauungssystem zu betrachten, da das Versagen eines Einzelbauwerkes durch die Wirkungsbeziehungen Auswirkungen auf die restliche Verbauung und die geschützten Bereiche hat. Der Begriff Versagen umfasst dabei neben dem Versagen der Tragfähigkeit (Standssicherheit) auch das Versagen der prozessbezogenen Gebrauchstauglichkeit eines Einzelbauwerkes oder des Gesamtsystems.

Tab. 4: Kriterien zur Einteilung in Zustandsstufen aufgrund prozessbezogener Gebrauchstauglichkeit und Standssicherheit; aus *ONR 24803*

Tab. 4: Criteria for the choice of a condition level according to the process-related usability and stability against collapse; in *ONR 24803*

Stufe	Gebrauchstauglichkeit/Standssicherheit				Zeitraum für bauliche Maßnahmen (Dringlichkeit)	
	Aufnahmezeitpunkt	nächstes Ereignis (HQ 30)	nächstes Bemessungsereignis	längerfristig	S	
0	-	-	-	-	-	-
1	g	g	g	g	kF	kF
2	g	g	g	g	kF	kF
3	g	g	g	ng	kF	kF
4	g	g	ng		3 J	kF
5	g	ng			1 J	2 J
6	ng				sofort	sofort

g = gegeben, ng = nicht gegeben, kF = keine Festlegung, J = Jahre

Aufgrund der Prozessorientierung dieser Bauwerke sind die Versagensarten des Überschreitens der Tragfähigkeit und der prozessbezogenen Gebrauchstauglichkeit als gleichwertig anzusehen.

Um die Auswirkung von Schäden auf das Versagen in ausreichendem Ausmaß beurteilen zu können, ist es notwendig, zum Begriff Bauwerk die wasser- und luftseitigen Bachbereiche mit einzubeziehen (Abb 4). Die wasser- und luftseitigen Vorfelder haben wesentlichen Einfluss auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes. Bei der Aufnahme der Schäden ist es auch wichtig, diese konkreten Anlagenteilen zuzuordnen, um bei einer späteren Auswertung die kostenrelevanten Bauteile identifizieren zu können. In Abb 4 sind die wichtigsten Bauteile einer Konsolidierungssperre und einer Dosiersperre mit Retentionsbecken dargestellt.

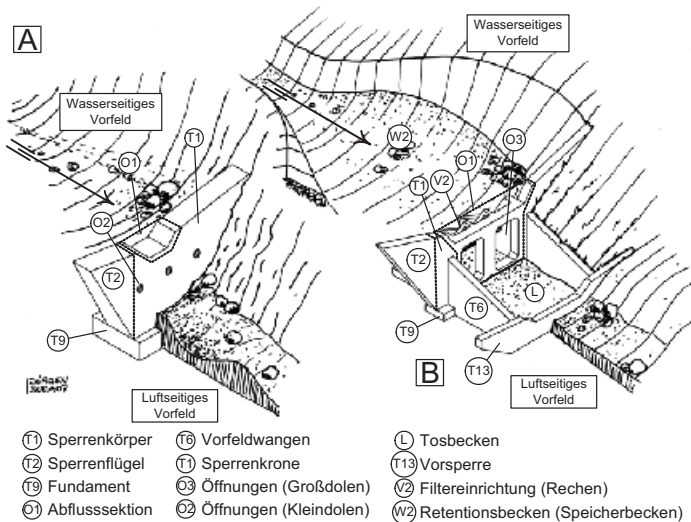


Abb 4: Anlagenteile von Schutzbauwerken: (A) Konsolidierungssperre; (B) Beispiel eines komplexeren Bauwerkes (Dosiersperre mit Retentionsbecken); aus *Suda et al., 2007*

Fig 4: Parts of protection works: (A) check-dam; (B) example for a complex barrier (dosing dam with retention basin); in *Suda et al., 2007*

SCHÄDEN UND SCHADMECHANISMEN

Um den Zustand bzw. die Entwicklung des Zustandes eines Bauwerkes abschätzen zu können, ist die Kenntnis der Mechanismen, die zu Bauwerksschäden führen können (Schadmechanismen) notwendig. Den Randbedingungen denen ein Schutzbauwerk in der Natur unterliegt, kann man konkrete Schadmechanismen zuordnen. Diese Schadmechanismen lassen sich in die prozessspezifischen und materialspezifischen Schadmechanismen einteilen. **Prozessspezifische Schadmechanismen** begründen sich aus den Wildbachprozessen und sind beispielsweise Verlust der luftseitigen geotechnischen Widerstände durch Kolkbildung oder eine unplangemäße Auflandung der Gerinnesohle durch übermäßige Geschiebefrachten während eines Ereignisses. Im ersteren Fall können die Folgeschäden eine Unterströmung

(Piping) des Bauwerkes mit anschließendem Standsicherheitsverlust sein. Auflandungen im Gerinne können die Bachachse verschieben und zu Bauwerksumgehungen führen. Die **materialspezifischen Schadmechanismen** hängen von dem verwendeten Werkstoff ab. Der wesentliche Mechanismus bei Holz ist die physikalisch/biogene Holzzerstörung. An Stahlbeton sind Rissbildungen, Bewehrungskorrosion und Abrasion relevant. In *Suda et al., 2007* wurden die relevanten Schadmechanismen systematisch aufbereitet und ein Schadenstypenkatalog erstellt. In Tab. 5 sind als Beispiel die möglichen Schadenstypen an einer Konsolidierungssperre aus Holz (Holzkasten) dargestellt. Bei der dargestellten Konsolidierungssperre sind besonders die Abflusssektion (O1) die seitlichen Flügelbereiche und Einbindungen (E1) und das luftseitige Vorfeld (L) relevant für eine Inspektion.

Tab. 5: Mögliche Schadenstypen an einer Konsolidierungssperre aus Stahlbeton: (A) Schäden im Sperrumfeld (luft- und wasserseitiges Vorfeld); (B) Schäden am Bauwerk, aus *Suda et al., 2007*

Tab. 5: possible types of damage on a timber check dam: (A) damages in the surrounding area; (B) damages on the structure; in *Suda et al., 2007*

Bez. ¹⁾	Anlagenteile und mögliche Schadenstypen	Lage der Schadenstypen
QW1	Wasserseitiges Vorfeld – Verlandungsraum	
P13	Verringerung des Abflussprofils	
P27	Unplangemäße Auflandung der Gerinnesohle	
P28	Fehlende Verlandung bei Konsolidierungssperren	
QL	Luftseitiges Vorfeld	
P27	Unplangemäße Auflandung der Gerinnesohle	
QE1	Seitliche Einbindung	
P23	Reduzierter Widerstand im Bereich der seitlichen Einbindung	
P25	Umgehung des Bauwerkes	
P210	Unplangemäße Hangbewegungen	
QE2	Untere Einbindung (Bereich der Bauwerkssohle)	
P21	Reduzierter Widerstand im Bereich der Bauwerkssohle	
P24	Unterströmung	
QT1	Sperrenkörper, Flügel, Sperrkrone exkl. Abflusssektion	
P11	Bauwerksbewegungen	
P12	Leichter Abtrag/mech. Beschädigung von Bauwerksteilen	
H-1	Verwitterung/Vermorschung, Holzabbau	
H-2	Bauwerksverformungen	
H-3	Abtrag von Bauwerksteilen (Längshölzer, Ausfachungen, Füllmaterial)	
H-4	Pflanzenbewuchs	
H-5	Durchfeuchtung und Durchströmung	
QT9	Gründung (Schwerboden)	
H-1	Verwitterung/Vermorschung, physikalisch/biogener Holzabbau	
H-2	Bauwerksverformungen	
QO1	Abflusssektion inkl. Sperrkrone in diesem Bereich	
P12	Leichter Abtrag/mech. Beschädigung von Bauwerksteilen	
P26	unplangemäße Verkläunungen	
QT1	Ausfachung	
H-1	Verwitterung/Vermorschung, physikalisch/biogener Holzabbau	
H-2	Herausfallen von Steinausfachungen (z.B. durch Bauwerksverformungen)	
QT1	Füllung des Holzkastens	
P12	Leichter Abtrag/mech. Beschädigung von Bauwerksteilen	

1) Bezeichnung der Parameter Anlagenteil und Schadenstyp laut Nomenklatur der Schadensdokumentation
P = prozessspezifischer Schadenstyp, H = holzspezifischer Schadenstyp (materialspezifischer Schadenstyp)

ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Da Schutzbauwerke der Wildbachverbauung in engem Kontakt zu Naturprozessen stehen, ist für die Zustandsbewertung ein umfassendes Wissen über die prozessspezifischen und materialspezifischen Schadensmechanismen und deren Auswirkungen erforderlich. Grundlage dafür bilden Schadenstypenkataloge und Standards für die Schadensdokumentation, welche auftretende Schäden nach Typ, Ort des Auftretens und der Schwere des Schadens beschreiben (*Suda et.al., 2007*).

Neben der Art und Schwere der auftretenden Schäden ist auch deren Entwicklung für eine Zustandsbewertung von entscheidender Bedeutung. Um Entwicklungen festhalten zu können ist ein Überwachungssystem erforderlich. In der *ONR 24803* wurde ein dreistufiges Inspektionssystem festgelegt. Dieses unterteilt die operativen Elemente in die Laufende Überwachung, die Kontrolle und die Prüfung. Ein wesentliches Element dieses Überwachungskonzeptes ist die Einteilung der Schutzbauwerke in Schlüssel- und Standardbauwerke auf Basis spezifischer Schadensfolgeklassen gemäß *ÖNORMEN 1990*. Dies ermöglicht einen effizienten Ressourceneinsatz unter Beibehaltung eines hohen Sicherheitslevels. Basis für die Ableitung der optimalen Erhaltungsstrategie (Maßnahmen) ist die Zustandsbewertung auf der Grundlage der Einteilung der Schutzbauwerke in Zustandsstufen. Das vorgestellte Konzept wird in Österreich in den kommenden Jahren schrittweise umgesetzt.

LITERATUR

- BMVIT - Bundesministerium für Verkehr, Abteilung Straßenbau. Aufgestellt: Bund/Länder-Fachausschuß Brücken- und Ingenieurbau (Hrsg.) (1997): Bauwerksprüfung nach DIN 1076 – Bedeutung, Organisation, Kosten – Dokumentation 1997, Seite 5-25/DIN 31051 (2003/06) – Grundlagen der Instandhaltung
- ONR 24803 – Schutzbauwerke der Wildbachverbauung – Betrieb, Überwachung, Instandhaltung und Sanierung, Ausgabe: 2008-02-01
- ÖNORM EN 1990– Eurocode 0 – Grundlagen der Tragwerksbemessung. Ausgabe: 2003-03-01
- Rudolf-Miklau, F.; Agerer, H. (2007): Lebensbezogenes Management für Schutzmaßnahmen der Wildbach und Lawinerverbauung: Strategische und praktische Dimension. Wildbach und Lawinerverbau, Heft 155, 71. Jahrgang, Juni 2007, 30 - 42
- RVS 13.71 - Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten
- Schröder, M.; DIN Deutsches Institut für Normung e.V (Hrsg.) (2005): Der Wartungsvertrag, Vertragsgestaltung der Inspektion - Wartung – Instandsetzung von baulichen Anlagen und Rechtsfolgen. 1. Auflage. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich
- Suda, J.; Sicher, P.; Lambrecht, D. (2007): Zustandserfassung und -bewertung von Schutzbauwerken der Wildbachverbauung – Teil 1 – Schädigungsmechanismen, Bauwerkserhaltung und Teil 2 – Schadensdokumentation, Schadenstypenkatalog. Schriftenreihe des Departments für Bautechnik + Naturgefahren, Band 14 und 15. Wien: Eigenverlag (im Auftrag des Lebensministeriums)
- Wicke, M., Straninger, W., Stehno, G., Bergmeister, K. (1987): Verfahren zur Vorhersage des Umfanges von Brückensanierungen, Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Straßenforschung Heft 338. Wien: Eigenverlag

CHEMICAL WEATHERING RATES FROM WATERSHEDS IN THE TATEYAMA CALDERA, CENTRAL JAPAN

Naoki Watanabe¹, Takayuki Hizuka², Ould Elemine Cheibany³, Hideaki Marui¹

ABSTRACT

The Tateyama Caldera located in the northern part of central Japan is a well-known area of extremely high sediment yield. Unstable sediments yielded by chemical weathering play an important role of sediment disaster occurrences. Chemical weathering rates for watersheds in the caldera were estimated to be ranging from 0.39 to 5.29 mm/yr by the mass balance equation between solute fluxes of stream waters and solute losses comparing fresh and weathered rocks. Two watersheds showing much higher rates corresponded to the area where debris flows have continually occurred. Solute fluxes of each stream are useful for the susceptibility mapping of sediment disasters. The cause of the high chemical weathering rate is the leaching of soluble components from fresh bedrocks by sulfuric acid produced by the oxidation of pyrite and native sulfur in hydrothermally altered rocks, because the waters from the alteration zones are characterized by high SO_4^{2-} concentration. Such a simple hydrochemical signature is also useful for the detection of alteration zones covered with vegetation and thick soil layers.

Keywords: chemical weathering, hydrochemistry, the Tateyama Caldera, landslide, debris flow

INTRODUCTION

The combination of weathered materials on slopes and heavy rainfall can lead to high landslide frequencies and also to the removal of soils and sediments by landslides, debris flows and fluvial erosion. The removal of soils and sediments that covered the bedrocks allows for the production of new weathered materials from exposed bedrock during physical and chemical weathering processes. Several investigators have recently reported that the chemical weathering rates are directly related to the rates of mechanical erosion in watersheds (e.g. Louvat and Allègre, 1997; Gaillardet et al., 1999; Millot et al., 2002; Lyons et al., 2005; Watanabe et al., 2005). Under the similar climatic and geologic condition, high landslide frequencies or erosional potentials are generally connected with high weathering rates and sediment yields.

Landslides and debris flows have frequently occurred in the Tateyama Caldera, central Japan. The caldera is a well-known area of the highest erosion yields in Japan. Although the caldera is situated under the similar climatic, geomorphologic and geologic condition, the landslide frequencies or erosional potential are considerably different in each watershed in the caldera.

1 Research Center for Natural Hazards and Disaster Recovery, Niigata University, Niigata, 950-2181, Japan
(Tel.: +81-25-262-7058; Fax: +81-25-262-7058; email: jibanken@cc.niigata-u.ac.jp)

2 Kowa Co., Ltd., 6-1 Shinkocho, Chuo-ku, Niigata, 950-0965, Japan

3 KITAC Co., Ltd., 10-2 Shinkocho, Chuo-ku, Niigata, 950-0965, Japan

Here we focus on chemical fluxes in stream waters from watersheds and attempt to estimate the chemical weathering rates for eight watersheds in the caldera. The estimated data from each watershed provide us with a key factor in assessing the susceptibility of landslide or debris flow occurrences in each individual watershed.

OUTLINE OF STUDY AREA

The Tateyama Caldera, an erosion caldera at the Tateyama Volcano, is located in the northern part of the Japan Alps, central Japan and approximately 210 km north-west away from Tokyo, and is the source of the Zyouganzi River (Fig.1). Quaternary andesitic rocks and pre-Tertiary granitic rocks are distributed in the caldera and both rocks include a large number of plagioclase as a phenocryst. There are several weak alteration zones in the caldera during previous hydrothermal activities. The altered rocks include secondary minerals such as pyrite, native sulfur, quartz and smectites. Such low temperature hydrothermal activities as hot spring are found in the caldera even now.

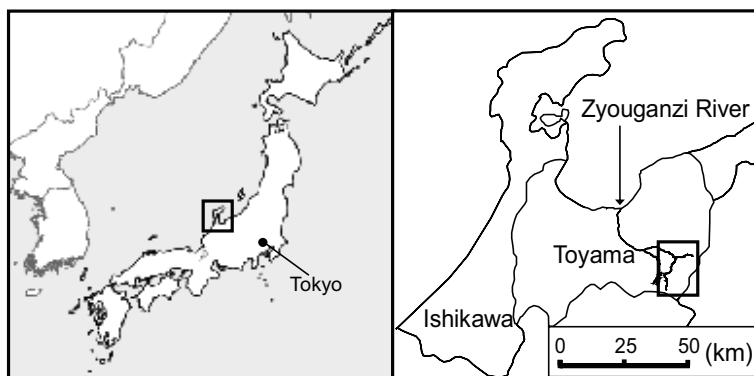


Fig.1 Location of study area

On April 9 in 1858, a large-scale landslide with an estimated failure volume of $1.27 \times 10^8 \text{ m}^3$ triggered by the Hietsu Earthquake with M7.1 occurred and formed a landslide dam. After 14 days and 59 days from the earthquake, two debris flows caused by the collapse of the dam subsequently brought serious damage to the downstream area of the Zyouganzi River. These destructive debris flows destroyed 163 villages and 1,600 houses and killed 1,800 people. Until now several sizes of landslides and debris flows triggered by intensive rainfalls have frequently occurred in the caldera. Due to landslides and debris flows in the caldera, many people living in the downstream area of the Zyouganzi River suffered from 21 sediment-related disasters in the period between 1891 and 1969. (e.g. Harayama et al., 2000; Tabata et al., 2002)

SAMPLES AND ANALYTICAL METHOD

Water samples were collected from six streams around the caldera (Fig.2) and eight streams in the caldera (Fig.3) once a month during base flow conditions for the period between July and

October from 2004 to 2006. These samples were preserved in 250ml polyethylene bottles for chemical analyses in laboratory. Eight rock samples of fresh and altered andesites and fresh and altered granites were collected from breccias in debris flow deposits.

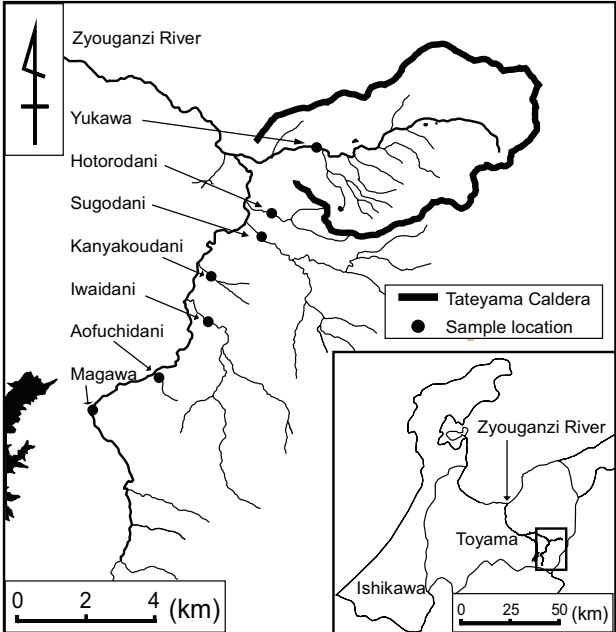


Fig.2 Location of stream water samples in and outside the Tateyama Caldera

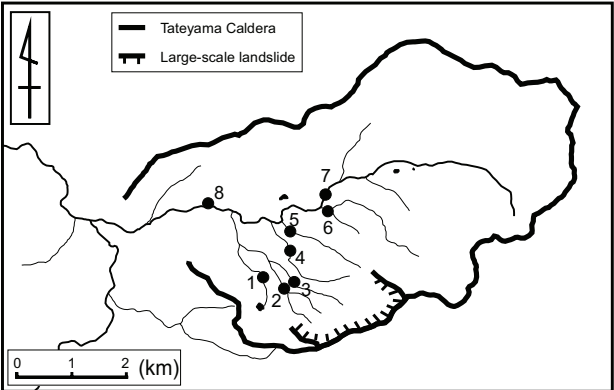


Fig.3 Location of stream water samples in the Tateyama Caldera. Numbers as 1 to 8 represent watersheds as follows; 1: Shintani watershed, 2: Nishitani watershed, 3: Dashiwadani watershed, 4: Dorodani watershed, 5: Kanayamadani watershed, 6: Usagidani watershed, 7: upper stream of Yukawa River, 8: Yukawa River

The pH, the electric conductivity (E.C.) and the temperature of the water samples were measured at the sampling locations. The alkalinity as HCO_3^- concentration was measured by titration with 0.02N-HCl. Other major ions (Na^+ , Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , Cl^- , SO_4^{2-}) in water samples were analyzed by ion chromatography using a Dionex DX-120 instrument. The mineral assemblage and chemical composition (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MnO , MgO , CaO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) of rock samples were determined by XRD using a Rigaku RAD-B SYSTEM instrument and by XRF using a Rigaku RIX3000 instrument, respectively.

HYDROCHEMISTRY

The mean E.C. values of six stream waters from the outside of the caldera range from 1.8 mS/m to 5.0 mS/m, whereas the value of the Yukawa River at the outlet of the caldera shows 16.3 mS/m and is three to nine times higher than the values of streams around the caldera (Fig.4). It suggests that the solute flux from the caldera is also much higher than watersheds around the caldera.

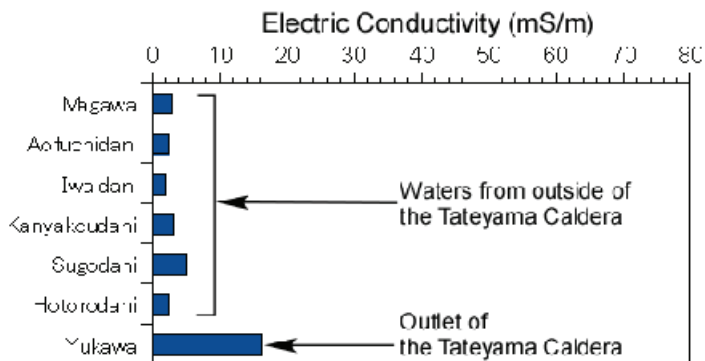


Fig.4 The mean electric conductivities of stream waters from the outside of the Tateyama Caldera

Water samples from each watershed are chemically classified mainly into two types of Ca-HCO_3 and Ca-SO_4 . Ca-HCO_3 type waters showing low total ion concentration (TIC) in meq/L are extensively distributed in the outside of the caldera and limitedly found in the caldera, and are formed by water-rock interaction consuming atmospheric or subsurface CO_2 gas during the chemical weathering process. Ca-SO_4 type waters are characteristically found in the other watersheds in the caldera and show high E.C. and TIC (Fig.5, Fig.6). For example, the stream water from the Dashiwaradani watershed shows the highest TIC of 13.4 meq/L and E.C. of 69.4 mS/m of all watersheds, and is dominated by concentrated Ca^{2+} and SO_4^{2-} . In addition, the pH value of the stream water showing much less than 5.0 is the lowest value in all watersheds. The water from the Dorodani watershed also shows much higher TIC of 12.2 meq/L and E.C. of 58.5 mS/m than the other watersheds, and is also dominated by Ca^{2+} and SO_4^{2-} (Fig.6). This reflects a characteristic process of chemical weathering under the oxidative environment in the caldera. Sulfuric acid (H_2SO_4) is easily produced by the oxidation of pyrite or native sulfur included in the hydrothermally altered rocks. Soluble minerals, especially Ca-rich plagioclase, included in fresh andesitic and granitic rocks are rapidly leached with H_2SO_4 , and Ca^{2+} is released to stream water. Ca-SO_4 type waters of high concentration are formed through the unique chemical weathering resulting from the oxidation of pyrite or native sulfur.

The hydrothermally altered rocks including pyrite or native sulfur as a source material for H_2SO_4 are thought to be a key factor in relation to the acceleration of the chemical weathering in the caldera.

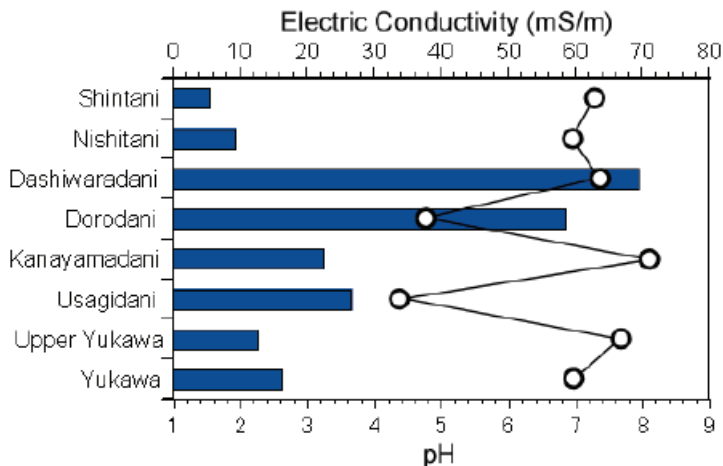


Fig.5 The mean electric conductivities and pH values of stream waters in the Tateyama Caldera

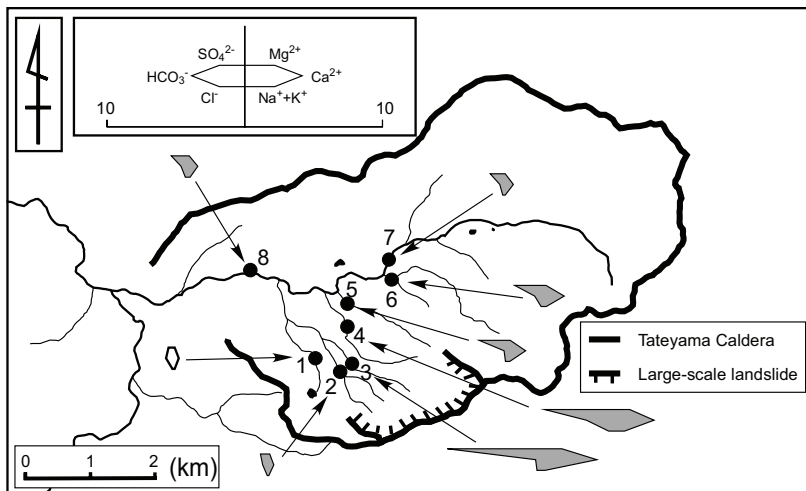


Fig.6 Chemical characteristics of stream waters in the Tateyama Caldera

ESTIMATION OF CHEMICAL WEATHERING RATE

The rate of chemical weathering is represented as an integral function that consists of many parameters (e.g. climate, vegetation, topography, lithology, hydrology, etc.). However, several parameters can be excluded because of the following reasons.

- (1) Andesitic and granitic rocks predominate in the caldera. Such a monotonous lithology is useful for estimating the chemical weathering rate.
- (2) The caldera is a small basin having approximately 26km² in area. Therefore, the average atmospheric temperature, the annual precipitation and evapotranspiration, and the vegetation in the caldera are assumed to be similar.

Ca²⁺ is the predominant cation in most of the stream waters and is mainly derived from Ca-rich plagioclase in andesitic and granitic rocks.

For example, the chemical weathering rate at the Dashiwaradani watershed is estimated by considering a mass balance of Ca as follows.

The Rate of Chemical Weathering:

$$\text{Chemical weathering Rate} = \frac{(P - E) \times C}{X \times La \times Da + Y \times Lg \times Dg} = 5.29 \text{mm/yr.}$$

The Rate of sediment yield (weight):

$$\text{Sediment Yield Rate} = \frac{S \times (P - E) \times C}{X \times La + Y \times Lg} = 13,607 \text{ton/yr.}$$

The meaning of parameters represented as S, P, E, C, La, Lg, Da and Dg are given in Table 1. The losses of Ca in weathered andesitic and granitic rocks are calculated by using data after Hizuka (2007MS). X and Y regulated as X + Y =1 represent the ratio of distribution areas for andesitic and granitic rocks in each watershed. The Ca contents in fresh and weathered rocks are normalized with insoluble elements (e.g. Ti and Al).

Tab. 1 Parameters for the estimation of chemical weathering.
Example of the Dashiwaradani watershed

Area of watershed; S	1.15 (km ²)
Annual precipitation; P	2277.4 (mm/yr)
Evapotranspiration; E	766.0 (mm/yr)
Ca concentration in water; C	100.1 (mg/L)
Loss of Ca in andesite; La	16.1 (g/kg)
Loss of Ca in granite; Lg	11.9 (g/kg)
Density of andesite; Da	2.4 (ton/m ³)
Density of granite; Dg	2.2 (t/m ³)
Ratio of distribution area for andesite; X	0.26
Ratio of distribution area for granite; Y	0.74

Based on the above mass balance equation between Ca fluxes of stream waters from each watershed and Ca loss comparing fresh and weathered rocks, we estimated the chemical weathering and sediment yield rates per unit area from all watersheds as shown in Table 2. Fig.7 illustrates the degrees of chemical weathering rates in each watershed in the caldera on the basis of the estimation results in Table 2.

Tab. 2 Estimation result of chemical weathering rate in each watershed

Name of watershed	Catchment area (km ²)	Ca flux (ton/km ² /yr)	Sediment yield (ton/km ² /yr)	C.W.R. (mm/yr)
Shintani	0.62	10.57	871.88	0.39
Nishitani	0.85	16.39	1279.49	0.57
Dashiwaradani	1.15	151.24	11832.35	5.29
Dorodani	0.77	115.74	8431.65	3.70
Kanayamadani	0.54	49.54	3136.79	1.32
Usagidani	2.85	50.52	3314.12	1.41
Upper Yukawa	14.54	30.41	2179.97	0.95
Yukawa	26.23	31.98	2311.69	1.01

C.W.R.: Chemical Weathering Rate

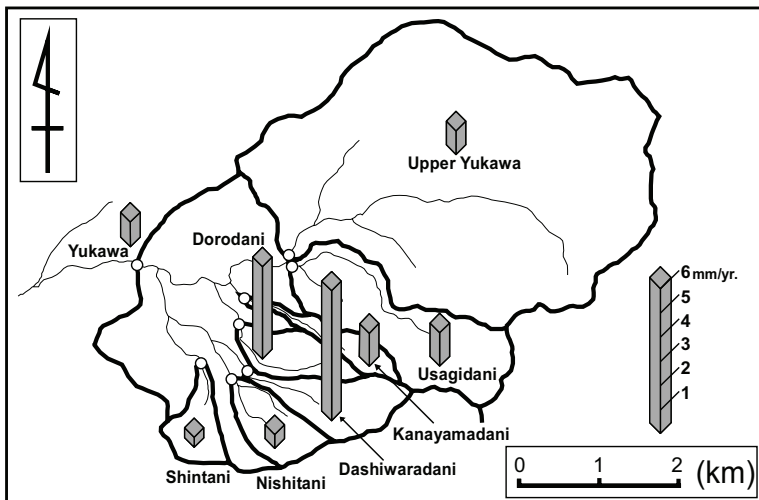


Fig.7 Degree of chemical weathering rate in each watershed in the Tateyama Caldera

There is a good correlation between the estimated chemical weathering rates and E.C. in each watershed as shown in Fig.8 even if the ratios of distribution areas for andesitic rocks (X) and granitic rocks (Y) varies from X=0.06 and Y=0.94 (the Shintani watershed) to X=0.94 and Y=0.06 (the Kanayamadani watershed) in each watershed in the caldera. In this study area, the essential is that E.C. is not only very useful for field surveys but also could serve as proxy for the above estimation of chemical weathering rates.

CONNECTION BETWEEN CHEMICAL WEATHERING AND LANDSLIDE

Due to intensive rainfall unstable soils on the slopes erode down and unstable sediments in the stream valley are removed by the fluvial erosion or debris flow. The continual removal of weathered and unconsolidated materials forms new slope surfaces or exposes fresh bedrocks

that are easily affected by chemical weathering. The removal of soils and sediments from watersheds is a preparation for the production of new material from bedrock weathering.

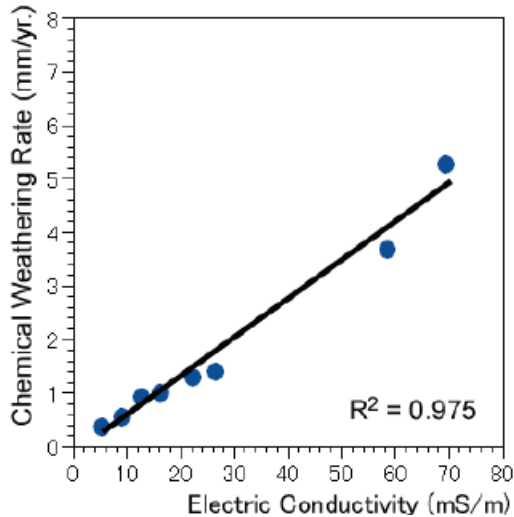


Fig.8 Relationship between chemical weathering rate and electric conductivity in each watershed in the Tateyama Caldera. $R^2 = 0.975$ means a correlation coefficient

The estimated rates of chemical weathering in the Dashiwaradani and the Dorodani watersheds were respectively 5.29 mm/yr and 3.70 mm/yr, and were considerably high values in Japan. The estimated sediment yields during chemical weathering in these watersheds were approximately 11,800 ton/km²/yr. and 8,400 ton/km²/yr., respectively. These watersheds show actually the highest frequencies of landslides and debris flows of all watersheds in the caldera. According to literatures, the large-scale landslide in 1858 occurred at the uppermost part of the Dashiwaradani and Dorodani watersheds. High SO₄²⁻ waters also suggest the existence of not only the hydrothermally altered rocks near surface but also the alteration zones inner slopes or beneath thick soils in both watersheds. In general, such alteration zones are extremely weakened in comparison with the distribution area of hard bedrocks and increase the potential for catastrophic landslides that can lead to destructive debris flow (e.g. Lopez and Williams, 1993). However, evaluating the hazards associated with such alteration zones is difficult because the distribution of subsurface alteration zones is largely unknown. It is most likely that there were several alteration zones at the uppermost part of the Dashiwaradani and the Dorodani watersheds before the large-scale landslide triggered by the Hietsu earthquake in 1858 occurred. Because there are a large amount of gravels, boulders and blocks derived from altered zones in the Dashiwaradani and the Dorodani watersheds. Such altered rocks scattered by the landslide in 1858 have produced H₂SO₄ under the oxidative environment and have consequently accelerated the chemical weathering and sediment yields in both watersheds.

The chemical weathering in the caldera is thought to be one of the most important factors for landslide and debris flow occurrences. Solute fluxes and E.C. from each watershed could be useful for susceptibility mappings of landslide and debris flow occurrences at each watershed in the caldera. Furthermore, such a simple investigation method using hydrochemical signatures of stream waters and spring waters could be a useful substitute for the expensive

and time consuming geophysical explorations to detect the alteration zones covered with vegetation and thick soil layers.

CONCLUSION

This study provides a hydrochemical approach to the hazard assessment in the Tateyama Caldera where the erosional potential is extremely high in Japan. Several major conclusions can be drawn:

- (1) Water samples from each watershed are chemically classified mainly into two types of Ca-HCO₃ and Ca-SO₄. Ca²⁺ is a predominant cation in water samples.
- (2) Stream waters from the Dashiwaradani and Dorodani watersheds are characterized by Ca-SO₄ type with the TIC of 13.4 and 12.2 meq/L and the E.C. of 69.4 and 58.5 mS/m, respectively. These high TIC and E.C show that the chemical weathering rates of the Dashiwaradani and Dorodani watersheds are much higher than the other watersheds in the study area.
- (3) In particular, the high concentration of SO₄²⁻ and Ca²⁺ indicates the following two processes during the chemical weathering.
 - i) The oxidation of pyrite or native sulfur, secondary minerals in hydrothermally altered rocks, produces H₂SO₄ of pH < 4.
 - ii) H₂SO₄ rapidly leaches out solutes, especially Ca²⁺ from Ca-rich plagioclase, from fresh bedrocks composed of andesite and granite.
- (4) The annual rates of chemical weathering and sediment yield is estimated by the mean of the annual precipitation and evapotranspiration, the catchment area, the Ca²⁺ concentration in mg/L in stream water, the density of soil and fresh bedrocks, and the Ca content in wt.% of fresh and weathered bedrocks. As a result, the estimated rates of chemical weathering and sediment yield in the Dashiwaradani and the Dorodani watersheds were 5.29 mm/yr and 3.70 mm/yr respectively, and were approximately 11,800 ton/km²/yr and 8400 ton/km²/yr respectively.
- (5) The large-scale landslide that occurred in 1858 was situated at the uppermost part of the Dashiwaradani and the Dorodani watersheds. Until now these watersheds show much higher frequencies of landslides and debris flows than the other watersheds in the caldera.
- (6) There is a good correlation between the chemical weathering rate and the E.C. values of water samples. This correlation enables to use the E.C. as a proxy for the rate of sediment yield related to chemical weathering.
- (7) The high SO₄²⁻ in stream waters might indicate the buried hydrothermally alteration zones. Therefore, such a hydrochemical approach could be useful for the detection of the alteration zones covered with vegetation and thick soil layers.

Acknowledgments

We are very grateful to the Tateyama Sabo Office, the Ministry of Land, Infrastructure Transport and Tourism in Japan for supports and assistances during field works in the Tateyama Caldera. Thanks are also due to Prof. K. Shuto and Prof. J. Akai of Department of Geology, Niigata University for their technical supports during XRD and XRF analyses respectively. This study was supported by JSPS's Grant-in-Aid for scientific research no. 16310126 (Rep. H. Marui).

REFERENCES

- Gaillardet J, Dupré B, Allègre, CJ (1999) Geochemistry of large river suspended sediments: Silicate weathering or recycling tracer?, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol.63; 4037–4051.
- Harayama S, Takahashi Y, Nakano S, Kariya Y, Komazawa M (2000) Geology of the Tateyama district, Geological Survey of Japan, AIST: 218p. (in Japanese with English abstract and 1/50,000 geological map)
- Hizuka T (2007MS) Chemical weathering and hydrochemistry of stream waters in the Tateyama Caldera, Central Japan, Master thesis of Niigata University, 180p.
- Lopez, D. L, Williams, S. N (1993) Catastrophic volcanic collapse; relation to hydrothermal processes, *Science*, Vol.260, 1794-1796.
- Louvat P, Allègre CJ (1997) Present denudation rates in the island of Réunion determined by river geochemistry: Basalt weathering and mass budget between chemical and mechanical erosions, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol.61, 3645–3669.
- Lyons WB, Carey AE, Hicks DM, Nezat CA (2005) Chemical weathering in high-sediment-yielding watersheds, New Zealand, *Journal of Geophysical Research*, Vol.110, F01008, doi:10.1029/2003JF000088.
- Millot R, Gaillardet J, Dupré B, Allègre CJ (2002) The global control of silicate weathering rates and the coupling with physical erosion: New insights from rivers of the Canadian Shield, *Earth and Planetary Science Letters*, Vol.196: 83–98.
- Tabata S, Mizuyama T, Inoue K (2002) Natural dams and disasters, 273p. Kokonshoin, Tokyo. (in Japanese)
- Watanabe N, Yonekura N, Sagara W, Cheibany O.E, Marui H, Furuya G (2005) Chemical Weathering and the Occurrence of Large-Scale Landslides in the Hime River Basin, Central Japan, In: (Sassa, K. et al. eds.) landslide risk analysis and sustainable disaster management, 165-171, Springer-Verlag

HAZARD PREVENTION USING FLEXIBLE MULTI-LEVEL DEBRIS FLOW BARRIERS

PROTECTION AGAINST DEBRIS FLOWS BY INSTALLATION OF 13 FLEXIBLE BARRIERS IN THE MILIBACH RIVER (CANTON BERNE, SWITZERLAND)

Corinna Wendeler, Axel Volkwein¹, Andrea Roth², Beatrice Herzog³,
Nils Hählen⁴, Marc Wenger⁵

ABSTRACT

The villages Hasliberg, Reuti and Meiringen in Canton Berne, Switzerland, were affected by flood and debris flow events resulting from unusually large rainfall in August 2005. The damage potential is large, necessitating immediate action. Access problems and environmental concerns in the debris flow source area were not possible for a variety of reasons. A promising solution consisting of multiple ring-net barriers was proposed as a potentially viable mitigation measure. Because experience with such nets for debris flows is limited, laboratory tests were performed. The results of the laboratory tests provided insight on the proper design and support the general concept. Close co-operation between the scientific team of the WSL, an industrial partner and cantonal authorities during the investigations led to a consistent and technically plausible solution within a relatively short time. These multiple barrier system will be realised in 2007.

Keywords: debris flow, ring-net protection, multilevel barriers, laboratory tests.

LOCAL SITUATION

The Milibach River originates in the Gummen Region in the water shed between Oberhasli and Canton Obwalden (Fig. 1). It flows from the east through the Hasliberg settlement and – after a deep canyon – into the Aare River.

1 Swiss Federal Research Institute for Forest Snow and Landscape WSL, 8903 Birmensdorf, Switzerland, Phone: +41 44 7392111, wendeler@wsl.ch

2 Fatzler AG Geobruigg Protection Systems, 8590 Romanshorn, Switzerland, Phone +41 71 46681-55, Fax -50, andrea.roth@geobruigg.com

3 Herzog Ingenieure, Promenade 75, 7270 Davos Platz, Switzerland, Phone +41 81 41531-15, Fax -31, herzog@herzog-ingenieure.ch

4 Tiefbauamt Kanton Bern, Oberingenieurkreis I, Schlossberg 20, 3601 Thun, Switzerland, Phone +41 33 2251077, Fax -70, nils.haehlen@bve.be.ch

5 B-I-G Büro für Ingenieurgeologie AG, Dorfstrasse 10, 3073 Gümligen, Switzerland, Phone +41 31 9604330, Fax -31; marc.wenger@b-i-g.ch

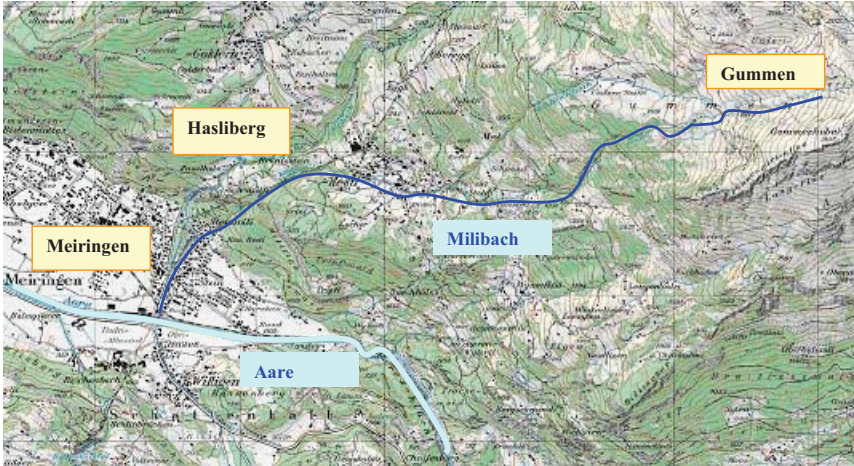


Fig 1: Situation of the Milibach River, from *Landeskarte der Schweiz (Bundesamt für Topographie)*, Number 1209 Innertkirchen (1:25'000).

GEOLOGICAL ASPECTS

The Gummengummen valley is comprised of beds of slope-parallel black clay-rich Alénienschiefer (Alénienschiefer in German) occasionally interbedded with sandstone beds. The schist is very sensitive to weather conditions and acts as an aquiclude (Wenger, 2006).

The bedrock is covered by a several meter thick layer of weathered debris. This layer is the source sediment for debris flows. Moraine deposits are rare in the source area.



Fig 2: Catchment area with the Milibach River in the Gummengummen region (left), Alénienschiefer material (right).

The debris consists of poorly sorted sediment with grain sizes spanning the range from abundant clay, silt, sand, but also many cobbles and even large boulders. The dry internal friction angle ϕ' lies between 25-28° with an apparently cohesion of $c' = 0-3 \text{ kN/m}^2$. When

saturated, these values decrease, for example the internal friction angle decreases to 15°. The low plasticity of the material is striking. The fraction of clay and silt counts 15-20 %, presenting a significant problem for the retention constructions because they have to be kept very flat by the use of retaining walls. After wet periods following long-duration and intensive rainfall, the material is mobilized as hill-slope debris flows which transport the debris into the river channel.

EVENT 2005

In August 2005 during heavy rainfall the settlements of Hasliberg, Reuti and Meiringen were flooded. The debris flows from the Gummen region were mainly responsible for the disaster (Bezzola & Hegg, 2007).

Around 13.000 m³ of the weathered schist material in the catchment were mobilized during the intensive rainfall and were transported in 3 waves down the channel. An additional 25.000 m³ were entrained along the flow path, increasing the total volume of the flow to around 40.000 m³. The cadastral event register notes events like 2005 occurred often the last centuries.

The flow velocities of these events were estimated at approximately from 7 up to 9 m/s by using super-elevation of the deposits. The velocities, flow heights and flow discharges can be estimated assuming a turbulent Newton flow regime using a Chezy or Strickler approach (Zimmermann, 2005).

The shear stresses at the margins of the flow were approximated from border deposition after the events to 600 / 1100 N/m². Hence, these debris flows were muddy flows. The water content of the flows is estimated at about 50 %. The density of the flow itself was in the range of 1800 - 2000 kg/m³.

DEBRIS FLOW DESIGN DATA

Table 1 summarizes the engineering design values for the protection concept (Herzog Ingenieure, 2006).

Tab 1: Debris flow design values.

Parameter	Design value	Overload case
Channel inclination	30 %	-
Type of debris flow	Mud flow, viscous flow	-
Total volume	10.000 - 15.000 m ³	-
Surge volume	5.000 m ³	-
Flow bulk density	18 - 20 kN/m ³	18 - 22 kN/m ³
Max. discharge	60 m ³ /s	100 - 150 m ³ /s
Flow height	1.5 - 2 m	-
Flow velocity	6 - 12 m/s	up to 18 m/s

TODAYS STATE OF DEVELOPMENT OF RINGNET BARRIERS

It has been demonstrated in many projects from Europe, Asia, and the USA that flexible ring net barriers as used in rockfall protection systems are well suitable to stop debris flows. To study the interaction between debris flows and flexible ring nets more closely, full field- scale tests in the Illgraben Valley (Canton Valais/Switzerland) have been carried out starting in 2005 (Wendeler et al., 2006).



Fig 3: Full scale field test site for ring-net barriers at the Illgraben, Switzerland: Barrier empty (left) and filled (right). On 18.05.2006, 15.000 m³ debris material flowed through and over the barrier. A volume of 1.000 m³ was retained, while the rest overflowed the barrier without damaging it.

Further research since 2006 at the site Merdenson, also in Switzerland, with three nets installed in-series indicates that the *multi-level approach* is suitable for retaining larger volumes of debris flow material. Furthermore, the goal of the Merdenson project is to study the energy absorption resulting from the step effect of such a staggered multilevel barrier, and the long term performance of the filled barriers in the stream.



Fig 4: Multilevel Barrier Merdenson, Switzerland: 3 barriers in series empty (left) and filled (right).

The field experience at the Merdenson River during the last two years provided the following results:

- Flexible debris flow barriers constructed using ring nets may be used to successfully stop or reduce the volume of a debris flow without being damaged.
- Overall, 1.000 m³ of material was retained behind the barrier, up to 50.000 m³ material overflowed the barrier during one event. Each year, the barrier was overtopped by an estimated volume of more than 200.000 m³ during the observation time (6 months, 7 – 8 debris flows per year).
- The wing-shaped arrangement of the upper support ropes, which create a clearly-defined flow section in the middle of the barrier, and the abrasion protection devices on the upper support ropes appear to be a successful design.
- Overtopping of the barriers by debris flows and sediment transport is possible, supporting the design concept that a series of barriers may be used to stop volumes of debris larger than are possible using only one barrier.

LABORATORY TESTS AT THE WSL

A series of 7 laboratory experiments were run to quantify the influence of different mesh sizes and the aperture between the lowest support rope and the river bed compared to the maximum grain size. To simulate the real behavior of the flow natural debris flow material taken from the local river bed was used. Because of the limited width of the laboratory channel, only the material smaller than 3 cm was used, alternatively, 90 % by volume of the material for the experiments was smaller than 3 cm. A comparison of the laboratory barrier with the real sized barrier system can be seen in Figure 4.



Fig 5: Mesh size and basal opening in the laboratory (left) and in full scale (right).

The experimental results indicate that it is possible to study the filling process and the retaining behavior of the barriers as a function of the mesh size. Reasonable results were obtained with the net having a mesh size and opening approximately equal to the size of d_{90} , i.e. the sediment size where 90 % of the sediment (by volume or mass) has a smaller grain size. Scaling the laboratory tests to prototype scale using Froude similarity indicates that the barriers should have a ring diameter between 0.3-0.5 m to achieve a reliable retaining performance. The basal opening between the lower support rope and the river bed should also be of the same dimension (Wendeler, 2006). These conclusions are also based on numerous preceding laboratory tests using different debris material, e.g. from the Illgraben river.

DIMENSIONING OF 13 FLEXIBLE RING NET

The dimensioning of the flexible ring net barriers was carried out using the finite element software package FARO (Volkwein, 2005). FARO was developed for analyzing the internal force distribution within ring-net barrier systems and as an overall evaluation and design tool for the dimensioning of such barriers. Using data from the Illgraben test site, the model has been modified for debris flows and been successfully applied for debris flows (Wendeler et al., 2006). Debris flows produce aerielly-distributed loads instead of small-area or point loads as in the rockfall case. Additionally, in comparison with rockfall, debris flows are characterized by longer duration impact, smaller deflection, and they typically occur in several discrete surges.

For the dimensioning of the 13 nets at Gummen, Hasliberg, the following load cases are considered:

- Granular debris flow;
- Muddy debris flow;
- Static load (active earth thrust);
- Snow (gliding and impact of a small avalanche);
- Overtopping by subsequent debris;

Barrier number 1 (the uppermost barrier) was dimensioned as a so called "debris flow breaker" and the highest intensity level of debris flows was simulated. In case of infilling, the retention capacity of this barrier is lost but at least part of the energy at the debris flow front will be absorbed.

Barrier number 2 is additionally dimensioned to absorb the energy of a snow avalanche impinging at an angle of 10° from the line parallel with the net. Furthermore, calculations indicate that the forces in the cables remain below the activation threshold of the brake elements and therefore they do not have to be specially secured in winter time.

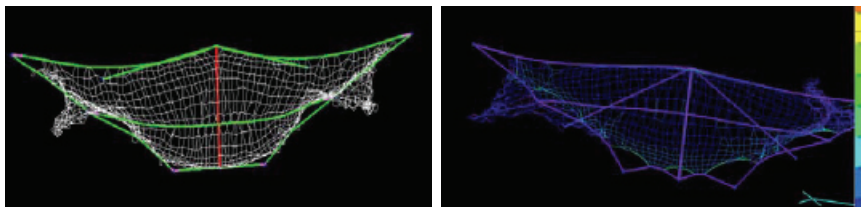


Fig1: Simulation of representative barrier for project Gummen using the software FARO.

The calculations indicate that for the given requirements, only the very strongest nets should to be used for this project. Therefore, the components used for the ring net, the ropes and the brake rings are the strongest elements available.

CONCLUSION AND OUTLOOK

Flexible ring-net barriers are multi-functional mitigation devices commonly applied to rockfall or floating-wood protection in floods, snow avalanches, and also for mudflows or granular debris flows, if properly dimensioned for the process or processes for which they are intended. Advantages include lightness and therefore quick and easy installation with a properly-dimensioned rope anchor system. Ring diameters should be dimensioned to be approximately equal to the size of the d_{90} of the grain size distribution, as indicated by laboratory tests, to produce a reliable retaining behaviour, even for mud flows.

All the tests done with the nets in Illgraben and Merdenson river demonstrate that these barriers can be used for retaining small debris flow volumes, and in series they have a larger retention capacity.

The long-term-behaviour of the barriers is only known from the rockfall protection which is generally not subjected to the effects of continuously flowing water. But for applications where the filling process will occur infrequently, the barrier can remain suspended above the river bed, preferably in a place where the bed is not subjected to progressive scour, where it will only be activated by flows exceeding a certain design flow depth. If so designed, the long-term behaviour corresponds to rockfall barriers. As with any preventative structure, regular inspection is necessary.

The installation of this series of 13 barriers in Oberhasli is the first design of such a protection system in Switzerland. All companies and authorities involved in the project worked closely together to improve the protection of the Hasliberg region using a completely new protection measure for a safe future with less probable debris flow damages

REFERENCES

- Bezzola G. R., Hegg C. (Ed.) 2007: Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 1 - Prozesse, Schäden und erste Einordnung. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umweltwissen Nr. 0707 Schatzmann, M. (2006) Techn. report "Milibach Meiringen, Murgangrückhalt Louwenenbach", Basler&Hofmann, Zürich.
- DeNatale, J. S., Fiegel, G. L., Iverson R. M., Major J. J., LaHusen, R. G., Duffy, J.D. & Fisher, G. D. (1997): Response of flexible wire rope barriers to debris flows loading. Proc. 1st.International Conference on DFHM, ASCE, San Francisco, pp616-625.
- DeNatale, J. S., Iverson, R. M., Major, J. J., LaHusen R.G., Fliegel, G. L., Duffy, J. D. (1999): Experimental Testing of flexible barriers for containment of debris flows, open-file report 99-205.
- Herzog Ingenieure (2006): Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse LLE Hasliberg / Meiringen.
- McArdell, B. W., Wendeler, C., Roth, A., Kalejta, J., Rorem, E. (2007): Field observations of the interaction of debris flows with flexible barriers, First North American Landslide Conference, Vail.
- Roth, A., Denk, M., Zünd, T. (2006): Technischer Bericht und Bemessung, Milibach Meiringen, Murgangrückhalt Louwenenbach, Flexible Murgangrückhaltesysteme, Fatzner AG, Romanshorn.
- Volkwein A. (2005): Numerical Simulation of flexible rockfall protection systems, Proc. Computing in Civil Engineering. Cancun: ASCE.

- Wendeler, C. (2006): Techn. report laboratory experiments debris flow retention Gummen (in German), WSL, Birmensdorf.
- Wendeler C., B.W. McARDell, D. Rickenmann, A. Volkwein, A. Roth & M. Denk. (2005): Testing and numerical modeling of flexible debris flow barriers, in Ng, Zhang & Wang (Eds), Physical Modeling in Geotechnics – 6th ICPMG '06, Balkema.
- Wendeler, C. (In Preparation): Field investigations and modeling of the interaction of debris flows with flexible ring-net barriers. Doctoral dissertation, ETH-Zurich.
- Wenger, M. (2006): Zielsetzung, geologische Disposition, Schutzkonzept, B-I-G Büro für Ingenieurgeologie, Gümlingen. FAN, Bern
- Zimmermann, M. (2005): Geschiebeverhältnisse im Milibach, Thun.

KEYWORDS

3e correction du Rhône	42
3rd River Rhone Training	41
Abflussmessung	111
Ablagerung	465
Abschätzverfahren	331
Alpenrhein	247
Aménagement du territoire intégral	42
Assessment method	332
Assessment of mountain torrents	320
August 2005	99
Ausleitbauwerk	489
Auslösende Faktoren	501, 513
Awareness	229
Awareness of uncertainties	320
Ball measuring system	379
Bank erosion	131
Bed load	332, 404, 425
Bed load estimation	262
Bed load sediment budget	248
Bed load transport	295, 367, 445
Bed morphology	131, 199
Beobachtungsmaßnahmen	455
Berücksichtigung der Unsicherheiten	319
Bingham Modell	379
Binnenstau	445
Capacity	283
Case studies	332
Chemical weathering	537
Completeness Ratio	63
Complex system	90
Concepts régionaux de développement	42
Dam	187
Debris flow	99, 307, 357, 478, 490, 502, 514, 537, 547
Debris flow model	343
Decision making	15, 141
Dendrogeomorphologie, Dendrogeomorphology	501, 513
Deposition	465
Development concept	248
Discharge measurement	111
Diversion Structure	490
Early warning system	177
Ecological model	90
Ecological systems	307

Effizienz, Efficiency	415
Empirische Modelle, Empirical model	261
Energetic model	90
Entscheidungsfindung	15
Entwicklungskonzept	247
Erosion	465
Experiment	433
Extremereignisse, Extreme events	331
Failure	187
Fallstudien	331
Feststofffracht	403
Feststofflieferung	319
Feststofftransport	465
Flächenhafte Rutschungen	391
Flood	99, 141, 177, 465
Flood control measures	41
Flood defence	79
Flood forecast	51
Flood hazard mapping	71
Flood management	71
Flood probability	25
Flood protection	131, 154, 166, 199, 248, 445
Flood risk	357
Fluid force	343
Flussmorphologie	131
Forecasting measures	79
Forest fire	392
Frequenz, Frequency	501, 513
Frühwarnsystem	177, 455
Gefahrenabgrenzung	477
Gefahrenkarten	221
Generelle Studie	237
Geschiebe	331
Geschiebeablagerungsplatz	367
Geschiebeabschätzung	261
Geschiebefracht	403
Geschiebehaushalt	247
Geschieberückhaltebecken	271
Geschiebetransport	295, 367, 445
Geschiebetransportsysteme	403
Gewässerbetreuungskonzept	237
Gewässerökologie	247
GIS	331, 332
Grundwasser, Groundwater	247
Hazard assessment	283

Hazard delineation	478
Hazard map	221
Hochwasser	99, 177, 465
Hochwasserschutz	131, 153, 165, 247, 445
Hochwasservorhersage	51
Hochwasserwahrscheinlichkeit	25
Hydraulic model test	490
Hydraulik und Hydrologie, Hydraulics and hydrology	356
Hydraulische Modelluntersuchung	489
Hydrochemistry	537
Hydrodynamic test	343
Hydrodynamische Modellierung, Hydrodynamic modelling	209
Hydrologic response model	79
Hydrological model	51
Hydrological Prediction	141
Hydrologische Modelle	51
Hydro-Meteorologie, Hydro-meteorology	177
Hydrometrie, Hydrometry	111
Hydrophone	425
Impulsive loading	343
Instandhaltung	415
Integrales Risikomanagement, Integral risk management	153
Integrated land consolidation	41
Intégration spatiale	42
Inventar, Inventory	99
Jahrring	501, 513
Key protection structures	416
Kugelrheometer	379
Kurze Vorwarnzeiten	455
Laboratory tests	547
Land use planning	71
Ländlicher Raum	221
Landslide dam	121, 433
Landslides	99, 307, 537
Larix decidua Mill.	501, 502
Local deposition	199
Magnitude	501, 502, 513, 514
Maintenance	416
Management optimisation	90
Mesures de protection contre les crues	42
Mitigation	187
Mitigation Measures	455
Modèle de fréquentation	89
Modèle écologique	89
Modèle énergétique	89

Modellversuch	165, 367
Monitoring	209, 210, 425, 525
Monitoring System	455
Mountain torrent	262, 332
Mt. Iwakura Landslide	121
Multilevel barriers	547
Muren	356
Murgang	99, 477, 489, 501
Natural hazards	221, 229, 416
Naturgefahr	229
Naturgefahren	221, 415
Numerische Modellierung, Numerical modelling	295
Offenes Deckwerk	165
Öffentlichkeitsbeteiligung	229
Old Documents	121
Open bed covering	166
Optimisation de la gestion	89
Optimization	141
Overflow angle	199
Passive Maßnahmen	455
Passive measures	455
Peak discharge	111
Physical model	433
Physical model experiment	166
Physical scale model	367
Picea abies (L.) Karst	501, 502
Picture Maps	121
Pinus cembra L.	501, 502
Planning of measures	238
Polder drainage	445
Practical tool for assessment	320
Prävention, Prevention	229
Praxistaugliches Beurteilungsverfahren	319
Prioritätenreihung	237
Protection objectives	25
Protection works	525
Public participation	229
Pumice stone	343
Raumplanung	221
Regional development concepts	41
Reichweite	477
Reliability	416
Reservoir Routing	141
Reservoir Watershed	63
Residual risk	131, 154

Restoration measure	210
Restrisiko	153
Restrisikomanagement	131
Retention area	367
Rheologie, Rheology	379
Rhône suisse alpin supérieur	89
Ring-net protection	547
Risiko	187
Risiko Management	25
Risikoanalyse	15
Risikokommunikation	229
Risk	187
Risk analysis	15
Risk assessment	283
Risk communication	229
Risk management	25
Risk map	283
River Alpine Rhine	248
River ecology	248
Rockfall	99
Rotating drum	379
Rückbaumaßnahme	209
Rückhaltevermögen	271
Run out	478
Rural zones	221
Rutschung	99
Saisonalität	501
Scheitelabfluss	111
Schlitzsperrre	271
Schlüsselbauwerke	415
Schutzanlagen	525
Schutzziele	25
Schwallwellen	187
Seasonality	502
Sediment delivery	320
Sediment management	63
Sediment retention basin	271
Sediment transport	465
Sediment transports system	404
Sedimentation reduction	63
Shallow landslide	392
Shinano River	121
Short Forecast Lead Time	455
Side weir	131, 199, 357
Simulation	357

Slit dam	271
Social model	90
Soil bioengineering	307
Spatial integration	41
Spatial planning	221
Steile Gefälle, Steep slopes	295
Storm damage	99
Streichwehr	131
Sturzprozess	99
Surge	187
Suspended load	404
Suspensionsfracht	403
Systèmes complexes	89
Taifunereignis	391
Talsperrenversagen	187
The Tateyama Caldera	537
Tobata landslide	121
Torrent	111, 525
Torrential processes	478
Total load	404
Trap efficiency	271
Tree ring	502, 514
Triggers	502, 514
Trommel-Versuchsanlage	379
Typhoon	63
Typhoon disaster	392
Überflutung	187
Ufererosion	131
Universal strategy	238
Unsicherheiten, Uncertainties	15
Unwetterschäden	99
Upper Swiss Rhone River	90
Vegetation	131
Vulnerability	283
Waldbrand	391
Warnungen, Warning	51
Water management concept	238
Water reservoir	79
Wildbach	111, 261, 331, 525
Wildbachbeurteilung	319
Wildbachprozesse	477
Woody debris	433
Zenkoji Earthquake	121
Zustandsüberwachung	525
Zuverlässigkeit	415

Published by the International Research Society INTERPRAEVENT, Klagenfurt, Austria

INTERPRAEVENT 2008 – Conference Proceedings, Vol. 2
ISBN 978-3-901164-10-1

© 2008 International Research Society INTERPRAEVENT

Edited by the INTERPRAEVENT Science & Technology Board:

Matjaž Mikoš

Johannes Huebl

and Gernot Kobltschnig

The authors bear full responsibility for the contents of their contribution.

All rights reserved; no part of this publication may be reproduced, stored or retrieved in any form or by any means without the prior written permission of the International Research Society INTERPRAEVENT.

Printed in Austria by ☞ Kreiner Druck, Villach/Spittal

Schutz des Lebensraumes vor Hochwasser, Muren, Massenbewegungen und Lawinen.

Protection of populated territories from floods, debrisflow, mass movements, and avalanches.

Protection du territoire contre les crues, le laves torrentilles, le mouvements de masse et les avalanches.

Protezione del territorio da alluvioni, colate detritiche, frane e valanghe.

26-30 May 2008

Dornbirn Vorarlberg Austria

www.interpraevent.at

Conference Proceedings

Disaster Management, Mass Movements, Risk Management, Protection forests and avalanches

Vol. 2

PREFACE

In 2008, the International Research Society INTERPRAEVENT, founded in 1968 in Austria, celebrates its 40th Anniversary. The society developed from a research association in Austria to a recognised and well known international research network with 11 international members as well as numerous national members such as corporate bodies, local authorities, companies or even individuals.

One of the main events and services INTERPRAEVENT offers, is the congress every 4 years. The 11th INTERPRAEVENT Congress in Dornbirn is organised by the Forest Engineering Service on Torrent and Avalanche Control, Department Vorarlberg. The general congress theme is »**Protection of living space from floods, debris flows, avalanches and mass movements**«. The congress venue, which is close to the so-called »Dreilaendereck« fits well to the international essence of the INTERPRAEVENT.

The interest to present latest research results and practical experiences in the field of protection from natural hazards, such as floods, debris flows, avalanches and mass movements, was large. The International Scientific Committee selected 129 potential full papers from 241 submitted extended abstracts. The internationality of the congress was stressed by the nationality of the contributing authors, coming from 21 countries, 9 of them outside of Europe (People's Republic of China, Japan, Malaysia, Nepal, Republic of China (Taiwan), Uzbekistan, Russia, Turkey, and Venezuela). Altogether 102 full papers were received, and after revision, 100 revised full papers were accepted for publication. Finally, the full papers were printed in two congress proceedings volumes grouped in the congress themes.

VOL 1: river basin management, torrents

VOL 2: disaster management, mass movements, risk management, and protection forest and avalanches

INTERPRAEVENT Science & Technology Board

Matjaž Mikoš, Chairman

Johannes Huebl, Co-chairman

INTERPRAEVENT Business Administration

Gernot Koboltschnig

INTERNATIONAL SCIENTIFIC COMMITTEE

Aller Doerte, Zurich
Armanini Aronne, Trento
Berger Frederick, Grenoble
Beyer-Portner Niki, Billens
Chen Su-Chin, Taichung
Cui Peng, Chengdu
Fiebiger Gernot, Salzburg
Frei Rosa, Dornbirn
Gutknecht Dieter, Vienna
Huebl Johannes, Vienna
Kanonier Arthur, Vienna
Kienholz Hans, Bern
Kirnbauer Robert, Vienna
Klaghofer Eduard, Petzenkirchen
Kreuzer Stefan, Tulln
Lied Karstein, Oslo
Lundström Karin, Linköping
Margreth Stefan, Davos
Marui Hideaki, Niigata
Marutani Tomomi, Sapporo
Mikoš Matjaž, Ljubljana
Moser Michael, Erlangen
Nestmann Franz, Karlsruhe
Poisel Rainer, Vienna
von Poschinger Andreas, Munich
Romang Hans, Davos
Ruch Christophe, Graz
Rudolf-Miklau Florian, Vienna
Scotton Paolo, Padova
Simonini Paolo, Padova
Strauss Alfred, Vienna
Thoeni Magdalena, Innsbruck
Wieprecht Silke, Stuttgart
Zingari Pier Carlo, Chambéry
Zollinger Fritz, Zurich

INHALT / CONTENT / CONTENUE / INDICE

KATASTROPHENMANAGEMENT / DISASTER MANAGEMENT / GÉSTION EN CAS DE CALAMITÉ / GESTIONE CALAMITÀ

WETTERALARME – EINE HERAUSFORDERUNG FÜR EINE WIRKSAME INTERVENTION EIN PRAXISBEITRAG AUS DER ZENTRALSCHWEIZ Graf R.	17
EREIGNISANALYSE HOCHWASSER 2005 IN DER SCHWEIZ Hegg C., Bezzola G.R., Koschnim A.	27
DIE UMSETZUNG VON ERGEBNISSEN EINER EREIGNISANALYSE – HOCHWASSER 2005 IM DIEMTIGTAL Hunzinger L., Hunziker G., Mani P.	39
KRISENMANAGEMENT UND BODENSCHUTZ – ERFAHRUNGEN AUS DEN HOCHWASSEREREIGNISSEN 2005 IN ALPINEN REGIONEN DER SCHWEIZ Locher Oberholzer N., Wernli M., Isler S., Rupf R.	51
EREIGNISORIENTIERTE NOTFALLPLANUNG ALS INSTRUMENT DER EINSATZKRÄFTE BEI NATURGEFAHREN Plattner T., Gunzenhauser M.	63
WERKZEUGE ZUR BEWÄLTIGUNG VON HOCHWASSER- UND MURGANGEREIGNISSEN IN KLEINEREN EINZUGSGEBIETEN Romang H., Wilhelm C., Frede V., Bérod D., Hegg C., Rhyner J.	75
ORGANISATION DER EINSATZPLANUNG IN DER ABTEILUNG WASSERSCHUTZBAUTEN DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN – SÜDTIROL BEI HOCHWASSEREREIGNISSEN Staffler H., Prugg H., Pollinger R., Tanzer M., Gögele T.	87
 MASSENBEWEGUNGEN / MASS MOVEMENTS / MOVIMENTI FRANOSI / GLISSEMENTS DE TERRAIN	
MODELLO PROBABILISTICO DI INNESCO DI FRANE SUPERFICIALI NEI BACINI IDROGRAFICI ALPINI Cazzaniga C., De Donatis S., Pilotti M., Sciesa E.	101

GEOMORPHOLOGICAL IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON ALPINE GLACIAL AND PERIGLACIAL AREAS – EXAMPLES OF PROCESSES AND DESCRIPTION OF RESEARCH NEEDS Chiarle M., Mortara G.	111
RELEVANCE OF THREE-DIMENSIONAL STABILITY ANALYSIS FOR TWO LANDSLIDES IN SOUTHERN ITALIAN ALPS Cola S., Simonini P.	123
THE SCASCOLI CASE STUDY (BOLOGNA – ITALY) DESIGN AND SAFETY MEASURES OF A LARGE LANDSLIDE AREA Giacchetti G., Marchi G., Benedetti G., Landuzzi A.	135
KLIMATISCHE UND METEOROLOGISCHE EINFLÜSSE AUF STURZPROZESS Gruner U.	147
DER EINSATZ VERSCHIEDENER KLASSIFIKATOREN ZUR ERKENNUNG FLACHSCHALIGER RUTSCHUNGEN – MODELLGEBIET SACHSELN / SCHWEIZ Hamberger M., Moser M.	159
BEURTEILUNG GEOGENER GEFAHREN IN HINBLICK AUF EINE RISIKOMINDERUNG IN DER GDE. SIBRATSGFÄLL (ÖSTERREICH) Jaritz W., Supper R., Wöhrrer-Alge M.	171
HYDROLOGICAL PATTERNS AND PROCESSES OF A DEEP SEATED CREEPING SLOPE AT EBNIT, VORARLBERG Lindenmaier F., Zehe E., Wienhöfer J., Ihringer J.	183
DIE RUTSCHUNG SÜDLICH VON IMMENSTADT – EINE KOMBINIERTER RUTSCHUNG MIT GEFÄHRLICHEN AUSWIRKUNGEN AUF STADT UND INFRASTRUKTUR Mayer K., Bunza G.	195
ROCKFALL RATING SYSTEMS: IS THERE A COMPREHENSIVE METHOD FOR HAZARD ZONING IN POPULATED AREAS? Mölk M., Poisel R., Weibold J., Angerer H.	207
LANDSLIDE DETECTION AND SUSCEPTIBILITY MAPPING USING INNOVATIVE REMOTE SENSING DATA SOURCES Proske H., Granica K., Hirschmugl M., Wurm M.	219
LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS AT A REGIONAL SCALE - A QUALITATIVE APPROACH AT THE EASTERN ALPS Ruff M., Czurda K.	231

A NEW DATABASE OF ALPINE ROCK FALLS AND ROCK AVALANCHES Schoeneich P., Hantz D., Deline P., Amelot F.,	243
--	-----

AN INTER-DISCIPLINARY STRATEGY FOR LANDSLIDE HAZARD MONITORING Supper R., Römer A., Bieber G., Jaritz W., Wöhler- Alge G.	251
--	-----

**RISIKOMANAGEMENT / RISK MANAGEMENT /
GESTIONE DEL RISCHIO / GESTION DU RISQUE**

WIRKUNGSPRÜFUNG DES KATASTROPHENMANAGEMENTS – EIN UMFASSENDE ANSATZ ZUR PRÜFUNG DER EFFEKTIVITÄT, EFFIZIENZ UND ANGEMESSENHEIT DES KATASTROPHENMANAGEMENTS BEI HOCHWASSER FÜR ÖSTERREICHISCHE GEMEINDEN Adam V.	263
--	-----

ECONOMIC ASSESSMENT OF NATURAL FLOOD DETENTION MEASURES – SCIENTIFIC APPROACHES TO IDENTIFY FLOOD RELATED LAND USE EXTERNALITIES Dorner W., Porter M., Metzka R.	275
--	-----

RISIKOBEWERTUNG IM BAYERISCHEN ALPENRAUM – DER WERT HISTORISCHER QUELLEN Frank C., Copien C., Becht M., Barnikel F.	287
--	-----

INTEGRATED AND PARTICIPATORY LAND-USE MANAGEMENT – THE IMPLEMENTATION OF INTEGRATED LAND CONSOLIDATIONS IN THE CONTEXT OF THE 3RD RIVER RHONE TRAINING PROJECT IN THE CANTON OF VALAIS, SWITZERLAND. Fritsch M., Repetti A., Vuillerat C.-A., Schmid G.	299
--	-----

VULNERABILITÄT GEGENÜBER WILDBACHPROZESSEN – VORGANGSWEISE UND DISKUSSION ANHAND EINER STUDIE IN ÖSTERREICH Fuchs S., Heiss K.	311
--	-----

PRIORISIERUNG DES HANDLUNGSBEDARFS BEI DER SICHERUNG DES LEBENSRAUMS VOR WASSERGEFAHREN AUF REGIONALER MASSSTABEBENE IN DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN SÜDTIROL Hanspeter Staffler H., Rudolf Pollinger R., Zischg A.	323
--	-----

VON PRÄVENTION ZU SUBVENTION Heigl F.	335
---	-----

SCHUTZZIELE IM UMGANG MIT NATURRISIKEN – WANDELN AUF DEM PFAD DER GERECHTIGKEIT... Hess J.	347
TECHNISCHER OBJEKTSCHUTZ – STAND DER TECHNIK UND KÜNFTIGE ANFORDERUNGEN Holub M.	359
VARIABILITÄT DES SCHADENPOTENTIALS – METHODIK IM RAHMEN DES INTEGRALEN RISIKOMANAGEMENTS Keiler M, Fuchs S.	371
2D-MODELLIERUNG VON ÜBERSCHWEMMUNGSGEBIETEN MIT OPTIMISIERTEN EINGANGSDATEN – GROSSFLÄCHIGE ANWENDUNG UND KOMMUNIKATIONSSTRATEGIEN Rieger D., Igel W., Dorsch J., Fröhlich H., Hagemeyer M., Wagner K.	383
DIGITAL GEOMORPHOLOGICAL INFORMATION FOR ALPINE HAZARD STUDIES USING LASER ALTIMETRY DATA AND GIS WITH AN EXAMPLE FROM VORARLBERG, AUSTRIA Seijmonsbergen H.	395
THE RELEVANCE OF ACTORS' RISK KNOWLEDGE AND ITS INTEGRATION INTO FLOOD RISK MANAGEMENT Thomi L.	407
VERLETZLICHKEIT VON GEBÄUDEN UND WIRKSAMKEIT VON OBJEKTSCHUTZMASSNAHMEN Vanomsen P., Egli T.	419
INFORMATION SYSTEM FOR HYDROGEOLOGICAL RISKS (IHR) PROCEDURA PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CARTA INDICATIVA DEI PERICOLI ALLUVIONALI PER FIUMI DI FONDOVALLE IN TERRITORIO ALPINO Volcan C., Staffler H.	431
 SCHUTZWALD UND LAWINEN / PROTECTION FORESTS AND AVALANCHES / FORÊTS DE PROTECTION ET AVALANCHES / FORESTE DI PROTEZIONE E VALANGHE	
VERKNÜPFUNG VON GEFAHRENHINWEISKARTEN UND LUFTBILDER ZUR AUSSCHIEDUNG PFLEGEDRINGLICHER BESTÄNDE IM SCHUTZWALD – EINE FALLSTUDIE AUS DEN BAYERISCHEN ALPEN, BERCHTESGADENER LAND Binder F., Macher C., Klöcking B.	445

INTEGRALE PLANUNG VON AUFFORSTUNGEN IN DER BAYERISCHEN LÄNDLICHEN GEMEINDE VON GELTENDORF, DEUTSCHLAND, UM HOCHWASSERSPITZEN ZU VERRINGERN Binder F., Macher C., Klöcking B.	457
IMPROVING THE MANAGEMENT OF PROTECTION FORESTS IN SWITZERLAND – THE PROJECT SILVAPROTECT-CH Giamboni M., Wehrli A.	469
THE INFLUENCE OF VEGETATION ON EROSION FOLLOWING RESTORATION IN HIGH ZONES Graiss W., Krautzer B., and Partl C.	481
ENTWICKLUNG UND KALIBRIERUNG DES FLIESS- UND STAUBLAWINENMODELLS SAMOS-AT Granig M., Oberndorfer S.	493
ANALYSE UND MODELLIERUNG DER WALDWIRKUNG AUF DAS HOCHWASSEREREIGNIS IM PAZNAUNTAL VOM AUGUST 2005 Kohl B., Klebinder K., Markart G., Perzl F., Pirkel H., Riedl F., Stepanek L.	505
STEUERUNG DES OBERFLÄCHENABFLUSSES DURCH STANDORTOPTIMIERTE WALDBEWIRTSCHAFTUNG Kohl B., Klosterhuber R., Hotter M., Markart G.	517
SIMULATION VON GEFAHRENHINWEISFLÄCHEN ALS GRUNDLAGE ZUR SCHUTZWALDAUSSCHIEDUNG IN DER SCHWEIZ Liener S., Pfeifer R., Giamboni M.	529
BERÜCKSICHTIGUNG DER WIRKUNG VON SCHUTZMASSNAHMEN IN GEFAHRENKARTEN: VORGEHEN IN DER SCHWEIZ Margreth S., Romang H.	539
EIN MINIMALSTANDARD FÜR DIE DOKUMENTATION DER SCHUTZWIRKUNGEN DES WALDES IM RAHMEN DER ÖSTERREICHISCHEN „INITIATIVE SCHUTZ DURCH WALD“ Perzl F.	551
AVALANCHE SAFETY CONCEPT FOR A RAILWAY STATION IN AUSTRIA – TECHNICAL AND TEMPORARY MEASURES – A HAZARD ANALYSIS Rachoy C., Bacher M., Schekulin C.	563
LANDSCAPE EVALUATION MODEL FOR GREEN BELT PLAN: AN APPLICATION TO ROKKO MOUNTAIN RANGE IN SETO INLAND SEA NATIONAL PARK Sakaguchi T., Iwama M., Nakane K., Goto K., Ishio K.	573

IMPROVING AVALANCHE FORECASTS BY EXTRACTING BOUNDARY CONDITIONS FROM MEASURED WIND DATA AND LOCAL WEATHER MODELS FOR SNOW DRIFT SIMULATION IN ALPINE AREAS Schneiderbauer S., Tschachler T., Hinterberger W., Fischer P., Studeregger A., Podesser A.	583
PASSIVE DEFENSE STRUCTURES AGAINST DENSE SNOW AVALANCHES – EXPERIMENTAL ANALYSIS Scotton P. De Toni S., Moro F.	593
NACHHALTIGER SCHUTZWALD ENTLANG VON FLIESSGEWÄSSERN – DAS PROJEKT „NASEF“ IM KANTON LUZERN (SCHWEIZ) Stalder R., Martin S., Covi S.	605
TWO DIMENSIONAL MODELLING OF SNOW TEMPERATURE AND SNOW SETTLEMENT Teufelsbauer H.	617
INNOVATIVE TOOLS IN PROTECTION FOREST MANAGEMENT – MODELLING OF FOREST TYPES - WALDTYPISIERUNG TIROL Ziegner K., Wallner M.	629

Katastrophenmanagement
Disaster Management
Gestión en cas de calamité
Gestione calamità

WETTERALARME – EINE HERAUSFORDERUNG FÜR EINE WIRKSAME INTERVENTION

EIN PRAXISBEITRAG AUS DER ZENTRALSCHWEIZ

METEOROLOGICAL WARNINGS – A CHALLENGE FOR AN EFFECTIVE RESPONSE

A PRACTICAL CONTRIBUTION FROM CENTRAL SWITZERLAND

René Graf¹

ZUSAMMENFASSUNG

Warnungen vor ausserordentlichen Wetterlagen können einen wesentlichen Beitrag leisten zur Abwehr von Schäden durch Hochwasser und Murgänge. Erfahrungen aus dem Kanton Luzern, Schweiz, zeigen, dass die räumliche Auflösung und der Geltungszeitraum der heute verfügbaren Prognosen häufig nicht ausreichen, um eine Intervention der Wehrdienste zu planen und auszulösen. Vielmehr schaffen die grosse Anzahl und die vielfältigen Verbreitungswege der Warnungen ein Umfeld, das den Verantwortlichen den Einsatzentscheid zusätzlich erschwert. Diese geraten in ein Dilemma: Alarmieren sie die Wehrkräfte und erweist sich das Aufgebot nachträglich als unnötig, so leiden darunter die öffentlichen Finanzen, die Glaubwürdigkeit des Frühwarnsystems sowie die Motivation der Milizfeuerwehren. Werden dagegen die Wehrkräfte nicht oder erst mit Verzögerung aufgeboden und entstehen dadurch wesentliche Schäden, so setzen sich die Verantwortlichen dem Vorwurf aus, allgemein verfügbares Wissen um die Brisanz der Wetterlage nicht beachtet zu haben. Während die Forschung weiter an der Verbesserung der Prognosen arbeiten muss benötigen die Verantwortlichen des Bevölkerungsschutzes – fast ausschliesslich meteorologische Laien – Unterstützung bei der Interpretation der heute verfügbaren Warnungen.

Im vorliegenden Beitrag wird meistens die weibliche Form verwendet. Männer sind mitgemeint.

Keywords: Frühwarnung, Wettervorhersagen, Intervention

¹ Fachleiter Naturgefahren des Kantons Luzern, Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Centralstrasse 33, CH-6210 Sursee, Schweiz (Tel.: +41 41 925 10 73; Fax: +41 41 925 10 09; email: rene.graf@lu.ch) und unabhängiger Berater für Disaster Risk Reduction (www.riskcoach.ch; e-mail: rene.graf@riskcoach.ch)

ABSTRACT

Warnings about extraordinary meteorological conditions may contribute to a successful mitigation of damages due to flood or debris flow. Experiences of the authorities of the Canton of Lucerne, Switzerland, point at the fact that meteorological warnings often are still too imprecise to legitimate an alert of the public intervention forces. The spatial scale of the forecasts is often too wide, and so is their time span. The large number and the various distribution channels of meteorological warnings create an environment, which hampers the responsible officers in their task to decide about an intervention: If they mobilise the intervention forces and later on time will tell that this intervention was not necessary, there will be a loss of public finances, a loss of credibility in the early warning system and a loss of motivation of the members of the militia intervention forces. But if the responsible officers do not mobilise the intervention forces in time damage might occur and the responsible officers will be blamed for not having considered available knowledge about a hazardous weather situation. While the precision of the forecasts has to be approved by further research projects the responsible officers – mostly laypersons – have to be supported in their task to interpret the warnings.

Keywords: early warning, meteorological forecast, response, intervention

WARNUNGEN: SEGEN – UND FLUCH?

Die Qualität meteorologischer Vorhersagen konnte in den vergangenen Jahren wesentlich verbessert werden. Gezielt eingesetzt können Wettervorhersagen einen wesentlichen Beitrag zur Bewältigung von Naturereignissen wie Lawinen, Hochwasser und Murgänge leisten. 30% der Siedlungsgebiete des Kantons Luzern gelten als überflutungsgefährdet. Der vorliegende Beitrag fokussiert deshalb primär auf den Schadenprozess Hochwasser. Die Kommerzialisierung und Popularisierung von Meteowarnungen hilft, Schäden einzugrenzen. Gleichzeitig steigt aber auch die Gefahr von Fehlalarmen und unangemessenen Reaktionen. Der vorliegende Beitrag beschreibt Potenziale, Grenzen und Gefahren von meteorologischen Warnungen in Bezug auf Interventionen des Bevölkerungsschutzes. Er stützt sich auf konkrete Erfahrungen aus dem Kanton Luzern, einer niederschlagsreichen Region am nordexponierten Alpenrand der Zentralschweiz. Der Autor ist Kernmitglied des kantonalen Führungsstabs.

METEOWARNUNG UND INTERVENTION – ZWEI DEFINITIONEN

Als Meteowarnung wird in diesem Beitrag eine Meldung verstanden, die folgende Bedingungen erfüllt:

- Die Meldung weist darauf hin, dass sich innert einer absehbaren Frist ausserordentliche Witterungsverhältnisse einstellen dürften.
- Es wird eine Abweichung von durchschnittlichen Witterungsverhältnissen prognostiziert, die so gross ist, dass mit Schäden an Sachwerten und eventuell an Leib und Leben gerechnet werden muss.
- Die Meldung enthält eine implizite oder explizite Aufforderung, vorbeugende oder abwehrende Massnahmen einzuleiten.

Als Intervention wird die Gesamtheit aller Massnahmen bezeichnet, die gezielt ergriffen wird, um die Schaden verursachenden Auswirkungen eines bestimmten Naturereignisses zu

mildern. Dazu zählen eine Unmenge meist punktueller Massnahmen privater Akteurinnen ebenso wie der koordinierte Einsatz von Einheiten des Bevölkerungsschutzes. Diese stehen bei Elementarereignissen in der Schweiz in der Regel unter der Führung der örtlichen Feuerwehr. Ist ein Einsatz weiterer Mittel nötig, so wird dieser von einem Führungsstab organisiert und koordiniert. In diesem Stab sind sowohl die Einsatzkräfte als auch die politischen Behörden vertreten.

WARNUNGSRUDEL AUF VERSCHLUNGENEN PFADEN

Eine vereinfachte Vorstellung eines Alarmsystems besteht aus drei Elementen:

- einer Stelle, die eine Warnung frei setzt;
- einem Medium, das die Warnung übermittelt; und
- einer Stelle, die die Warnung in Empfang nimmt.

Eine Warnung oder ein Alarm wird frei gesetzt, wenn ein definierter Schwellenwert überschritten wird.

Im Zeitalter der elektronischen Kommunikation und deren Kommerzialisierung ist ein derart lineares, nicht öffentliches Vorgehen kaum noch möglich: Verschiedene Institute veröffentlichen praktisch gleichzeitig Warnungen. Die Verbreitung dieser meist ähnlich lautenden, aber doch nicht ganz identischen Warnungen erfolgt gleichzeitig über vielfältige Kanäle wie Radio, Fernsehen, Internet und Mobiltelefone. Offiziell definierte Meldevorgänge werden dabei links und rechts überholt. Die Warnungen erreichen zwar gezielt die regionalen Verantwortlichen für die Implementierung und Koordination der Schadenabwehr, wie zum Beispiel Feuerwehrkommandantinnen oder Behördenmitglieder. Gleichzeitig erreichen sie aber auch eine Unmenge von Personen in deren Rollen als Hauseigentümerinnen, Unternehmerinnen, Medienschaffende und so weiter. Dazu kommt, dass manche Empfängerinnen ihrerseits als Warnende auftreten: Eine Hauseigentümerin ruft die Feuerwehr, weil ein Fluss über die Ufer zu treten droht. Sowohl die Hauseigentümerin als auch die Feuerwehr haben zudem auf ihren Mobiltelefonen Warnungen eines kommerziellen Anbieters erhalten, die Feuerwehr zusätzlich die offizielle Warnung einer dafür bezeichneten Institution. Die Feuerwehr orientiert die Gemeindebehörden, diese erhalten gleichzeitig Rückfragen von Behörden benachbarter Regionen. Journalisten empfangen Warnungen und verbreiten diese in einer abgeänderten Version. Behördenmitglieder fragen nach der Feuerwehrkommandantin, die Polizei warnt die Bewohnerinnen eines gefährdeten Quartiers, die ihrerseits... Falls sich bei Ihnen, geschätzte Leserin, an dieser Stelle Verwirrung breit macht, haben Sie das Wesentliche erfasst: Warnung und Alarmierung finden heute in einem vielfältigen und offenen System statt, das die folgenden Charakteristika aufweist:

- Die Systemgrenzen sind durchlässig.
- Die Systemelemente (Akteurinnen) sind zahlreich.
- Die Systembeziehungen sind teilweise mehrfacher Natur: Verschiedene Akteurinnen empfangen Warnungen und geben ihrerseits Warnungen ab.
- Der Informationsfluss erfolgt nicht koordiniert und kann auch kaum gesteuert werden.
- Die Informationen treffen selbständig ein, ungefragt oder im Abonnement, oder sie werden gezielt eingeholt.

Entgegen einer immer noch weit verbreiteten Meinung wird also nicht nur eine spezifische Warnung auf einen definierten Weg geschickt, sondern gleichzeitig ein Rudel von Warnungen in einem fast unüberschaubaren Kommunikationsnetz freigesetzt.

WARNUNGSFLUT ODER FLUTWARNUNG?

Jede Warnung ruft nach einer Entscheidung: Ob als Privatperson oder als Verantwortliche für den Einsatz der Feuerwehr – das Wissen um die Möglichkeit von ausserordentlichen Wetterentwicklungen und von schweren Schäden bürdet der Empfängerin der Warnung eine Verantwortung auf, der sie sich nicht entziehen kann. Als Minimum müssen die folgenden Fragen beantwortet werden:

- Sollen Massnahmen eingeleitet werden oder soll die Warnung nicht beachtet werden?
- Falls Massnahmen eingeleitet werden sollen: Welche?

Das mögliche Spektrum reicht dabei vom Reinholen der Blumenkistchen bis zum alarmmässigen Vollaufgebot der Feuerwehr, vom Einrollen der Sonnenstore bis zum Abfüllen und Aufschichten von Sandsäcken. Nicht alle Massnahmen sind gleich wirksam – nicht alle sind gleich teuer.

Je mehr Personen eine Warnung empfangen haben, desto grösser wird die Erwartung breiter Kreise an Behörden und Feuerwehr, darauf zu reagieren. Und je mehr Personen eine Warnung erhalten, über deren Tragweite sie sich – meist aus fachlichen Gründen – nicht Rechenschaft geben können, desto grösser wird die Anzahl der Rückfragen an Fachstellen, Behörden und Feuerwehren. Und je mehr Personen sich um Informationen bemühen, desto interessanter wird das Thema für die Medien, die nun ihrerseits Rückfragen starten. Dies ist der Hintergrund, vor der die Verantwortlichen für öffentliche Interventionen – fast ausschliesslich meteorologische Laien – kostspielige Entscheide mit weit reichenden Konsequenzen zu fällen haben. Die aktuell zu beobachtende Warnungsflut wirkt dabei belastend. Was sich die Verantwortlichen wünschen sind zuverlässige Hochwasserwarnungen, und dies gezielt für ihr Einsatzgebiet.

MINIMALSTANDARD FÜR EINEN EINSATZENTSCHEID

Um den Entscheid zu fällen, eine Feuerwehr zu alarmieren und Massnahmen einzuleiten, müssen die Verantwortlichen die folgenden Fragen beantworten können:

- Sind in genau dem Raum, für welchen die Verantwortlichen zuständig sind, (mit hoher Wahrscheinlichkeit) gefährliche Prozesse zu erwarten?
- Werden diese Prozesse (mit hoher Wahrscheinlichkeit) mit einer Intensität hereinbrechen, die Schutzmassnahmen notwendig macht?
- Wie viel Zeit steht noch zur Verfügung, um Massnahmen anzuordnen und bis zu einem Grad zu realisieren, ab welchem sie wirksam sind?

Jede Mobilisierung einer Feuerwehr kostet Geld und beansprucht die Motivation ihrer Mitglieder – in der Schweiz fast ausschliesslich der Milizkräfte – und verursacht erhebliche Kosten. Fehlalarme müssen in Kauf genommen werden, dürfen sich aber keinesfalls häufen.

Eine Warnung muss somit zwei Bedingungen gleichzeitig genügen:

- Ihre räumliche Präzision muss ausreichen, um die Vorhersage auf das Einsatzgebiet einer Kommandoeinheit zu beziehen.
- Die Vorwarnzeit muss ausreichen, um angemessene Massnahmen einzuleiten.

Angemessene Vorwarnzeit

Die benötigte Vorwarnzeit richtet sich nach der Art der Massnahme. Bei einer Sonnenstore mag es genügen, diese nach dem ersten Windstoss einzuziehen. Naturverbundenen Menschen mag es deshalb ausreichen, bei aufziehenden Wolken von Zeit zu Zeit einen Blick zum Fenster hinaus zu werfen. Wer auf Nummer Sicher gehen will kann sich einen Alarmservice per SMS abonnieren. Dadurch lässt sich die Vorwarnzeit verlängern, und entpuppt sich die Warnung als Fehlalarm, so entstehen keine wesentlichen Kosten. Das Einrichten vorbereiteter Objektschutzmassnahmen erfordert bereits etwas mehr Vorwarnzeit – eine Viertelstunde vielleicht. Will eine Garagistin ihre Autos an einen sicheren Ort umparkieren, so benötigt sie hiezu möglicherweise eine Stunde oder mehr. Auch das Bergen wertvoller Gegenstände aus Keller oder Tiefgarage erfordert eine lange Vorwarnzeit: Zu kurzfristige Warnungen erhöhen die Gefahr, dass sich Personen „im letzten Moment“ an kritische Orte begeben und dabei in Gefahr geraten. Oder ums Leben kommen. Das Einrichten mobiler Schutzmassnahmen durch die Feuerwehr schliesslich, das Positionieren von Baumaschinen an neuralgischen Punkten oder das Evakuieren grosser Baukomplexe oder ganzer Quartiere benötigt eine verhältnismässig lange Vorwarnzeit. In vielen Fällen mag eine Stunde dafür nicht genügen.

Die Vorwarnzeit kann als die Summe zweier Summanden betrachtet werden:

- der Zeitspanne, für welche ein Niederschlag in der erforderlichen geografischen Präzision mit hoher Wahrscheinlichkeit vorausgesagt werden kann; - plus
- der Zeit, die das Wasser benötigt, um vom Ort des Niederschlags zum Schadenpotenzial zu fliessen;

Der erste Summand kann mittelfristig beeinflusst werden: Er ist abhängig von der Zuverlässigkeit der Prognose und damit einerseits vom technischen Setup des Beobachtungssystems (Messstationen, Radarstationen, Übermittlungsmedien usw.), andererseits von der Zuverlässigkeit der Prognosemodelle. Der zweite Summand ist abhängig von der Topografie und steht damit in einem unveränderlichen direkten Zusammenhang mit dem Einsatzgebiet der Interventionskräfte.

Relevanz für den Einsatzraum

Die zweite Überlegung gilt dem Einsatzgebiet: Die Feuerwehren sind auf kommunaler Basis organisiert. Ihr Einsatz richtet sich deshalb auf das Gebiet einer einzigen oder einiger weniger Gemeinden. Im Vorgebirge und an dessen Rand geht die Bedrohung eines Einsatzgebietes meist von kleinen oder sogar sehr kleinen Einzugsgebieten aus. Oft beträgt deren Fläche nur wenige Quadratkilometer, und die Laufzeiten des Wassers sind entsprechend kurz. Fällt ein Starkregen zudem auf bereits gesättigte Böden, so werden die zeitlichen Verhältnisse noch prekärer. Entleert sich eine Gewitterzelle aber auch nur einen Kilometer weiter entfernt, so kann ein ganz anderes Gebiet überflutet werden. Um diesem Fall zu begegnen müsste aber Schutzmassnahmen an ganz anderen Orten getroffen werden, müsste die Feuerwehr einer ganz anderen Gemeinde aktiviert werden.

Zwei Beispiele zeigen, wie relevant es für die Verantwortlichen des Bevölkerungsschutzes ist, praktisch auf den Kilometer genau zu wissen, wo sich eine Niederschlagszelle entleeren wird. Der Napf ist ein gut 1'400 m ü. M. hoher Berg. Besonders in der Gewittersaison fallen dort manchmal im Tagesrhythmus Niederschläge von extremer Intensität. Rund um den Gipfel des Napf gruppieren sich in einem Gebiet von 2 x 6 km die sehr steilen Einzugskessel von fünf Flüssen (Abb. 1). Diese fünf Gewässer haben in der Vergangenheit immer wieder

verheerende Überschwemmungsschäden verursacht. Je nachdem, wo sich eine Gewitterzelle entleert, sind ganz unterschiedliche Gemeinden und Feuerwehren betroffen, verteilt auf die beiden Kantone Luzern und Bern. Die Vorwarnzeiten sind extrem kurz: Willisau etwa kann schon eine halbe Stunde, nachdem es im Napfgebiet geregnet hat, mit hoher Intensität überschwemmt werden.



Abb 1: Relevanz der räumlichen Präzision einer Vorhersage am Napf

Fig 1: Relevance of the spatial precision of a forecast in the Napf region

Auch am Briener Rothorn (2'350 m ü. M.) treffen in einem ähnlich kleinen Gebiet die steilen und teils instabilen (Flysch) Einzugsgebiete von drei Flusssystemen zusammen (Abb. 2). Gemeinden am Oberlauf dieser Flüsse sind immer wieder von rasch anspringenden Unwettern überrascht und verwüstet worden. So mussten zum Beispiel im August 2005 in Brienz mehrere Todesopfer beklagt werden, und zahlreiche Häuser wurden komplett zerstört. Ob die Feuerwehr von Brienz im Kanton Bern, von Giswil im Kanton Obwalden oder von Flühl im Kanton Luzern alarmiert werden muss, darüber entscheiden wenige hundert Meter.



Abb 2: Relevanz der räumlichen Präzision einer Vorhersage am Briener Rothorn

Fig 2: Relevance of the spatial precision of a forecast at Brienz Rothorn mountain

Für Interventionen an Seen oder im Bereich der Unterläufe grosser Flusssysteme dagegen reichen die Vorwarnzeiten oft aus: Die Pegel stehender Gewässer steigen meist viel langsamer an als diejenigen von Fliessgewässern, und die Distanz vom oberen Einzugsgebiet bis zum Schadenpotenzial am Unterlauf ist oft gross.

Der Standard der heute verfügbaren Warnungen genügt nicht

Die beiden kritischen Faktoren „Prognosezeitraum“ und „räumliche Präzision“ stehen in gegenseitiger Abhängigkeit: Je länger der Prognosezeitraum (und damit die Vorwarnzeit), desto ungenauer die Abgrenzung des betroffenen Gebiets. Je genauer die räumliche Eingrenzung des Phänomens (und damit des Einsatzraums für die Feuerwehr), desto kürzer und damit kritischer die Vorwarnzeit. Für eine zusätzliche Unsicherheit sorgt die Ableitung einer eigentlichen Abflussprognose aus den verfügbaren Meteowarnungen. Auf diesen Schritt wird im vorliegenden Beitrag nicht näher eingegangen.

Ein Blick auf die heute verfügbaren Produkte zeigt, dass diese den Ansprüchen an das Auslösen einer öffentlichen Intervention häufig nicht genügen.

- Im Projektantrag für eine Operationelle Abfluss- und Hochwasservorhersage in Quellgebieten (OPAQUE) in Deutschland bemängeln die Autorinnen: „Gegenwärtig sind Vorhersagen extremer Hochwasserabflüsse in Quelleinzugsgebieten noch immer mit grossen Unsicherheiten behaftet (...) Die primären Ursachen hierfür sind die noch immer zu unsicheren Niederschlagsvorhersagen für diese Gebiete.“ - und: „Eine verlässliche Hochwasservorhersage in Quellgebieten erfordert, aufgrund der geringen Vorwarnzeiten, eine wesentlich genauere Niederschlagsvorhersage hinsichtlich Intensität und deren raumzeitlicher Verteilung über einen Zeitraum 2-3 h, als es das LM- und GME-Modell derzeit liefern können. Auch die Rasterauflösung von 7x7 km ist für die räumlich hoch variable Abflussbildung in diesen Gebieten recht grob“ (Universität Potsdam et al. 2005).
- Das Alpine Modell aLMo von MeteoSchweiz rechnet mit einem horizontalen Gitterabstand von 7 km. Die verbesserte Version aLMo2 soll eine weitere Regionalisierung der Vorhersagen ermöglichen, basierend auf einem Gitterabstand von 2.2 km und mit einem Vorhersagezeitraum von 18 Stunden (SCHUBIGER ET AL. 2005; ROTACH 2007).
- Modellvorhersagen mit dem regionalen Ensemble-Vorhersagesystem COSMO-LEPS erfolgen mit einem horizontalen Gitterabstand von 10 Kilometern (METEOSCHWEIZ 2007; Rotach 2007).
- Herrschen stabile Wetterlagen, so vermögen die genannten Modelle für eine verhältnismässig lange Frist recht zuverlässige Prognosen zu liefern. Für die Vorhersage alarmrelevanter Wetterphänomene wie Warm- und Kaltfronten ist das Verhältnis zwischen Leadzeit und Eintretenswahrscheinlichkeit jedoch deutlich ungünstiger.
- MeteoSchweiz bietet per Handy Unwetterwarnungen und so genannte Gewitter Flashes an. Diese informieren zwar frühzeitig (ca. 1 Stunde) über herannahende heftige Gewitter. Die Warnungen beziehen sich jedoch auf weitläufige Regionen, die zum Teil sogar mehrere Kantone abdecken.
- Die räumliche Gliederung der Unwetterwarnungen der Meteocentrale ist deutlich kleinräumiger. Warnungen werden für die einzelnen politischen Gemeinden erstellt. Die Zuverlässigkeit (Fehlerquote) dieser Warnungen ist für den Kanton Luzern noch nicht erhoben worden.

- Das vom Schweizerischen Bundesrat forcierte Projekt „Nowcasting gefährlicher Wettervorhersagen“ soll Prognosen für einen Zeitraum von maximal 6 Stunden liefern, so genannte Ultrakurzberichte. Prominente Meteorologen debattieren darüber, ob dies in absehbarer Zeit gar nicht möglich sei oder ob solche Prognosen sogar bereits existieren würden (MUTTER 2007). Die öffentliche Debatte widmet sich in diesem Fall fast ausschliesslich dem Faktor Zeit. Das Argument der räumlichen Präzision wird lediglich gestreift und nicht quantifiziert.

Keine der heute verfügbaren Warnungen weist somit eine räumliche Genauigkeit auf, wie sie auf Grund der topografischen Verhältnisse in vielen Gebieten notwendig wäre (Abb. 1 und 2), um darauf einen Einsatzentscheid abstützen zu können.

DIE REAL EXISTIERENDEN VERHÄLTNISSE IM KANTON LUZERN

Zuviel des Guten

Das Feuerwehrrinspektorat des Kantons Luzern, die fachliche und administrative Aufsichtsbehörde über die kommunal organisierten Feuerwehren, beklagt eine Flut von Warnungen, von denen nur die wenigsten einen Einsatz rechtfertigen würden.

- Im Zeitraum vom 21. Mai – 21. Juni 2007 zum Beispiel sind innerhalb eines Monats für Regionen im Kanton Luzern 26 SMS-Warnungen eines professionellen Anbieters eingegangen. Also fast eine Warnung pro Tag. Nur in zwei Fällen musste die Feuerwehr tatsächlich ausrücken (DONZÉ 2007).
- Seit 21. Juni 2007 amtet das Feuerwehrrinspektorat neu auch als offizielle kantonale Empfangsstelle für die offiziellen Warnungen. Allein in der ersten Woche sind – zusätzlich zu den bereits erwähnten SMS-Warnungen – sechs offizielle Meteowarnungen der MeteoSchweiz und ein Pegelalarm eingegangen (SPRING 2007). Auch dies bedeutet: Im Durchschnitt eine Warnung pro Tag.

Auf der Einsatzleitzentrale der Kantonspolizei treffen per SMS zusätzlich die Gewitter Flashes von MeteoSchweiz ein. Diese werden aber in der Regel gar nicht beachtet, da der Aufwand, aus dem Inhalt der Warnung Handlungsoptionen für öffentliche Interventionen abzuleiten, zu gross ist.

Die beobachtete Flut von Warnungen mag zwei Gründe haben: die Versagensangst der Warnenden und die kommerziellen Erwartungen der Anbietenden. Für die Verantwortlichen für öffentliche Interventionen ist die Menge der Warnungen jedoch verwirrend. So konstatierte der Feuerwehrrinspektor des Kantons Luzern öffentlich: „In der Flut, wie die Warnungen derzeit daherkommen, sind sie kontraproduktiv.“ – und: „Tatsache ist aber, dass die Warnungen zu einer Desensibilisierung der Bevölkerung führen. Vor allem dann, wenn die angekündigten Unwetter wiederholt nicht eintreffen.“ (MARTINU 2007)

Kleine Emme – ein Alarm auf Irrwegen

Die Kleine Emme entspringt im Südwesten des Kantons Luzern und durchquert diesen – im Unterlauf vereint mit der Reuss – nach Nordosten. Das Wasser fliesst anschliessend durch die Kantone Zug, Aargau und Zürich. Im August 2005 ist die Kleine Emme über weite Strecken über die Ufer getreten und hat immense Schäden verursacht. – Ein Jahr später, im Juli 2006, haben die Polizeizentralen der Kantone Aargau und Zug von der Landeshydrologie eine Warnung erhalten, wonach für den selben Abend ein Abflusswert erwartet werden müsse, der

rund 10% höher liege als 2005. Zwar waren damals rund 50 Computerläufe durchgeführt worden, kommuniziert wurde aber nur das Szenario, das als wahrscheinlichstes erachtet wurde. Die Verantwortlichen der unterliegenden Kantone Aargau und Zug erkundigten sich darauf hin bei ihren Kolleginnen der Luzerner Polizei nach den Verhältnissen im Einzugsgebiet und Oberlauf. Zwar war die Warnung der Landeshydrologie auch dem Kanton Luzern zugestellt worden, jedoch nicht der Polizei, sondern den Zuständigen für den Wasserbau. Zudem war ein Rückruf an die Landeshydrologie nicht möglich, weil deren Telefon nicht besetzt war. Leid Tragender war schliesslich der stellvertretende Feuerwehrinspektor des Kantons Luzern: Die Meldung lag auf seinem Tisch, und angesichts der möglichen Tragweite der Vorhersage durfte er diese nicht negieren. Der gelernte Primarlehrer konsultierte das Internet und die offizielle Wetterprognose, telefonierte mit einem Kollegen am Oberlauf der Kleinen Emme und musste feststellen, dass es nirgends regnete und kaum Niederschlag prognostiziert war. Schliesslich entschied er sich dafür, alle Feuerwehrkommandantinnen entlang der Kleinen Emme aufzufordern, die weitere Entwicklung genau zu beobachten. Einige Kommandantinnen reagierten, indem sie Offiziere an den Fluss beorderten und den Auftrag gaben, die weitere Entwicklung genau zu beobachten. Unter dem Eindruck der Ereignisse des Vorjahres gab's aber auch einen Kommandanten, der umgehend die Mannschaft aufbot und damit begann, Sandsäcke abzufüllen. Vor Einbruch der Nacht hat der kantonale Feuerwehrinspektor dann den Alarm widerrufen – auf eigene Verantwortung und gestützt auf die offizielle Wetterprognose...

Das Dilemma der Verantwortlichen

Die Tatsache, dass Warnungen heute allseits zugänglich sind, führt die Verantwortlichen für öffentliche Interventionen, in erster Linie Feuerwehrkommandantinnen, in ein Dilemma:

- Werden auf Grund einer Warnung Massnahmen ausgelöst, die sich im Nachhinein als unnötig erweisen, setzen sich die Verantwortlichen dem Vorwurf aus, unnötige Kosten verursacht und die Glaubwürdigkeit des Frühwarnsystems geschwächt zu haben. Zudem ist es der Motivation der Mitglieder der Feuerwehr abträglich, für ungerechtfertigte Einsätze alarmmässig aus dem Arbeitsprozess gerissen zu werden.
- Werden auf Grund einer Warnung keine Massnahmen ausgelöst oder die Feuerwehr erst mit Verzögerung aufgeboten und es ereignen sich wesentliche Schäden, so sehen sich die Verantwortlichen dem Vorwurf ausgesetzt, es sei doch allgemein bekannt gewesen, dass vor einer brisanten Situation gewarnt worden sei.

In der Schweiz funktioniert die Feuerwehr nach dem Milizsystem: Von den 5'700 Feuerwehrleuten im Kanton Luzern sind deren 13 hauptamtlich und 15 im Nebenamt angestellt. Alle übrigen sind eingeteilte Zivilistinnen. Dies gilt auch für die Offiziere. Werden diese einem zu hohen öffentlichen Druck ausgesetzt, so könnte dies künftig die Rekrutierung fähiger Führungskräfte erschweren.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

In der Regel sind die heute verfügbaren Meteowarnungen bezüglich Prognosezeitraum und räumlicher Relevanz noch zu unscharf, um daraus Handlungsoptionen für den Bevölkerungsschutz abzuleiten und darauf abgestützt die Wehrdienste zu alarmieren. In ihrer Menge und Verbreitung stiften sie – im Feld des Bevölkerungsschutzes – oft mehr Verwirrung als Nutzen. Dennoch: Ihre Verbreitung ist eine Tatsache, mit der sich die Verantwortlichen des Bevölkerungsschutzes nicht nur arrangieren müssen, sondern aus der sie versuchen müssen, möglichst grossen Nutzen zu ziehen. Aus der Sicht eines

Mitverantwortlichen des Kantons Luzern kann daraus etwa der folgende Wunschzettel abgeleitet werden:

- Wünsche an die Forschung: Forcieren der Grundlagen- und Anwendungsforschung bezüglich „Nowcasting“ mit einer räumlichen Auflösung, die Vorhersagen für sehr kleine Einzugsgebiete ermöglicht.
- Wünsche an die Anbieterinnen von Warnungen: Kommerzielle Ambitionen zügeln, d.h. Produkte erst anbieten, wenn sie marktreif sind. Auch private Kundinnen sind auf eine hohe räumliche Auflösung angewiesen. Produkte differenzieren nach Kundenkreisen. Verantwortungsträgerinnen im Bevölkerungsschutz sind meist Laien. Sie benötigen leicht verständliche Ensemblevorhersagen. Dabei muss jedem Szenario eine Eintretenswahrscheinlichkeit zugeordnet sein. Für Rückfragen muss eine fachlich geschulte Auskunftsperson erreichbar sein.
- Wünsche an die Medien: Bei der Berichterstattung den Unsicherheiten, die den Warnungen immanent sind, gebührend Rechnung tragen. Die Stimmung nicht zusätzlich aufheizen, etwa mit reisserischen Vergleichen mit Schadenereignissen der Vergangenheit.
- Wünsche an die Verantwortlichen im Bevölkerungsschutz: Bereitstellen von Interpretationshilfen für Milizoffiziere, das heisst Laien. Die Interpretationshilfe soll eine Kategorisierung der Warnungen ermöglichen: Welchen Meldungen soll bezüglich einer Intervention mit Wehrdiensten keine Relevanz beigemessen werden? Welche Meldungen gilt es zu beachten? Welche Handlungsoptionen können aus bestimmten Warnungen abgeleitet werden? In welchen Fällen ist eine zusätzliche Interpretation der Warnung durch eine Fachperson angezeigt? – Definieren der offiziellen Empfangsstellen sowie der Interpretations- und Entscheidungswege im System Bevölkerungsschutz.
- Wünsche an die Ausbildung: Schaffen von interdisziplinären Angeboten für Anbieterinnen und Empfängerinnen von Warnungen, das heisst für Meteorologinnen, Hydrologinnen und Verantwortliche des Bevölkerungsschutzes mit dem Ziel, das gegenseitige Verständnis der Aufgaben und Denkweisen zu fördern und damit die Kommunikation zu erleichtern. Verstärkte Anstrengungen zur Ausbildung im Umgang mit Unschärfen und Unsicherheiten in allen Bereichen und auf allen Stufen.
- Wünsche an die Politik: Initiieren eines echten Risikodialogs unter Einbezug aller Stakeholder. Gegebenenfalls zusätzliche Ressourcen bereitstellen wie zum Beispiel Mittel für den Betrieb eines fachkundigen Pikettdienstes zur Entgegennahme, Interpretation und gezielten Weiterverbreitung offizieller Warnungen.

EREIGNISANALYSE HOCHWASSER 2005 IN DER SCHWEIZ

EVENTANALYSIS OF FLOODS 2005 IN SWITZERLAND

C. Hegg¹, G.R. Bezzola², A. Koschni³

ZUSAMMENFASSUNG

Das Hochwasser vom August 2005 forderte in der Schweiz 6 Todesopfer und verursachte Sachschäden in der Höhe von insgesamt 3 Mrd. Franken. Hinsichtlich der Schäden ist es somit innerhalb der letzten drei Jahrzehnte ohne Parallele. Grossflächige und lang anhaltende Niederschläge führten zu aussergewöhnlichen Abflüssen und Seeständen. Überflutung, Erosion, Übersarung, Rutschungen und Übermürung waren die massgebenden Schadensprozesse. In seiner Gesamtheit und über eine längere Zeitperiode betrachtet, ist das Ereignis aber nicht als aussergewöhnlich, sondern höchstens noch als selten zu bezeichnen. Mit dem wiederholten Auftreten ähnlicher Hochwasser muss auch in Zukunft gerechnet werden.

Keywords: Hochwasser, Ereignisanalyse, seltenes Naturereignis

ABSTRACT

The flood of August 2005 resulted in six casualties and caused total property damages of three billion Swiss Francs. With regard to the damages the event is thus without parallels within the last three decades. Continuing precipitations over large areas led to exceptionally large discharges and high lake levels. Flooding, erosion, overbank sedimentation, landslides and debris flow deposition were the dominant damage causing processes. When considering the entire event and a longer period of time, the event is rare, but not exceptional. Therefore, flood events of similar magnitude and extent have to be expected in the future.

Keywords: Flood, event analysis, rare natural event

EINFÜHRUNG

Mit Gesamtschäden von rund 3 Mrd. Franken übertrifft das Hochwasser vom August 2005 deutlich alle anderen Naturereignisse seit 1972, dem Beginn der systematischen Erfassung der Unwetterschäden. Das Hochwasser forderte 6 Todesopfer und führte mancherorts zu einer

¹ Stv. Direktor a.i. und Programmleiter, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz (Tel.: +41-(0)44-739-24-88; Fax: +41-44-739-22-15; email: christoph.hegg@wsl.ch)

² Sektionschef, Bundesamt für Umwelt BAFU, Abteilung Gefahrenprävention, 3003 Bern, Schweiz

³ Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Forschungseinheit Gebirgshydrologie und Wildbäche, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf, Schweiz

Überforderung der lokalen Einsatzkräfte. In der Schweiz war der gesamte Alpennordhang zwischen der Sarine und dem Alpenrhein betroffen. Nach Osten erstreckte sich das betroffene Gebiet bis in die Region Salzburg / Österreich hinein und nach Norden bis Südbayern / Deutschland.

Ereignisse wie das Hochwasser vom August 2005 bieten eine gute Gelegenheit, aussergewöhnliche Naturereignisse umfassend zu untersuchen und Lehren im Umgang mit ihnen zu ziehen. Im Rahmen der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 werden – entsprechend dem Modell des integralen Risikomanagements (vgl. Abb. 1) – neben den Naturprozessen die Güte der Gefahrengrundlagen und ihre Umsetzung analysiert, das Verhalten und die Wirkung der Schutzmassnahmen untersucht, sowie die Effizienz der Vorhersagen, Warnungen, Alarmierungen und des Krisenmanagements überprüft. Die vorliegende Publikation fasst die wichtigsten Ergebnisse des ersten Teils dieser Analyse zusammen, welche in Bezzola und Hegg (2007) im Detail erläutert werden. Dabei werden in erster Linie die aufgetretenen Prozesse erläutert und die Niederschlags- und Abflussvorhersagen analysiert. Für die detaillierte Beschreibung der aufgetretenen Schäden und eine erste Einordnung sei auf Hilker et al. (2008) verwiesen.

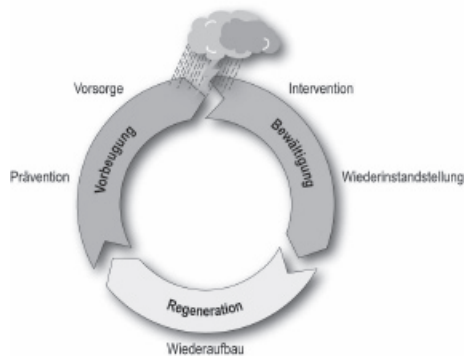


Abb. 1: Kreislauf des integralen Risikomanagements (nach PLANAT, 2003)
Fig. 1: Circuit of integral risk management (after PLANAT, 2003)

An der Ereignisanalyse Hochwasser 2005 sind zahlreiche Fachleute aus verschiedenen Institutionen beteiligt. Ausdruck dieser Vielfalt sind die etwa 50 Verträge, welche das Bundesamt für Umwelt im Zusammenhang mit diesem Projekt erstellt hat. Die Bearbeitung der einzelnen Teilprojekte erfolgt partnerschaftlich durch die betroffenen Fachstellen des Bundes und Partner aus dem universitären bzw. dem privatwirtschaftlichen Bereich. Die massgebenden Experten sind direkt in die Projektorganisation eingebunden und wirken als Leiter von Teilprojekten. Damit wird eine möglichst grosse Objektivität bei der Untersuchung sichergestellt. Gleichzeitig gewährleistet dieses Vorgehen auch eine direkte Umsetzung der gewonnenen Erkenntnisse in der Verwaltung. Die Anliegen der nicht direkt in der Projektorganisation vertretenen Fachstellen von Bund und Kantonen sowie weiterer Institutionen werden durch eine Koordinations- und Mitwirkungsgruppe eingebracht.

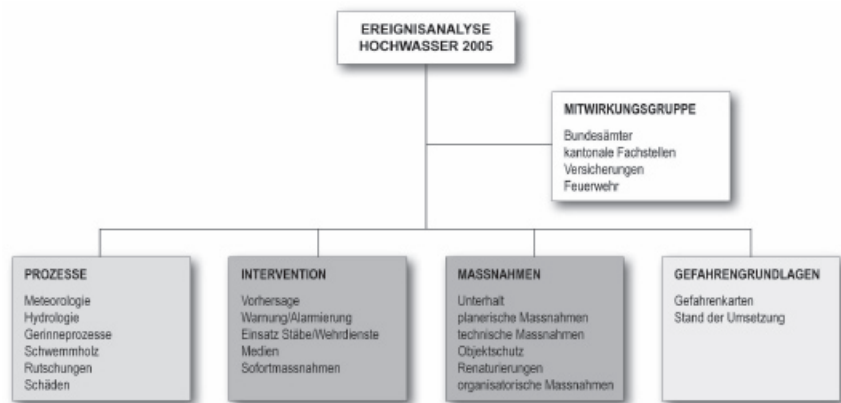


Abb. 2: Struktur des Projekts Ereignisanalyse Hochwasser 2005

Fig. 2: Structure of the project event analysis flood 2005

METEOROLOGIE

Auslöser für die grossflächigen Starkniederschläge im August 2005 war ein stabiles Tiefdrucksystem südlich der Alpen, welches feuchte Luftmassen an den Alpennordrand führte. Am Alpennordhang ergaben sich dadurch am 21. und 22. August weiträumig Niederschläge von deutlich über 100 mm in 48 Stunden. Auf einer Fläche von gut 1200 km² fiel ein Niederschlag von mehr als 200 mm. Das gesamte Niederschlagsvolumen über den Gebieten, die mehr als 100 mm erhalten haben, beträgt rund 1 km³. Dies entspricht etwa einem Viertel des Volumens des Zürichsees oder dem 12-fachen mittleren Tagesabfluss des Rheins bei Basel. An einigen Stationen resultierten Niederschläge, wie sie in den teilweise über 100 Jahre langen Messreihen bisher nicht beobachtet wurden. Entsprechend wurden für einzelne Stationen im Berner Oberland und der Zentralschweiz teilweise sehr lange statistische Wiederkehrperioden von mehreren hundert Jahren ermittelt. Dies bedeutet jedoch nicht a priori, dass das Ereignis als Ganzes aussergewöhnlich selten ist. Ausser in kleinen Einzugsgebieten ist für den Abfluss primär nicht der an den Niederschlagsstationen gemessene Punktniederschlag massgebend, sondern der Niederschlag über dem gesamten Gebiet. Die Wiederkehrdauer des Gebietsniederschlags über dem betroffenen Gebiet beträgt knapp 80 Jahre. Entsprechend ist das Niederschlagsereignis vom August 2005 zwar selten, aber nicht aussergewöhnlich. Mit vergleichbaren Niederschlagsereignissen muss demnach auch in Zukunft gerechnet werden. Wie die Auftretenswahrscheinlichkeit derartiger Ereignisse durch die Klimaänderung beeinflusst wird, lässt sich zum heutigen Zeitpunkt allerdings noch nicht schlüssig beantworten.

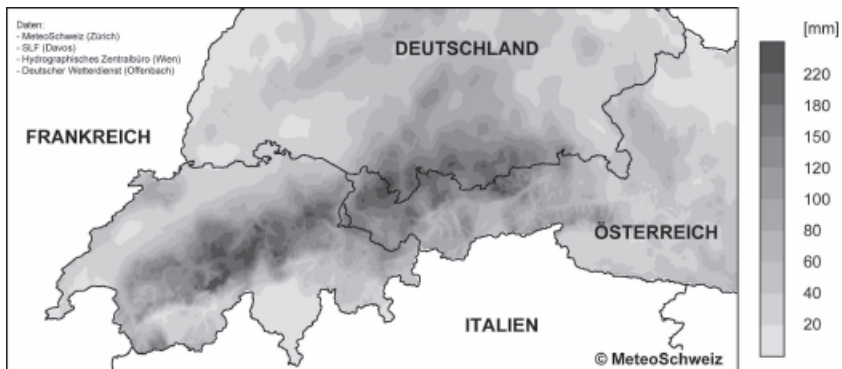


Abb. 3: Zweitagesniederschläge beim Hochwasser vom August 2005 in Schweiz, Österreich und Deutschland
Fig. 3: 48h rainfall during the flood event of August 2005 in Switzerland, Austria and Germany

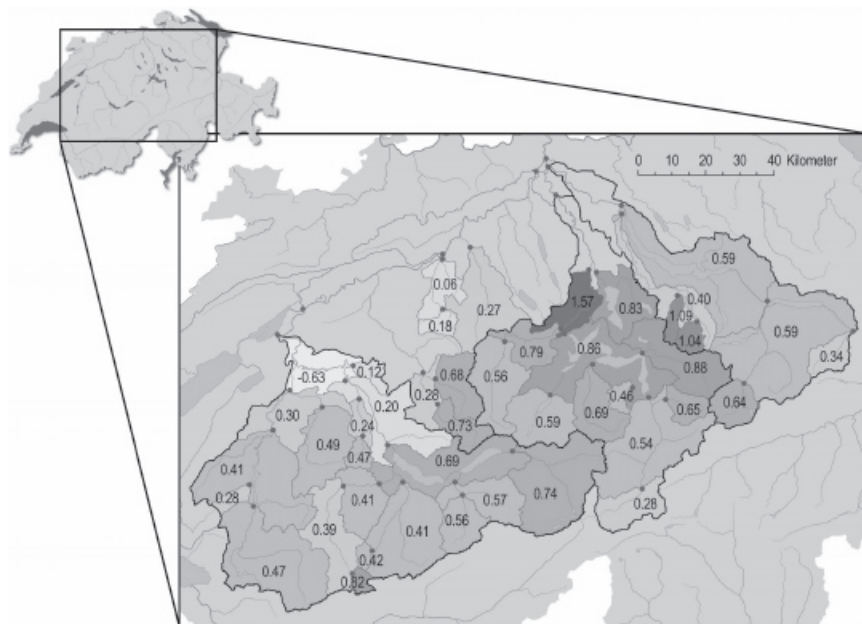
Die Kommission für Hochwasserschutz (KOHS) des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverbandes kommt deshalb für den Hochwasserschutz zum Schluss, dass in der Schweiz derzeit verlässliche Grundlagen fehlen, um die Folgen der Klimaänderung bei der Ermittlung der Dimensionierungsgrössen für Hochwasserschutzmassnahmen quantitativ zu berücksichtigen. Die heute gültigen Grundsätze des Hochwasserschutzes, die auf robusten und überlastbaren Massnahmen aufbauen, weisen - obwohl nicht auf Klimaänderung ausgerichtet - eine grosse Flexibilität auf. Sie erlauben über die Berücksichtigung entsprechender Szenarien ein Eingehen auf Veränderungen. Aufgrund dieses vorläufig eher qualitativ ausgerichteten Vorgehens kommt der Betrachtung von Überlastszenarien, welche den Dimensionierungsfall deutlich übertreffen, eine grosse Bedeutung bei (KOHS, 2007).

HYDROLOGIE

Das Hochwasser vom August 2005 stellt insgesamt das grösste Ereignis dar, welches das Schweizer Abflussmessnetz bisher registriert hat. Spitzenwerte wurden vor allem an den Abflussmessstationen in der Innerschweiz und im Berner Oberland registriert, also im Zentrum des Niederschlagsgebietes. Relativ stark betroffen war auch das gesamte Einzugsgebiet der Aare im Schweizer Mittelland, wo sich die Abflüsse aus den vom Niederschlagszentrum betroffenen Regionen vereinen. Nach dem Zusammenfluss mit dem Rhein, dessen Einzugsgebiet vom Niederschlag weniger betroffen war, nahm die Bedeutung des Ereignisses ab. Im betroffenen Gebiet liegen 94 Abflussmessstationen. Bei 32 Stationen wurden neue Höchstwerte gemessen, bei 16 Stationen lag der Abfluss sogar mehr als 25 % über dem bisherigen Maximum. Unter den Stationen mit längeren Messreihen fallen vor allem die Engelberger Aa bei Buochs und die Sarner Aa bei Sarnen auf. An der Engelberger Aa lag der Abfluss im August 2005 rund 85 % über dem zuvor beobachteten Maximum. In der Sarner Aa, wo die Abflüsse seit 1923 gemessen werden, floss im August fast 2.5-mal mehr Wasser als beim bisher grössten Ereignis ab. Die statistische Einordnung solcher hohen Abflusswerte ist schwierig und Unsicherheiten im Bereich eines Faktors 2 und mehr sind möglich. Ein Abflusswert, der sich statistisch kaum einordnen lässt, muss aber nicht unbedingt falsch sein. Solche Werte können zustande kommen, wenn ab einer gewissen Niederschlagsmenge andere Abflussbildungs- und Konzentrationsprozesse ablaufen, die sich

nur durch aufwändige hydrologische Detailuntersuchungen identifizieren lassen. Beispiele dazu und Möglichkeiten ihrer statistischen Bearbeitung werden im zweiten Teil der Ereignisanalyse untersucht.

Das hydrometrische Messnetz hat sich 2005 generell bewährt. Probleme bei der Verbreitung der erhobenen Informationen während des Ereignisses wurden erkannt und sind teilweise bereits behoben worden. Die Qualität der erhobenen Daten kann als befriedigend bis gut bezeichnet werden. Mittels Gebietsbilanzen erfolgte eine Plausibilisierung der Abfluss- und Niederschlagsdaten. Der Vergleich der Gebietsniederschläge, Spitzenabflüsse, Abflussvolumen und Volumenabflusskoeffizienten der vom Hochwasser 2005 betroffenen Gebiete zeigt, dass die erhobenen Abfluss- und Niederschlagsdaten weitgehend plausibel sind. Sehr hohe oder sehr tiefe Volumenabflusskoeffizienten lassen sich in der Regel durch entsprechende Niederschläge, Rückhalt oder anthropogene Eingriffe erklären. Nur bei wenigen Einzugsgebieten lassen sich heute keine plausiblen Erklärungen für auffallend grosse oder kleine Werte finden.



den dritthöchsten Stand seit 1953. Ausserordentlich waren im August 2005 die grossen Zuflussvolumina innerhalb von 2–5 Tagen, die zu extrem raschen Seeanstiegen führten. Am Walensee, Sarnersee und Brienzensee betrug der Seeanstieg über 1 m pro Tag, am Vierwaldstättersee, Thunersee und Bielersee zwischen 60 und 80 cm. Die maximalen täglichen Zuflussvolumina waren zum Teil doppelt so hoch wie die bisher beobachteten Werte. Durch den Rückhalt in den Seen wurden diese Zuflüsse markant gedämpft, so dass die Ausflüsse im Mittel nur noch halb so gross waren. Über alle Seen betrachtet, betrug der Rückhalt rund 720 Mio. m³. Dies entspräche z.B. einem Anstieg des Pegels des Bodensees um über 1,3 Meter. Beim Neuenburgersee würde der Anstieg sogar 3,3 Meter ausmachen.

Letztlich sind bei jedem See sowohl der Speicherraum als auch die Ausflusskapazität begrenzt. Das Ereignis vom August 2005 hat in vielen Fällen diese Grenzen aufgezeigt. Je grösser der Zufluss zu einem See ist, desto weniger kann der sich ergebende Seestand beeinflusst werden. Deshalb ist es wichtig, dass sich Seeanstösser durch eine geeignete Abdichtung ihrer Gebäude gegen hohe Grundwasserstände und hohe Seespiegel schützen.

Die Analyse der durch Kraftwerksspeicher beeinflussten Einzugsgebiete der Sarine, der Aare bis zum Brienzensee, der Urner Reuss und der Glarner Linth zeigt, dass diese Speicher einen massgeblichen Einfluss auf die Abflüsse während des Hochwassers vom August 2005 hatten. So führte der Rückhalt in den Speicherseen zu einer Reduktion der Abflussspitzen in der Sarine bei Laupen von 12 %, in der Aare bei Brienzwiler von 24 %, in der Reuss bei Seedorf von 11 % und in der Linth bei Mollis von 22 %. Ohne den Einfluss der Kraftwerksspeicher wären in den natürlichen Seen noch höhere Seestände erreicht worden. Die Minderung der maximalen Seestände infolge des Rückhalts in den Speicherseen betrug beim Walensee und Brienzensee rund 30–35 cm, beim Thuner- und Bielersee rund 10 cm und beim Vierwaldstättersee 4 cm. Wegen des grossen Dämpfungseffekts war der Einfluss der Kraftwerksspeicher flussabwärts der grossen Voralpenseen relativ bescheiden. Bemerkenswert ist der Umstand, dass die Wirkung der Kraftwerke selbst bei einem derartigen Grossereignis noch nicht erschöpft war. Im Fall des Grimselsees wurde dies durch den Umstand begünstigt, dass infolge Revision der Seestand zu Beginn des Ereignisses aussergewöhnlich tief war.

GERINNEPROZESSE

Insgesamt waren die Wildbäche im betroffenen Gebiet nur mässig aktiv. So waren in etwa 25 Einzugsgebieten grössere Murgangereignisse zu verzeichnen. Die Anzahl der Einzugsgebiete mit ausserordentlich grossen fluvialen Feststoffumlagerungen ist sogar noch etwas kleiner. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass die gebietsspezifischen Niederschlags-Schwellwerte zur Auslösung von Murgängen bzw. zur Mobilisierung grösserer Feststofffrachten nur in vereinzelten Gebieten erreicht oder überschritten wurden. Oft spielten bei grösseren Ereignissen in den Wildbächen einzelne Rutschungen eine massgebliche Rolle.

Im Niederschlagsgebiet waren praktisch alle Gebirgsflüsse von Geschiebetransport und Seitenerosion betroffen, die Abflusskapazität wurde in der Regel nicht überschritten. Geschiebeablagerungen und Verklausungen führten jedoch lokal zu Ausuferungen und Überflutungen. Die Kategorie der betroffenen Gebirgsflüsse umfasst rund 20 Gewässer oberstrom der Voralpenseen mit einer Gerinnelänge von insgesamt 220 km.



Abb. 5: Gerinneverlagerungen der Landquart oberhalb von Klosters GR (Foto: Schweizer Luftwaffe)
Fig. 5: channel erosion in the Landquart river upstream of Klosters GR (photo: Swiss Air Force)

Bei den grossen Talflüssen flussabwärts der Alpenrandseen (z.B. Aare flussabwärts von Thun, Reuss flussabwärts von Luzern) führte trotz der ausgeprägten Dämpfung durch die Seen primär die Überschreitung der Abflusskapazität zu Schäden. Bei den Talflüssen ohne Dämpfung durch einen grossen Alpenrandsee (z.B. Kleine Emme, Emme, Linth) war die Seitenerosion der dominante Prozess. Weiter gab es verbreitet Schäden an Orten wo die Abflusskapazitäten überschritten wurden (vgl. auch Rickenmann et al., 2008).

SCHWEMMHOLZ

Durch Verklauungen von Schwemmh Holz an Brücken und Wehren kam es an verschiedenen Orten zu Gerinneausbrüchen und Überschwemmungen. Die erfassten Schwemmh Holzablagerungen umfassten etwa 110'000 m³. Da viele kleinere Ablagerungen nicht erfasst wurden, dürfte die gesamte während des Ereignisses angefallene Menge diesen Wert deutlich übersteigen. In vier Wildbächen lief bereits vor dem Ereignis 2005 eine Fallstudie zur Schwemmh Holzsituation (Rickli und Bucher, 2006). In diesen Wildbächen konnten deshalb vergleichende Erhebungen nach dem Hochwasser durchgeführt werden. Da die betrachteten Wildbäche im August 2005 keine extremen Abflüsse führten, war der Schwemmh Holztransport in diesen Bachläufen klein. Durch Rutschungen und Ufererosion wurden aber grössere Holz mengen in die Gerinne verlagert und dadurch das Schwemmh Holzpotenzial für zukünftige Ereignisse erhöht. Auf Grund der Niederschlags situation dürfte dies auch für viele andere Wildbäche mit kleinen Einzugs gebieten (unter 3 km²) zutreffen.

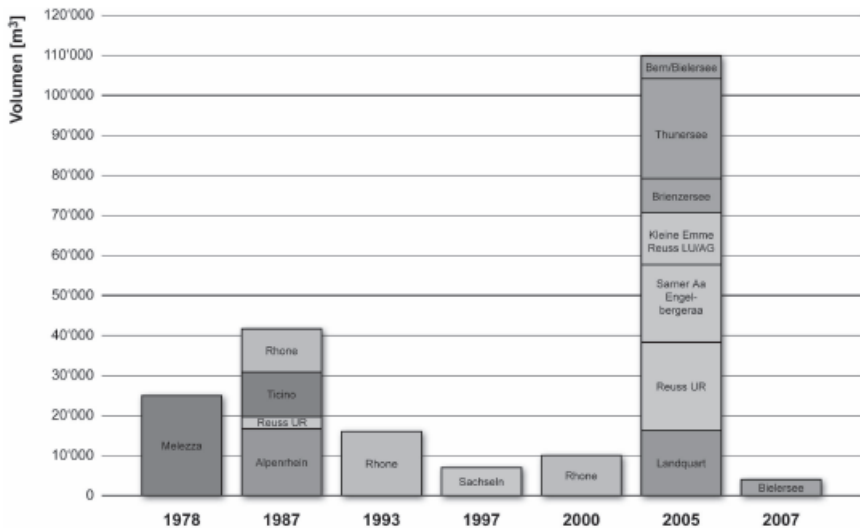


Abb. 6: Erfasste Schwemmh Holzablagerungen in der Schweiz nach verschiedenen grösseren Hochwasserereignissen in den letzten Jahrzehnten. (verwendete Grundlagen: Rickenmann (1997), BW (1998), Petrascheck und Hegg (2002), Bezzola und Hegg (2007))

Fig. 6: Driftwood depositions assessed in Switzerland after major flood events in the last decades. (based on: Rickenmann (1997), BW (1998), Petrascheck und Hegg (2002), Bezzola und Hegg (2007))

Nach dem Ereignis wurden zudem an gut 15 Standorten grosse Schwemmholzablagerungen detailliert untersucht. Teilweise handelte es sich dabei um Ablagerungen in Gerinnen, zum grossen Teil aber um Haufen, die im Rahmen von Schwemmholzräumungen aufgetürmt wurden. Diese Analysen zeigten, dass grosse Mengen des untersuchten Schwemmholzes erst während des Hochwassers in die Gewässer eingetragen wurden. Gesamthaft lag der Frischholzanteil bei rund 60 % und der Bau- und Brennholzanteil bei knapp 10 %. Damit ist die Zusammensetzung mit jener vom Hochwasser im August 1987 im Goms vergleichbar. Rund 15 % des Schwemmholzes wies Borkenkäferspuren auf, wie sie bei Totholz häufig anzutreffen sind. Im Prättigau, in Sarnen, am Briener- und Thunersee war der Anteil der Baumarten hoch, welche für Uferbestockungen entlang von Flussläufen typisch sind. Dies belegt, dass ein beachtlicher Anteil des Schwemmholzes aus frischen Uferanbrüchen bzw. Seitenerosionen entlang der betreffenden Gewässer stammt. Entsprechend ist die Wirkung von Massnahmen zur Entfernung von Totholz aus Gerinnen begrenzt und in bewaldeten Gebieten muss bei grossen Ereignissen immer mit Schwemmholz gerechnet werden.

RUTSCHUNGEN



Abb. 7: Die Rutschung Mosingen nahe Entlebuch in der Zentralschweiz am 23. August 2005 (Foto: Schweizer Luftwaffe)

Fig. 7: The Mosingen landslide near Entlebuch in Central Switzerland on the 23rd of August 2005 (photo: Swiss Air Force)

Insgesamt wurden beim Hochwasser vom August 2005 annähernd 5000 Rutschungen unterschiedlicher Grösse registriert. Die ersten Ergebnisse aus der Untersuchung zu den mittel- bis tiefgründigen Rutschungen zeigten, dass diese Prozesse oftmals in Gebieten mit kritischer geologischer Disposition auftraten. Es bestätigen sich Erkenntnisse aus früheren

Ereignissen, wonach Hanginstabilitäten zu einem sehr grossen Teil innerhalb bestehender, teils alter Rutschzonen und geologischer Störungszonen auftreten. Die Analyse der flachgründigen Rutschungen erfolgte in drei Untersuchungsperimetern an Hand eines kleinen Ausschnittes der abgelaufenen Prozesse. Diese Analysen sind noch im Gang. Ergebnisse bezüglich der Neigungsverhältnisse am Standort der Rutschungen, der Rutschvolumina und zum Auslauf der Rutschmassen stimmen mehrheitlich mit jenen früherer Untersuchungen überein (vgl. z.B. Rickli, 2001).

NIEDERSCHLAGS- UND ABFLUSSVORHERSAGEN

Das Ereignis vom August 2005 hat deutlich die Probleme und Grenzen aufgezeigt, die in der Vorhersage von seltenen Naturereignissen bestehen. Diese sind einerseits grundsätzlicher Art, andererseits haben auch technische, strukturelle und organisatorische Schwierigkeiten eine massgebliche Rolle gespielt. Erstere müssen im Vorhersagewesen berücksichtigt werden. Entsprechende Konsequenzen werden weiter unten erläutert. Letztere betrafen vor allem die Abflussvorhersagen sowie die Koordination zwischen den verschiedenen an Vorhersagen beteiligten Stellen. Diese Probleme wurden soweit möglich seit dem Hochwasser 2005 behoben bzw. wurden mittels eines Bundesratsbeschlusses im Mai 2007 die Voraussetzungen geschaffen, dass diese Schwachstellen angegangen werden können. Viele der seit dem August 2005 umgesetzten Massnahmen haben sich beim Hochwasser vom 8./9. August 2007 bewährt. Gleichzeitig wurden allerdings auch neue Bedürfnisse und Verbesserungsmöglichkeiten aufgedeckt.

Die grundsätzlichen Grenzen werden durch die Vorhersagbarkeit des Systems Atmosphäre aber auch der betroffenen Einzugsgebiete gezogen. Der Vergleich der Ergebnisse der meteorologischen Vorhersagemodelle zeigt, dass die Aussagegenauigkeit der heutigen deterministischen Modelle begrenzt ist und die Ergebnisse in Bezug auf ein lokales Ereignis manchmal sogar widersprüchlich sein können. Die Ursache dafür ist nicht in einer schlechten Qualität der Modelle zu suchen, sondern vor allem im chaotischen Verhalten des Systems Atmosphäre und in der immer vorhandenen Unsicherheit über die Anfangsbedingungen beim Beginn einer Simulation. Deshalb wird heute vermehrt mit so genannten «Ensemble Vorhersagen» gearbeitet, wobei mehrere mögliche Wetterentwicklungen mit gleicher Eintretenswahrscheinlichkeit aufgezeigt werden.

Die Unsicherheit in der Wettervorhersage wird vollumfänglich in die Abflussvorhersagen übernommen, weil der vorhergesagte Niederschlag unverändert als Modellinput verwendet wird. Zudem sind die räumlichen Massstäbe der Meteorologie und der Hydrologie grundsätzlich verschieden. Die hydrologischen Modelle bräuchten für präzise Vorhersagen einzugsgebietscharfe quantitative Niederschlagsvorhersagen. Es wird aber kaum je möglich sein, diese Genauigkeit mit meteorologischen Vorhersagemodellen zu erreichen. Die konkreten Auswirkungen dieser Unsicherheiten sind ebenso wie die Bedeutung von Unsicherheiten in den Ausgangsbedingungen der betroffenen Einzugsgebiete noch wenig untersucht.

All diese unumgänglichen Unsicherheiten in der Vorhersagekette schliessen aus, dass Prognosen alleinige Grundlage für weit reichende Entscheidungen wie Evakuationen etc. sein können. Viel mehr sind sie vor allem als Aufruf zu erhöhter Wachsamkeit und zur Erstellung der Einsatzbereitschaft zu nutzen. Der definitive Entscheid wird dabei so zeitgerecht wie möglich basierend auf allen verfügbaren Informationen gefällt werden müssen. Dabei spielen

Messungen und Beobachtungen zu den ablaufenden Prozessen zusammen mit kurzzeitigen Vorhersagen (Nowcasting), die oft auf Radarmessungen basieren eine zentrale Rolle. Wie diese unterschiedlichen Vorhersageinformationen in geeigneter Form als Entscheidungsgrundlage an die verantwortlichen Personen übermittelt werden können, wurde im Sommer 2007 erstmals im Rahmen des den ganzen Alpenraum umfassenden Projekts MAP D-PHASE erprobt (vgl. Hegg et al., 2008).

Der Umgang mit den systemimmanenten Unsicherheiten benötigt entlang der ganzen Vorhersagekette von der meteorologischen Mittelfristvorhersage bis zu jedem einzelnen involvierten Entscheidungsträger eine angepasste Vorgehensweise. Dazu ist Fachwissen auf allen Stufen unabdingbar. Dazu sind in entsprechenden Institutionen (Krisen- und Führungsstäbe, risikobehaftete Unternehmen, etc.) Naturgefahrenspezialisten notwendig, welche sich entsprechende spezifische Kenntnisse mittels Weiterbildung angeeignet haben. Diese können dann Entscheidungsträger, welche idealerweise selbst über gewisse Fachkenntnisse verfügen, kompetent beraten und bei ihrer verantwortungsvollen Aufgabe unterstützen.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Mit den hier präsentierten Ergebnissen des ersten Teils der Analyse der Hochwasser vom August 2005 ist die Arbeit noch nicht abgeschlossen. In einem zweiten Teil werden weitere wichtige Komponenten des integralen Risikomanagements detailliert untersucht. Insbesondere werden die Erfahrungen, welche mit verschiedenen Schutzmassnahmen beim Hochwasser vom August 2005 gesammelt wurden ausgewertet und Schlüsse gezogen, inwiefern sich welche Massnahmen (bauliche, planerische und organisatorische) bewährt haben oder nicht. Einen zentralen Bestandteil des zweiten Teils bildet zudem die Analyse der Gefahrenkarten, die zentrale Grundlage für den gesamten Umgang mit Naturgefahren bilden. Dieser zweite Bericht wird im Frühjahr 2008 veröffentlicht werden. Aufbauend auf diesen beiden detaillierten Analyseberichten wird dann ein kurzer Umsetzungsbericht mit den wichtigsten Erkenntnissen und Konsequenzen erstellt und auch einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Schon aufgrund des ersten Teilberichts ist aber klar, dass die Schweiz auch in Zukunft mit Ereignissen wie im August 2005, oder sogar noch grösseren, rechnen muss. Eine konsequente Fortsetzung und Weiterentwicklung der Hochwasserschutzpolitik ist deshalb zwingend notwendig. Eine besondere Herausforderung wird dabei der Umgang mit den systemimmanenten Unsicherheiten bilden, die sich sowohl bei der Einordnung des Hochwassers vom August 2005 aber auch in den Vorhersagen gezeigt haben. Durch diese Unsicherheiten werden dem rein risikobasierten Vorgehen enge Grenzen gesetzt, da sich diese Unschärfen, die leicht einen Faktor 2 und mehr ausmachen können, direkt im berechneten Risiko niederschlagen. Bauliche Massnahmen müssen deshalb pragmatisch innerhalb der bestehenden Unsicherheiten optimiert werden. Sind die Kosten einer Massnahme vergleichsweise klein, kann sie auf eine Belastung ausgelegt werden, die eher am oberen Rand des Unsicherheitsspektrums angesiedelt ist. Sind hingegen die Kosten vergleichsweise gross, sollte der Bemessung eher eine Belastung zu Grunde gelegt werden, die am unteren Rand des Unsicherheitsspektrums liegt. In jedem Fall ist durch eine geeignete Systemwahl sicherzustellen, dass die Massnahme überlastbar ist und das verbleibende Risiko angemessen berücksichtigt wird. Dadurch wird gewährleistet, dass die Schäden nicht schlagartig zunehmen, wenn das Bemessungsereignis übertroffen wird. Die Ermittlung der im

Überlastfall betroffenen Gebiete, der bei einer Eskalation des Ereignisses ablaufenden Prozesse sowie deren Intensitäten ist eine wichtige Grundlage zur Beurteilung der verbleibenden Risiken. Wenn diese erkannt sind, lassen sie sich wirkungsvoll durch bauliche Massnahmen zum lokalen Schutz empfindlicher Objekte und durch organisatorische Massnahmen minimieren. Weil mit Grossereignissen wie jenem von 2005 auch künftig gerechnet werden muss, sind Prävention vor und Intervention bei solchen Ereignissen eine Daueraufgabe aller.

LITERATUR

- Bezzola, G.R., Hegg, C. (Ed.). (2007): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1: Prozesse, Schäden und erste Einordnungen“. Bern: Bundesamt für Umwelt, Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Hegg, Ch., Rotach, M., Arpagaus, M., 2008: MAP D-PHASE - A Demonstration Project for Hydro-Meteorological Ensemble Forecasts. Extended abstract INTERPRAEVENT 2008.
- Hilker, N., Hegg, Ch., Zappa, M., 2008: Unwetterschäden in der Schweiz 1972-2007 mit besonderer Betrachtung des August-Hochwassers 2005. Tagungspublikation Interpraevent 2008.
- KOHS, 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz in der Schweiz. Ein Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS). wasser, energie, luft, 99(1), 55-57.
- PLANAT 2003: Strategie Naturgefahren Schweiz. Bern.
- Rickenmann, D., Hunzinger, L., Koschni, A., 2008: Hochwasser und Sedimenttransport während des Hochwassers in der Schweiz. Tagungspublikation Interpraevent 2008.
- Rickli, C. (Red.) 2001: Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Birmensdorf, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 97 S.
- Rickli, C.; Bucher, H-U., 2006: Schutzwald und Schwemmholz in Wildbacheinzugsgebieten. FAN-Agenda 1/06: 17-20.
- Rickenmann, D., 1997: Schwemmholz und Hochwasser. wasser, energie, luft, 89(5/6), 115-119.
- BWW, 1998: Ereignisdokumentation Sachseln - Unwetter vom 15. August 1997. Studienberichte des Bundesamtes für Wasserwirtschaft, Nr. 8.
- Petrascheck, A., Hegg, C., (Ed.). 2002: Hochwasser 2000 – Les crues 2000. Ereignisanalyse / Fallbeispiele. Analyse des événements / Cas exemplaires. Berichte des Bundesamts für Wasser und Geologie, Serie Wasser Nr. 2.

DIE UMSETZUNG VON ERGEBNISSEN EINER EREIGNISANALYSE

HOCHWASSER 2005 IM DIEMTIGTAL

IMPLEMENTING THE RESULTS OF AN EVENT-ANALYSIS

FLOODS 2005 IN THE DIEMTIGTAL VALLEY

Lukas Hunzinger¹, Gabi Hunziker², Peter Mani²

ZUSAMMENFASSUNG

Das Unwetter vom 20. – 22. August 2005 hat große Teile der Alpennordseite betroffen, unter anderem auch das Diemtigtal im Berner Oberland (Schweiz). Die Chirel, welche das Tal entwässert, verwandelte sich in einen tobenden Wildfluss und gestaltete das Tal stark um. Im Unterlauf hat sich der Fluss den ganzen Talboden zurückerobert und auf dem Kegel große Mengen an Geschiebe abgelagert. Dabei wurden Teile des Dorfes Oey stark beschädigt und die Straße ins Diemtigtal auf weite Strecken zerstört. Mit Hilfe einer lokalen, lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE) wurden sehr rasch Grundlagen erarbeitet, die in die Planung von Not- und Wiederherstellungsmaßnahmen einfließen. Die LLE lieferte Angaben zur statistischen Einordnung des Ereignisses, den maßgebenden Geschiebelieferungs- und Geschiebetransportprozessen und daraus abgeleitet die maßgebenden Gefahrenprozesse. Basierend auf diesen Daten wurde ein Maßnahmenkonzept für das betroffene Gebiet erarbeitet.

Keywords: Hochwasser, Ereignisdokumentation, Maßnahmenkonzept

The floods of August 20-22, 2005 affected large areas of the northern ridge of the Alps, among others the Diemtigtal Valley in the Bernese Oberland (Switzerland). The River Chirel that drains the valley, became a ravaging torrent and remodelled the valley heavily. In its lower reach, the river covered the bottom of the valley on its entire width and on the fan it deposited large amounts of solids. Parts of the village Oey were seriously damaged and the access road to the Valley was destroyed to a large extent. A local, solution-oriented event analysis set the basis for the planning and implementation of emergency and recovery measures. The analysis was elaborated in very short terms and consisted of a statistical evaluation of the event, the determination of relevant parameters for bed load mobilisation and transport and the evaluation of hazard processes. The data was used to elaborate a comprehensive concept of flood protection.

Keywords: Flood, event analysis, protective measures

¹ Flussbau AG, dipl. Ing. ETH, Schwarztorstraße 7, 3007 Bern, Schweiz, (Tel. +41 (0)31 376 11 05, email: lukas.hunzinger@flussbau.ch)

² geo7 AG, geowissenschaftliches Büro, Neufeldstraße 5 - 9, 3012 Bern, Schweiz, (Tel. +41 (0)31 300 44 33, Fax: +41 (0)31 302 76 11, email: peter.mani@geo7.ch)

LOKALE, LÖSUNGSORIENTIERTE EREIGNISANALYSE: EIN INSTRUMENT DER RASCHEN LÖSUNGSFINDUNG

Vom 20. – 22. August 2005 fielen in weiten Teilen der Alpennordseite große Niederschlagsmengen, welche verbreitet zu großen Schäden führten. In Bezug auf Ausdehnung und Intensität handelt es sich hierbei um das größte Ereignis in jüngerer Zeit. Stark betroffen war auch das Diemtigtal im Berner Oberland. Die Chirel, bisher ein liebliches Gebirgsflüsschen, verwandelte sich in einen tobenden Wildfluss, welcher das Tal stark umgestaltete. Im Unterlauf hat sich der Fluss den ganzen Talboden zurückerobert und auf dem Kegel große Mengen an Geschiebe abgelagert. Ein Ereignis dieses Ausmaßes ist im Diemtigtal seit über 150 Jahren nicht mehr aufgetreten. Im Dorf Oey, auf dem Schwemmkegel der Chirel, wurden mehr als 80 Häuser zum Teil stark beschädigt. Besonders schwerwiegend war jedoch, dass im unteren Talabschnitt die Talstraße auf einer Länge von 3 km vollständig zerstört wurde. Diese Straße erschließt zwei Wintersportstationen im hinteren Diemtigtal, welche für das Tal von großer wirtschaftlicher Bedeutung sind.

Schon kurz nach dem Unwetter war klar, dass dieses Ereignis in Bezug auf die aufgetretenen Schadenprozesse und ihr Ausmaß in der Region einmalig war. Von den Fachstellen des Kantons und des Bundes wurde deshalb gefordert, dass aus diesem Ereignis rasch Lehren gezogen würden und diese in die Ereignisbewältigung und die Maßnahmenplanung einfließen. Insbesondere sollte verhindert werden, dass Notmaßnahmen ergriffen würden, welche einem späteren, definitiven Schutzkonzept zuwiderlaufen könnten. Dies erforderte ein rasches Handeln, denn der Bedarf nach sofortigen Schutzmaßnahmen war groß: Eine sofort eingerichtete Notstraße bot keine wintersichere Verbindung ins hintere Diemtigtal und es musste noch vor

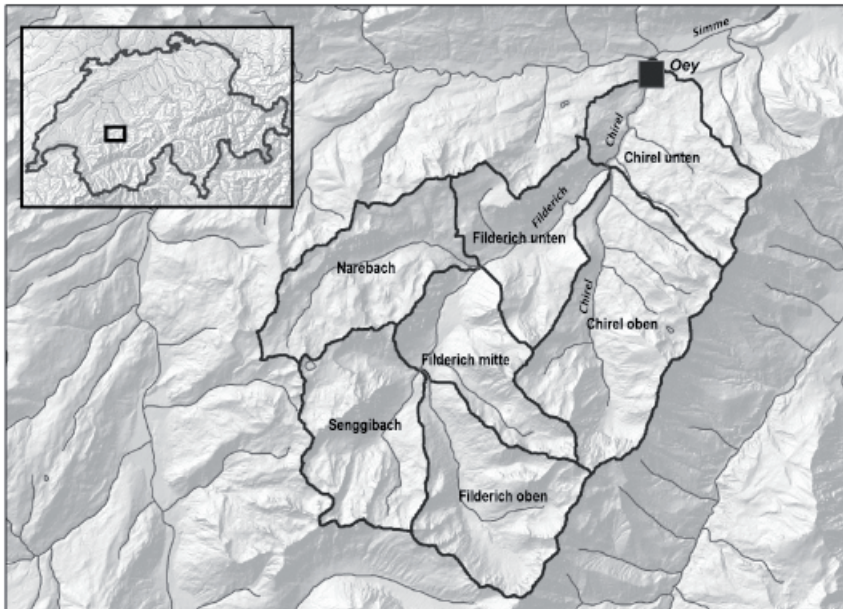


Abb. 1: Das Diemtigtal und seine Lage in der Schweiz.
Fig. 1: The Diemtigtal Valley and its location within Switzerland.

Wintereinbruch durch eine neue sichere Verbindung durch das Tal ersetzt werden. Für die Siedlungen musste im Hinblick auf mögliche Schneeschmelz-Hochwasser eine akzeptable Hochwassersicherheit wieder hergestellt werden.

Die Grundlagen dazu wurden mit einer lokalen, lösungsorientierten Ereignisanalyse (LLE) erarbeitet (Mani & Roth, 2008, Tiefbauamt des Kantons Bern, 2006). Das Team für die Erarbeitung der LLE setzte sich neben der Projektleitung aus Fachspezialisten für die Bereiche Geomorphologie/Geologie, Hydraulik/Geschiebe sowie Wasserbau zusammen. Diese Zusammensetzung bot Gewähr, dass alle wichtigen Aspekte in der Analyse fachlich fundiert bearbeitet wurden. Die Ergebnisse der LLE werden in den folgenden Abschnitten zusammengefasst.

DAS EREIGNIS

Niederschlag

In der Umgebung des Diemtigtals befinden sich 6 Niederschlags-Messstationen von MeteoSchweiz sowie 3 höher gelegene IMIS-Stationen (Interkantonale Mess- und Informationssystem für die Lawinenwarnung). Die Auswertung der Messdaten zeigt, dass die größten Niederschlagsmengen beim Talausgang fielen. Die Niederschlagssumme liegt hier im Bereich von 170 - 190 mm. Weiter stand eine flächendeckende Gitterinterpolation der Tagesniederschläge von der MeteoSchweiz zur Verfügung. Daraus konnten die Gebietsniederschläge für die Teileinzugsgebiete berechnet werden (Tab. 1).

Tab. 1: Gebietsniederschlag für Teileinzugsgebiete.

Tab. 1: Area precipitation in sub-basins.

Teileinzugsgebiet	Fläche [km ²]	Niederschlag [mm/Tag]			
		20.8	21.8	22.8	Total
Chirel oben	28.6	20	104	45	169
Chirel unten	16.6	25	108	45	178
Filderich oben	19.8	17	95	40	152
Filderich Mitte	14.5	17	102	43	172
Filderich unten	15.4	18	106	43	167
Narebach	18.2	18	105	43	166
Senggibach	18.7	16	93	40	149

Zusätzlich wurde mit Hilfe von Niederschlagsradar-Daten der Intensitätsverlauf für die einzelnen Teileinzugsgebiete rekonstruiert. Da es sich dabei um unkorrigierte Radardaten handelte, konnte nur ein relativer Vergleich vorgenommen werden. Die Auswertung zeigt, dass während des Ereignisses mehrere intensive Phasen aufgetreten sind. In der ersten Phase am 20.8. wurde zuerst das Einzugsgebiet der Chirel überregnet. Am 21.8.

mittags fielen im Gebiet Filderich Mitte und in der oberen Chirel die stärksten Niederschläge. Eine weitere Intensivierung um Mitternacht vom 21. auf den 22.8. belastete dann wiederum das Einzugsgebiet der Chirel. Gegen Schluss des Ereignisses, am 22.8. um 8 Uhr, wurde dann das ganze Diemtigtal sehr stark überregnet.

Tab. 2: Statistische Einordnung des Ereignisniederschlages.

Tab. 2: Statistical evaluation of the precipitation of the event.

	1-TagesN	2-TagesN	3-TagesN	5-TagesN	20-TagesN
Ereignisniederschlag	83 mm	118 mm	141 mm	164 mm	221 mm
Rang	1	2	2	2	5
Jährlichkeit	100	50	> 50	50	< 30

Für die statistische Einordnung des Ereignisniederschlages wurde aus den umliegenden Niederschlags-Messstationen mit langen Messreihen der Gebietsniederschlag abgeschätzt. Die Ergebnisse der Extremwertstatistik für den Gebietsniederschlag sind in Tabelle 2 zusammengestellt. Die Auswertung zeigt, dass einzig beim 1-Tagesniederschlag ein neuer Maximalwert mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren erreicht wurde. Für mehrtägige Niederschläge wurden bereits 1970 ähnlich hohe Werte registriert.

Abflussmengen

Mit Hilfe der Niederschlagsverteilung im Einzugsgebiet, einer Kapazitätsrechnung für die Brücken auf dem Schwemmkegel und zwei Pegelaufzeichnungen in der Simme (Vorfluter der Chirel) konnte die Abflussganglinie in der Chirel rekonstruiert werden. Allerdings hatte der Pegel an der Simme in Latterbach, unmittelbar unterhalb der Einmündung der Chirel, während der Abflussspitze der Simme keine Wasserstände aufgezeichnet. Die Rekonstruktion der Abflüsse war mit Hilfe aufgezeichneter Hochwasserspuren trotzdem möglich. Die Abflussspitze in der Chirel hat $100 \text{ m}^3/\text{s}$ betragen (Tab. 3).

Die Form der rekonstruierten Abflussganglinie lässt sich mit dem zeitlichen Verlauf der Niederschläge im Einzugsgebiet korrelieren (Abb. 2). Die intensiven Niederschläge vom Nachmittag des 21. August haben zu einem Anstieg des Hochwassers bis in die frühen Morgenstunden des 22. August geführt. Die Abflussspitze ist gegenüber der maximalen Niederschlagsintensität um rund sechs Stunden verzögert. In der Nacht auf den 22. August haben die Niederschläge etwas nachgelassen, und auch der Abfluss ist zurückgegangen. Eine zweite Spitze der Niederschläge am Vormittag des 22. August hat den Abfluss in der Chirel gegen die Mittagszeit nochmals etwas anschwellen lassen.

Geschiebeprozesse

Während des Ereignisses kam es in verschiedenen Seitenbächen zu massiven Geschiebeverlagerungsprozessen. Davon betroffen waren vor allem die Seitenbäche der Chirel. In den restlichen Teileinzugsgebieten war eine deutlich geringere Aktivität zu verzeichnen. Obwohl aufgrund des Gefälles der Gerinne praktisch überall Murgangprozesse auftreten können, wurden nur wenige eindeutige Murgangspuren beobachtet. Für fluvialen Geschiebetrieb sind die transportierten Geschiebemengen allerdings sehr hoch. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass es sich um murgangähnliche Prozesse mit einer hohen Feststoffkonzentration gehandelt haben muss.

Tab. 3: Hydrologische Größen des Ereignisses.

Tab. 3: Hydrological data of the flood event.

Spitzenabfluss	$100 \text{ m}^3/\text{s}$
Einzugsgebiet	130.3 km^2
spezifischer Abfluss	$0.77 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$
maximale NS-Intensität	$8 \text{ mm}/\text{h}$
Spitzenabflusskoeffizient	0.34

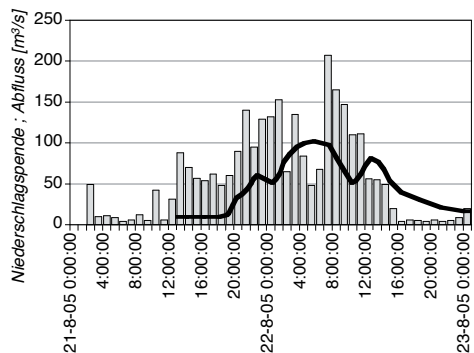


Abb. 2: Abflussganglinie der Chirel und zeitlicher Verlauf der Niederschläge im Diemtigtal (aus Radardaten, unkorrigiert; Zeiten in MESZ).

Fig. 2: Hydrograph of the River Chirel and precipitation over the Diemtigtal Valley (from raw radar data; times in CEST).

Aufgrund der langen Ereignisdauer sind in den Seitenbächen sowohl Erosionsprozesse (Tiefenerosion und Seitenerosion) als auch Ablagerungsprozesse aufgetreten (Abb. 3). In den Gerinnen konnten die Spuren von verschiedenen Erosions- und Ablagerungsphasen erfasst werden. Eine zeitliche Auflösung der Phasen, respektive die Rekonstruktion der Anzahl Phasen war jedoch nicht möglich. Die markanten Seitenerosionen führten zu einer deutlichen Verbreiterung des Gerinnebettes. Heute dürfte die Gerinnesohle stellenweise rund zwei- bis dreimal so breit sein wie vor dem Ereignis.



Abb. 3: Tiefenerosion und anschließende Ablagerung in einem Seitenzubringer.
Fig. 3: Bed erosion and consequent accumulation in a tributary.

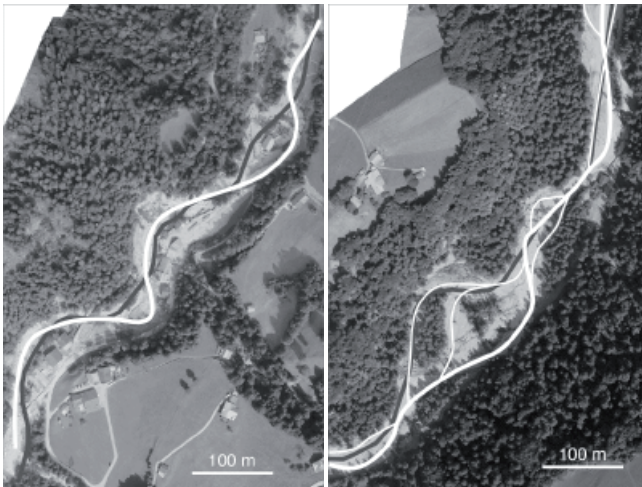


Abb. 4: Maßgebende Gerinneprozesse: Mäanderbildung (links) und Gerinneverzweigung durch Auflandung (rechts). Fließrichtung von unten nach oben.
Fig. 4: Dominant channel formation processes: meandering (left) and braiding (right). Flow direction from bottom to top.

Der Hauptfluss, die Chirel, hat auf den letzten 4 km vor der Einmündung in die Simme ein relativ gleichmäßiges Gefälle zwischen 4.8 % und 3.3 %. Geschiebe wurde fluvial transportiert und die flussmorphologischen Prozesse sind durch die lange Dauer des Ereignisses und durch den hohen Geschiebeeintrag aus dem Oberlauf bzw. aus den Seitenzubringern charakterisiert. Dabei konnten fünf Gerinneabschnitte mit unterschiedlichem morphologischen Verhalten identifiziert werden:

- *Gerinneverlagerung durch Mäanderbildung*: In zwei Abschnitten bestand ein relatives Geschiebedefizit. Dort hat sich das Gerinne durch Mäanderbildung verlagert, und mittels Seitenerosion Feststoffe mobilisiert (Abb. 4 links). Vor dem Ereignis war der Lauf der Chirel durch relativ kurze Mäanderbögen charakterisiert. Sie waren das Ergebnis vergleichsweise kleiner Hochwasserereignisse in der Vergangenheit. Mit dem lang andauernden hohen Abfluss des Ereignisses haben sich die Wellenlänge und die Amplitude der Mäanderbögen markant vergrößert. Die Sohlenlage hat sich wenig verändert.
- *Gerinneverlagerung durch Verzweigung*: Auf zwei Abschnitten herrschte ein Überschuss an Geschiebe, so dass dieses abgelagert wurde. Der Flusslauf hat sich dabei in mehrere Arme aufgeteilt und hat die gesamte Talbreite eingenommen. Die früheren alluvialen Schotterterrassen, welche mit Wald bewachsen waren, wurden teilweise erodiert. Auf diesen verzweigten Flussabschnitten wurden die Ufer jeweils auf beiden Flussseiten durch Seitenerosion belastet. Die mittlere Sohlenlage hat sich durch Auflandung erhöht (Abb. 4 rechts).
- *Ablagerung durch Rückstau*: Auf dem flachen Schwemmkegel wurde das Geschiebe abgelagert, weil die Transportkapazität des Vorfluters nicht ausreichte, um die anfallenden Mengen abzuführen. Der stetige Anstieg des Wasserstandes im Vorfluter staute den Abfluss der Chirel zurück und verminderte deren Transportkapazität. Durch Geschiebeablagerungen im schmalen, kanalisierten Gerinne wurde die Abflusskapazität reduziert und Wasser trat zuerst im Bereich der Mündung über die Ufer. Aufgrund der Topographie floss es nicht mehr ins Gerinne zurück und fehlte für den Weitertransport von Geschiebe. Neu herangeführtes Material lagerte sich an die bestehende Ablagerung an. Die Verklausung einer Eisenbahnbrücke mit Geschiebe und Schwemmholz verstärkte den

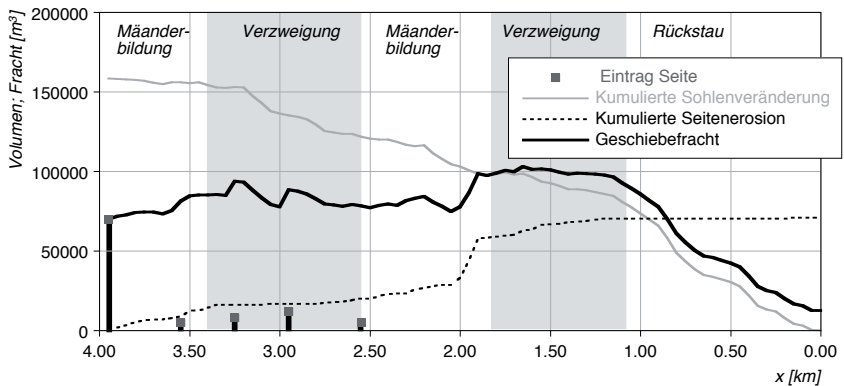


Abb. 5: Transportdiagramm der Chirel während des Ereignisses.

Fig. 5: Bed load eroded, transported and accumulated in the River Chirel during the flood event.

Prozess. Die Verlandungszone verlagerte sich sukzessive flussaufwärts und hatte nach 24 Stunden eine Ausdehnung von 1.2 km erreicht.

Gestützt auf die Auswertung von Feldaufnahme und von digitalen Geländemodellen vor und nach dem Ereignis konnte für das Ereignis eine Geschiebebilanz erstellt werden (Abb. 5). Im Unterlauf der Chirel wurden insgesamt 170'000 m³ Geschiebe umgelagert: Ca. 70'000 m³ wurden aus dem Oberlauf der Chirel herangeführt, weitere 30'000 m³ von den Seitenbächen eingetragen. Die Seitenerosion in den Mäander- und Verzweigungsstrecken hat die restlichen 70'000 m³ mobilisiert. Insgesamt wurden 158'000 m³ im und neben dem Gerinne abgelagert, und zwar je die Hälfte in den Verzweigungsstrecken im Tal und auf dem Schwemmkegel. Lediglich 12'000 m³ wurden in den Vorfluter ausgetragen.

Schwemmholz

Mit der Erosion der Böschungen in den Seitenbächen und der alluvialen Schotterterrassen im Hauptfluss sind große Mengen an Holz mobilisiert worden. Der weitaus größte Teil ist dabei innerhalb des Systems wieder abgelagert worden. Entlang der Chirel haben sie sich vor allem in Form von einzelnen Haufen an Engstellen, Vorsprüngen oder Brücken angesammelt. Diese charakteristische Form der Ablagerung hat man sich bei der Maßnahmenplanung zum Schwemmholzurückhalt zu nutze gemacht.

Tab. 4: Schwemmholzbilanz.

Tab. 4: Balance of wooden debris.

	Mobilisation	Ablagerung	Austrag
Seitenbäche	7'500 m ³	5'000 m ³	2'500 m ³
Chirel	3'300 m ³	2'400 m ³	900 m ³

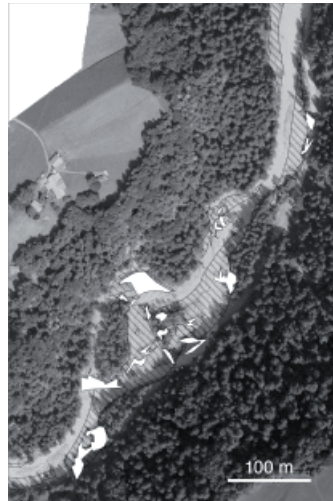


Abb. 6: Erosierte Waldflächen (schraffiert) und Ablagerung von Schwemmholz in Haufen (weiß). Fließrichtung von unten nach oben.

Fig. 6: Eroded wooden areas (hatched) and deposition of wooden debris in clusters (white). Flow direction from bottom to top.



Abb. 7: Durch Gerinneverlagerung beschädigtes Gebäude und zerstörte Talstraße.

Fig. 7: Damages caused by channel migration.
(Photo: Gemeinde Diemtigen)



Abb.8: Überflutung mit hoher Intensität in Oey.

Fig. 8: Flooding with high intensity in the village of Oey.

(Photo: Gemeinde Diemtigen)

Gefahrenprozesse und Schadenprozesse

Seitenerosion und Gerinneverlagerung sind in der Chirel in einem bisher noch selten gesehnen Ausmaß aufgetreten. Die Erosionsprozesse wurden durch die Vorbedingungen und den Ablauf des Ereignisses begünstigt: Die intensiven Niederschläge sind auf bereits feuchte Böden gefallen und hatten Böschungen destabilisiert. Diese wurden durch die Hochwasserabflüsse während langer Zeit hydraulisch belastet.

Seitenerosion und Gerinneverlagerung haben einen großen Teil der Bauten – insbesondere die Talstraße auf einer Länge von 3 km - entlang der Chirel beschädigt oder zerstört.

Überflutungen und Übersarungen sind in Oey mit hoher Intensität aufgetreten und haben große Schäden an Gebäuden und an Infrastrukturen angerichtet. Rund 80 Häuser waren davon betroffen.

MASSNAHMENKONZEPT

Hochwasser- und Geschiebeszenarien

Durch das Hochwasser wurde die Gerinnesohle vor allem in den Seitenbächen destabilisiert. Bei einem künftigen Hochwasserereignis kann also wesentlich mehr Geschiebe mobilisiert werden, als das im Zustand vor dem Hochwasser 2005 der Fall gewesen war. Gestützt auf die Analyse des Ereignisses wurden Hochwasser- und Geschiebeszenarien für drei verschiedene Ereignistypen definiert:

- K: kurze, plötzliche Niederschlagsereignisse. Ein lokales Sommergewitter geht über einem Teil des Einzugsgebietes nieder und mobilisiert Geschiebe in einem oder zwei Seitenbächen.
- L: lange Niederschlagsereignisse (analog Hochwasser 2005). Auf eine lang andauernde Nässeperiode folgen zwei bis drei Tage intensiver Niederschläge bei hoher Schneefall-

grenze über dem gesamten Einzugsgebiet. Aus den instabilen Hängen und Böschungen werden viele Feststoffe mobilisiert.

- S: Schmelzhochwasser in Kombination mit Niederschlägen (analog Hochwasser 1999). Die Abflüsse in den einzelnen Seitengräben sind nicht sehr hoch und die Auslösung von Hanginstabilitäten wird durch die Schneedecke erschwert. Die Geschiebelieferung der Seitenbäche ist deshalb geringer als bei den Ereignissen vom Typ L.

Für jeden Ereignistyp wurden Abflussganglinien sowie im Einzugsgebiet mobilisierte Geschiebemengen und Schwemmh Holzfrachten für Ereignisse hoher, mittlerer und geringer Wahrscheinlichkeit bestimmt. Als Extremereignis wurde ein Ereignis vom Typ L definiert, bei welchem noch länger andauernde Niederschläge dazu beitragen, dass noch größere Geschiebefrachten mobilisiert werden.

Schutzziele

Den für Hochwasserschutz-Verantwortlichen in der Gemeinde Diemtigen war nach dem Hochwasser 2005 klar, dass der vollständige Schutz vor einem zukünftigen Ereignis gleicher Dimension nicht realisierbar ist. Bei Ereignissen mittlerer und geringer Wahrscheinlichkeit werden Schäden deshalb in Kauf genommen. In jedem Fall sollten aber Überflutungen hoher Intensität verhindert werden. Bei der Definition der Schutzziele wurde deshalb danach unterschieden, ob ein Hochwasser durch ein kurzes, plötzliches Ereignis hervorgerufen wird (Ereignistyp K) oder ob es durch ein lang andauerndes Ereignis verursacht wird (Ereignistypen L und S), bei welchen dank entsprechender Vorwarnzeit auch mobile Maßnahmen helfen würden, Schäden zu vermindern.

Tab. 5: Hochwasser- und Geschiebeszenarien.

Tab. 5: Scenarios for peak discharges and bed load yield.

		hohe W'keit	mittlere W'keit	geringe W'keit
K:	Abfluss	70 m ³ /s	100 m ³ /s	130 m ³ /s
	Geschiebeeintrag	7'000–10'000 m ³	10'000–12'000 m ³	13'000–16'000 m ³
	Schwemmh Holz	wenig	wenig	wenig
L:	Abfluss	60 m ³ /s	80 m ³ /s	110 m ³ /s
	Geschiebeeintrag	35'000–50'000 m ³	50'000–70'000 m ³	70'000–100'000 m ³
	Schwemmh Holz	wenig	mittel	viel
S:	Abfluss	45 m ³ /s	60 m ³ /s	82 m ³ /s
	Geschiebeeintrag	9'000–12'000 m ³	12'000–17'000 m ³	17'000–25'000 m ³ (35'000–50'000 m ³)
	Schwemmh Holz	wenig	wenig	wenig
Extrem:	Abfluss			110 m ³ /s
	Geschiebeeintrag			> 100'000 m ³
	Schwemmh Holz			viel

Sofortmaßnahmen

Die Sofortmaßnahmen verfolgten zwei Ziele: Erstens sollte eine wintersichere Verkehrsverbindung in das Tal hergestellt werden und zweitens sollte das Dorf Oey vor einem möglichen Hochwasser während der Schneeschmelze im Frühjahr 2006 geschützt werden.

Die Straße sollte grundsätzlich der alten Linienführung im Talgrund folgen. Alternative Erschließungen über die westliche oder die östliche Talflanke wurden bereits in einer frühen Planungsphase verworfen, weil sie aufgrund der vielen notwendigen Kunstbauten sehr viel kostspieliger gewesen wären. Bei der Planung der Straße wurde Wert darauf gelegt, dass die natürlichen Ablagerungsräume, welche sich die Chirel mit dem Hochwasser geschaffen hatte, bestehen blieben und so ihre Wirkung auch bei zukünftigen Ereignissen entfalten könnten. Im Zuge des Baus der Notstraße wurde die Ufersicherung entlang des Gewässers auf einige wenige, besonders gefährdete Straßenabschnitte auf der Außenseite der Mäanderbögen beschränkt.

Zum Schutz des Dorfes Oey wurde am Dorfeingang ein zusätzlicher Geschiebesammler mit einem Ablagerungsvermögen von 3'000 m³ ausgehoben. Die Abflusskapazität des Gerinnes auf dem Schwemmkegel wurde erhöht, indem die Eisenbahnbrücke um einen halben Meter angehoben wurde und der rechte Dorfteil mittels Hochwasserschutzdamm vor Überflutung geschützt wurde. Zudem wurden die verbliebenen Waldflächen im Talgrund gerodet und das gefallene Holz aus den Seitenbächen entfernt. Das Schwemmholzpotenzial war damit für die nähere Zukunft stark reduziert worden.

Die Sofortmaßnahmen sind innerhalb von 12 Wochen nach dem Ereignis ausgeführt worden.



Abb. 9: Hochwasserschutzdamm als Sofortmaßnahme zum Schutz des Dorfes Oey.

Fig 9: Flood protection dike as a instant measure to protect the village of Oey.

Definitive Maßnahmen

Nutzungsverzicht: Im Talboden der Chirel wurde nur diejenige Infrastruktur wieder aufgebaut, welche für die Gemeinde unverzichtbar war. Das waren die Talstraße, die Kanalisationsleitung sowie eine Trinkwasserfassung für das Dorf Diemtigen. Drei Wohnhäuser bzw. Gewerbebetriebe, welche durch das Ereignis zerstört wurden, wurden ausgesiedelt. Eine solche Lösung war nur möglich, weil für die betroffenen Bewohner ein vertretbarer alternativer Standort in derselben Gemeinde gefunden wurde.

Punktuellet Schutz vor Seitenerosion: Im Gegensatz zu früheren Verbauungskonzepten wurde das Gewässer nicht mehr durchgehend auf beiden Seiten verbaut, sondern die im Talboden verbleibenden Infrastrukturbauten wurden punktuell gegen Seitenerosion gesichert. Die Art der Verbauung richtete sich dabei nach den dominanten Prozessen: Entlang von Mäanderbö-

gen der Chirel wurde die Talstraße mit massiven Blockwürfen gesichert, dort wo in breiten Ablagerungsräumen ein verzweigtes Gerinne vorherrscht, wurde eine Sicherung mit Buhnen realisiert. Bei einem Hochwasser in einem Seitenbach ist nicht zu vermeiden, dass die Talstraße, welche den Seitenbach quert, mit Geschiebeablagerungen überdeckt wird. Die Querungen der Seitenbäche wurde deshalb so ausgestaltet, dass Ablagerungen nach einem Ereignis möglichst rationell entfernt werden können.

Ablagerungsräume für Geschiebe: Mit dem o. g. Nutzungsverzicht wurde erreicht, dass dem Gewässer der größtmögliche Raum für die Ablagerung von Geschiebe zur Verfügung steht. Die beiden Ablagerungszonen im Talgrund vermögen bei einem großen Hochwasserereignis die Hälfte des in die Chirel eingetragenen Geschiebes zurück zu halten. Weitere kleinere Ablagerungsräume sind am Dorfeingang Oey und an der Mündung der Chirel in die Simme vorgesehen. Diese wirken vor allem bei kurzen gewittrigen Ereignissen. Sie sind als offene Ablagerungsräume ohne Abschlussbauwerk ausgebildet und werden bewirtschaftet.

Transport- und Ablagerungsoptimum auf dem Schwemmkegel: Das Gerinne auf dem Schwemmkegel sollte einerseits das zugeführte Geschiebe bis zum Vorfluter transportieren und andererseits einen zusätzlichen Ablagerungsraum darstellen, für den Fall, dass die Rückhalteräume am Dorfeingang und bei der Mündung in die Simme überlastet sind. Die erste Anforderung kann am besten mit einem schmalen Gerinne erfüllt werden, die zweite mit einem möglichst breiten Gerinne. Das Optimum liegt im Fall der Chirel bei einer Breite von 10 m (vor dem Ereignis war das Gerinne 6 m breit.). Mit der größeren Breite wird die Belastung der Sohle bei geschiebearmen Abflüssen vermindert. Eine Erosionstendenz wird so gegebenenfalls vermindert.

Holzrückhalt: Durch eine gründlichen Rodung unmittelbar nach dem Ereignis ist das Potenzial an Schwemmholz vorübergehend stark vermindert worden. Mittelfristig soll ein Teil des Schwemmholzes oberhalb des Dorfes zurück gehalten werden, indem an den Außenkurven von Mäanderbögen dezentrale Fangrechen aufgestellt werden. Diese belegen nur einen Teil des Fließquerschnittes so dass der Abfluss bei gefüllten Rechen nicht vollständig zurück gestaut wird und Geschiebe den Querschnitt passieren kann.

Kapazitätsverbesserung: Die Abflusskapazität des Gerinnes im Dorf Oey wurde bereits mit den Sofortmaßnahmen vergrößert. Im Rahmen des definitiven Schutzkonzeptes werden die Kapazitäten an den Brücken erhöht, indem die Brückenquerschnitte vergrößert und mit einem Einstauschild versehen werden. Dieser ermöglicht den Abfluss unter Druck und vermindert die Gefahr einer Verklausung mit Schwemmholz.

Abflusskorridor für die Überlast: Wesentliches Element des Schutzkonzeptes ist ein Abflusskorridor auf der linken Seite des Gerinnes. Dieser führt im Fall einer Überlast Wasser und Feststoffe neben dem Gerinne über den Schwemmkegel. Der Abflusskorridor wird mit Ufermauern und Dämmen begrenzt. Für die Gebäude innerhalb des Korridors werden Nutzungsbeschränkungen erlassen.

Das Schutzkonzept fußt auf den Erkenntnissen der Prozessanalyse. Es enthält mehrere Maßnahmen, deren Wirkung mit Hilfe einer numerischen Simulation des Geschiebetransportes und der Sohlenveränderungen für mehrere Hochwasserszenarien ausgetestet wurde. Dank der Kombination verschiedener Maßnahmen ist das Schutzkonzept sehr robust und wirkt auch dann noch, wenn einzelne Elemente versagen sollten. Zudem können die einzelnen Schutzelemente angepasst werden, sollten sich die Randbedingungen (z. B. das Geschiebepotenzial

im Einzugsgebiet) wesentlich ändern. Wird das System überlastet, sorgen die getroffenen Maßnahmen dafür, dass der Schaden begrenzt bleibt.

Das Konzept war im Dezember 2005, also nur vier Monate nach dem Ereignis, in seinen Grundzügen definiert und im Sommer 2006 in ein genehmigungsfähiges Projekt weiter bearbeitet worden. Die einzelnen Maßnahmen zum Schutz der Straße und des Dorfes sind seit Oktober 2006 im Bau.



Abb. 10: Übersicht über das Maßnahmenkonzept zum Schutz des Dorfes Oey. Fließrichtung der Chirel von rechts nach links.

Fig 10: Overview over the concept for flood protection for the village of Oey. Flow direction of the Chirel river from right to left.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Nach den verheerenden Unwettern vom August 2005 wurde mit der lokalen, lösungsorientierten Ereignisanalyse ein Instrument geschaffen, welches es innert sehr kurzer Zeit erlaubt hat, auf der Basis einer Prozessanalyse nachhaltige Sofort- und Wiederherstellungsmaßnahmen zu definieren und umzusetzen. Der hohe Zeitdruck bei der Bearbeitung der Analyse und des Schutzkonzeptes stellte sehr hohe Ansprüche an die Bearbeiter.

Voraussetzung für das Gelingen war, dass alle Beteiligten, d.h. Fachspezialisten in Geomorphologie, Hydrologie, Flussbau und Wasserbau, Vertreter der kantonalen Fachbehörden, lokale Erfahrungsträger (Mitglieder der Schwellenkorporation) sowie politische Entscheidungsträger der Gemeinde ihre Erkenntnisse regelmäßig ausgetauscht haben. Dank dieses regelmäßigen Austausches ist das Schutzkonzept breit abgestützt und konnten auch unpopuläre Maßnahmen wie die Umsiedlung von Liegenschaften umgesetzt werden.

LITERATUR

Tiefbauamt des Kantons Bern (2006): „Hochwasser 2005 im Diemtigtal. Lokale lösungsorientierte Ereignisanalyse (LLE)“. geo7 AG, Schälchli, Abegg + Hunzinger, Bern. unveröffentlichter technischer Bericht.

Mani, P., Roth, H. (2008): „New Ways in the Management of Storm Events. Local Solution-Oriented Event Analysis after the Storm Disaster in August 2005 in the Bernese Oberland“. Extended Abstract, Interpraevent 2008

KRISENMANAGEMENT UND BODENSCHUTZ

ERFAHRUNGEN AUS DEN HOCHWASSEREREIGNISSEN 2005 IN ALPINEN REGIONEN DER SCHWEIZ

CRISIS MANAGEMENT AND SOIL PROTECTION

EXPERIENCES WITH THE FLOOD EVENT 2005 IN MOUNTAINOUS AREAS OF SWITZERLAND

Nicole Locher Oberholzer¹, Michael Wernli², Samuel Isler³ und Reto Rupf⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Infolge der Starkniederschläge vom August 2005 kam es in grossen Teilen des schweizerischen Alpennordhangs zu Überschwemmungen. Als vorbeugende Massnahme hinsichtlich künftiger Ereignisse wurden die Erfahrungen auf Seiten der Verwaltung und der betroffenen Privatwirtschaft eruiert. Unmittelbar nach Eintritt des Hochwasserereignisses spielt der Bodenschutz eine untergeordnete Rolle. Wichtig ist der vorgängig festgelegte Einbezug des Bodenschutzes in die Organisation der späteren Schadenbewältigung und in der Regenerierungsphase. Klare Strategien und Handlungsanweisungen über die Verwaltungsgrenzen hinweg erleichtern den Bodenschutz im Krisenmanagement.

Keywords: Bodenschutz, Hochwasser, Krisenmanagement, Umweltplanung

ABSTRACT

After the intense rainfalls in August 2005 great parts of the northern side of the Alps in Switzerland were flooded. To prevent further damages the experiences of different administration departments and concerned private industries were evaluated. In the very first phase after the occurrence of a flood event soil protection has no priority. It is therefore of importance that soil protection gets integrated in the organisation of later coping with damage and regeneration. Clear strategies and orders across administrative units facilitate soil protection in the crisis management.

Keywords: soil protection, flood event, crisis management, environmental planning

¹ Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen, Departement Life Sciences und Facility Management, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Grüental, CH-8820 Wädenswil, www.umweltplanung.unr.ch, (Tel.: +41 (0)58 934 59 44, email: nicole.locher@zhaw.ch)

² Assistent, Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen, Departement Life Sciences und Facility Management, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Grüental, CH-8820 Wädenswil

³ Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen, Departement Life Sciences und Facility Management, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Grüental, CH-8820 Wädenswil

⁴ Dozent, Institut Umwelt und Natürliche Ressourcen, Departement Life Sciences und Facility Management, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Grüental, CH-8820 Wädenswil

EINFÜHRUNG

Die Hochwasser der letzten Jahre haben zu direkten und indirekten Bodenschäden geführt. Da diese Problematik wohl auch in Zukunft aktuell bleibt, stand die jährliche Tagung der kantonalen Bodenschutzfachstellen 2007 unter dem Thema "Bodenschutz nach Naturkatastrophen". Für die Tagung wurden Erfahrungen, welche in den von Hochwassern heimgesuchten Kantonen gemacht wurden, in einem Bericht aufbereitet (Locher Oberholzer et al. 2007). Nachfolgend werden die wichtigsten Erkenntnisse des Berichtes präsentiert.

Niederschlagsereignisse August 2005

Zwischen dem 21. und 23. August 2005 ereigneten sich in der Schweiz schwere Unwetter. **Abb. 1** zeigt die gefallenen Regenmengen. Betroffen war praktisch der gesamte Alpennordhang. In Bezug auf die räumliche Ausdehnung übertraf das Ereignis die bisher bekannten Hochwasser. An vielen Orten wurden neue Rekordwerte für den Niederschlag gemessen; die Messwerte lagen mit erwarteten Wiederkehrperioden von bis zu 300 Jahren meist im seltenen Bereich (BWG 2005).

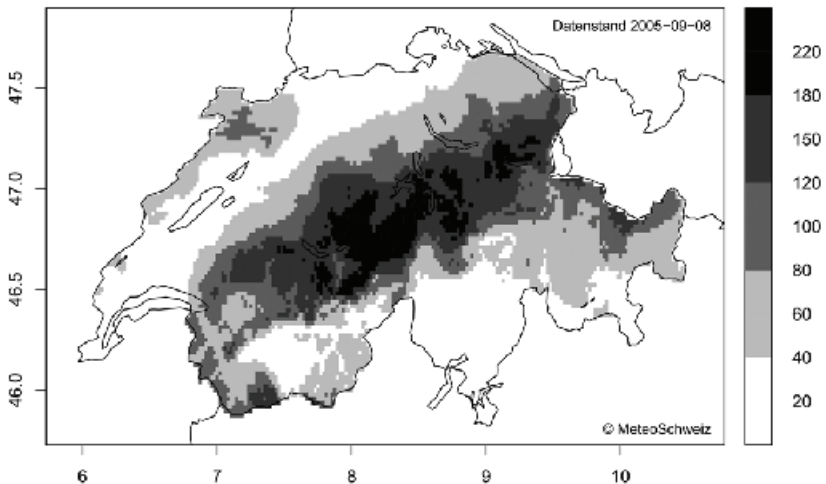


Abb. 1: Niederschlagssumme (in l/m^2) für die zwei Tage Sonntag und Montag 21. - 22. August 2005 (Frei 2005).

Fig. 1: Sum of precipitation (l/m^2) for two days Sunday and Monday 21st – 22nd August 2005 (Frei 2005).

Die Wirkung der enormen Niederschlagsmengen wurde durch eine ungünstige Vorgeschichte noch verstärkt. In den betroffenen Regionen war der August bereits vor dem Unwetterereignis niederschlagsreich. Es fielen hier vorgängig Niederschlagssummen in der Grössenordnung der üblichen Augustmengen. Ausserdem lag die Schneefallgrenze meist über 3000 Metern, weshalb die Wassermengen kaum in Form von Schnee gebunden wurden (BWG 2005). Die weitgehend wassergesättigten Böden vermochten die Regenfluten des Unwetters vom 21. und

22. August 2005 kaum mehr aufzunehmen; das Wasser floss oberflächlich ab und liess Bäche und Flüsse innert kürzester Frist auf Rekordmarken anschwellen.

Bodenschäden

Die hohen Abflussmengen liessen Bäche und Flüsse über ihre Ufer treten. Es kam zu Ufererosion und Überschüttungen. An vielen Hängen kamen die wassergesättigten Böden ins Rutschen. Gesättigte Böden waren möglicherweise auch die Ursache für Überflutungen und Rutschungen in den anderen vom Unwetter betroffenen Gebieten, die zwar grosse Niederschlagsmengen verzeichneten, aber unter den bekannten Rekordmarken blieben. Zu Verschmutzungen durch Mineralöl und chemischen Erzeugnissen kam es nur punktuell (Locher Oberholzer et al. 2007). Lediglich im Urner Reusstal waren Industriegebiete von den Überschwemmungen betroffen. Hier kam es vermehrt zu Bodenverschmutzungen (Basler & Hofmann 2005).

Die von der öffentlichen Hand beglichenen Schäden im Bereich Landwirtschaft beliefen sich auf knapp SFr. 72 Mio. (BWG 2005).

THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Allgemeines Krisenmanagement

Die Bewältigung einer Katastrophe lässt sich in 3 Phasen gliedern. Schematisch sind diese in **Abb. 2** dargestellt. Unmittelbar nach dem Ereignis beginnt die Phase der Schadenbewältigung, in der Leben gerettet und grössere Schäden verhindert, sowie die lebensnotwendige Infrastruktur wieder instand gestellt werden. In der zweiten, der Regenerierungsphase, steht der definitive Wiederaufbau und die Behebung entstandener Schäden im Zentrum der Tätigkeiten. Die dritte Phase fokussiert auf das Vorbeugen von Schäden beim Eintritt eines nächsten Ereignisses. Dazu gehört auch die Evaluation der getroffenen Massnahmen (Brossi & Stoffel 2006). Auch Rückversicherer unterscheiden drei Phasen der Schadenbewältigung, wobei die Phase vor dem Ereigniseintritt in Präservation und Prävention unterteilt wird, unmittelbar nach dem Ereignis die Phasen Intervention und anschliessend Postvention folgen (Brauner 2001).

Dank der Analyse der Schäden, der getroffenen Massnahmen und dem Erfahrungsaustausch ermöglicht der beschriebene Kreislauf eine Verbesserung im Katastrophenschutz und in der Katastrophenbewältigung. Somit sollte eher von einer Risikospirale mit kontinuierlicher Verbesserung als von einem Risikokreislauf gesprochen werden.

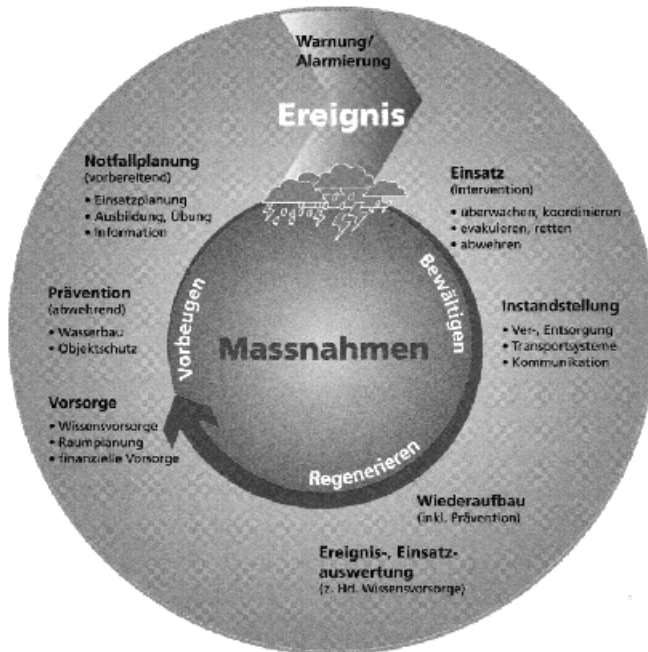


Abb. 2: Integraler Risikokreislauf (Sicherheitsinstitut 2006)
Fig. 2: Integral cycle of risk (Sicherheitsinstitut 2006)

In der ersten Phase nach dem Eintreten des Ereignisses müssen möglichst schnell eine Einsatzleitung aufgebaut, ein Krisenstab besetzt und die nötigen Ressourcen zur Verfügung gestellt werden. Die Mitglieder des Krisenstabs und die Aufgabenbereiche unter Berücksichtigung der Kompetenzen und Fähigkeiten der einzelnen Personen sind soweit möglich bereits früher in der Notfallplanung zu bestimmen. Zudem müssen die Kommunikationsabläufe schon vor dem Ereignis festgelegt sein. Damit der Krisenstab seinen Aufgaben effizient nachkommen kann, benötigt er eine entsprechende Infrastruktur (Adam 2006). Nach der erstmaligen Zusammenkunft des Krisenstabs im Ereignisfall hat die Führung nach einem klar strukturierten Ablauf zu erfolgen. Gemäss einer strengen Hierarchie und Aufgabenverteilung sind in regelmässigen Abständen Lagebeurteilungen durchzuführen, Entscheidungen zu treffen, Massnahmen anzuordnen und deren Ausführungen zu kontrollieren (Bittger 1996).

Einer der wichtigsten Faktoren bei der Bewältigung eines katastrophalen Naturereignisses ist die Verfügbarkeit von Informationen. Damit die betroffene Bevölkerung im Katastrophenfall keine Risiken eingeht und ein der Situation angepasstes Verhalten zeigt, muss sie auch nach Eintritt der Katastrophe mit Informationen über die aktuelle Lage, die voraussichtliche Entwicklung und mit Handlungsanweisungen versorgt werden. Durch die kommunalen Behörden ist daher eine aktive Informationspolitik im Sinne einer unverzüglichen und umfassenden Informationsweitergabe über die noch zur Verfügung stehenden Kommunikationskanäle zu betreiben (Adam 2006).

Schadenverursachende Prozesse

Zu Bodenrutschungen am Hang kommt es, wenn die Scherfestigkeit, welche den Boden an Ort und Stelle hält, kleiner wird als die Schubspannung, welche auf das Bodenmaterial wirkt (Böll 1997, Lang et al. 1996). Die wichtigsten Einflussgrößen sind die Niederschlagsmenge und die Niederschlagsintensität, die in Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten variieren. Für die Entstehung von Rutschungen sind weiter das Gelände (Hangneigung, Exposition), die Scherfestigkeit des Bodenmaterials, die Vegetation und der Einfluss des Wassers auf die Stabilität entscheidend (Rickli 2001). Zu den gefährdeten Standorten gehören insbesondere vernässte, strukturlöse und intensiv bewirtschaftete Hänge mit wenig durchlässigen Böden oder mit vorhandenen Gleithorizonten. Strassenentwässerungen führen ebenfalls zu einem erhöhten Rutschrisiko (Tobler et al. 2006). Bewaldete Gebiete scheinen etwas stabiler zu sein (Rickli 2001).

Bodenerosion ist der lineare oder flächenhafte Abtrag von Boden durch Wasser und Wind (Mühletaler et al.). Im Zusammenhang mit Hochwassern sind die Bodenerosion durch auftreffende Regentropfen und der Oberflächenabfluss zu erwähnen. Die auf den ungeschützten Boden aufprallenden Regentropfen zerstören die Bodenstruktur an der Oberfläche und führen zu deren Verschlämmung, was die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens herabgesetzt, den Oberflächenabfluss steigert und damit die erodierende Kraft des Wassers verstärkt (Scheffer & Schachtschabel 2002). Ist die Transportkapazität von fließendem Wasser grösser als der Widerstand des bettbildenden Materials, wird die Sohle und/oder das Ufer erodiert.

Nimmt die Transportkapazität bei einer konstanten Geschiebefracht ab, kommt es zu Ablagerungen. Solche Ablagerungen entstehen z.B. bei einer Abnahme des Gerinnegefälles oder bei Aufweitungen. Die Ablagerungen verringern den Querschnitt, welcher für den Abfluss zur Verfügung steht. Dies kann zum Ausuferen des Baches mit entsprechend dynamischen Überflutungen und Ablagerungen von Feststoffen ausserhalb des Gerinnes führen. Das Überschüttungsmaterial kann dabei von grobem Schutt bis zu sehr feinem Material wie Silt und Ton reichen (BWG 2005).

Sind bei Überflutungen Siedlungs- und Industriegebiete betroffen, besteht die Gefahr von flächenhaften Verschmutzungen durch das Auslaufen von Öl und anderen chemischen Stoffen, beispielsweise aus ungenügend verankerten Ölbehältern.

METHODE

Der Ablauf der Arbeit gestaltete sich wie in **Abb. 3** dargestellt. Aus Literatur und offenen Interviews wurden in einer ersten Phase Grundlagen zum Thema Hochwasser und Bodenschutz evaluiert. Darauf basierend entstand der Interviewleitfaden.

In einer zweiten Phase fand die Befragung von Akteuren der kantonalen Verwaltungen (v.a. Bodenschutz und Landwirtschaftsämter), Gemeindebehörden und Akteuren der Privatwirtschaft in halbstandardisierten Interviews statt. So wurden einerseits die relevanten Themenbereiche abgedeckt, andererseits Raum für Besonderheiten und neue Ideen offen gehalten. Neben offenen Fragen zu Erfahrungen und Anliegen der Betroffenen wurden die Themenbereiche Organisation/Verfahren, Schadensarten, gefährdete Böden sowie

Möglichkeiten zur Vermeidung der Schäden untersucht. Einen Schwerpunkt bildeten mögliche Massnahmen zur Schadenvermeidung und -minimierung, welche in einem Massnahmenkatalog nach präventiven Massnahmen, Massnahmen während der Katastrophe und Massnahmen während der Reaktivierung gegliedert wurden. Die Interviews dauerten 1 - 2 Stunden und wurden im persönlichen Gespräch, in einzelnen Fällen am Telefon durchgeführt. Es fanden insgesamt 14 Interviews statt. Der Bericht „Umfrage Hochwasser-Bodenschutz. Erfahrungsbericht“ (Locher Oberholzer et al. 2007) bildete die Synthese der Arbeit. Darin wurden auch Arbeitsberichte, Fotos und andere Dokumente wie Merkblätter oder Rundschreiben integriert.

Die Auswertung der Interviews erfolgte qualitativ. Für eine quantitative Auswertung waren die Interviewpartner mit ihren unterschiedlichen Hintergründen sowie die angesprochenen Fallbeispiele und Erfahrungen zu vielfältig.

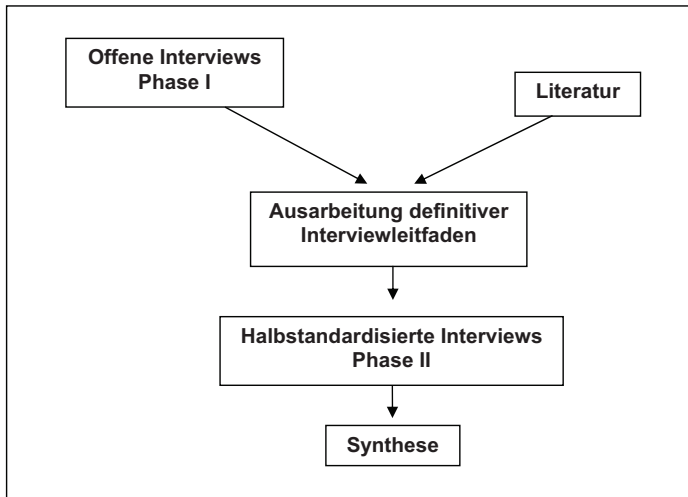


Abb. 3: Ablauf der Arbeit
Fig. 3: Working process

RESULTATE

Aufgrund des Umfangs der Interviews und der offenen Fragen kann die Struktur der Interviews für die zusammenfassende Darstellung der Resultate und Folgerungen nur teilweise übernommen werden. Die Resultate werden nach Organisation/Verfahren, Schadensarten und mögliche Massnahmen zur Vermeidung der Schäden geordnet. Die wenigen Aussagen zu gefährdeten Böden wurden bei den Schadensarten integriert. Die zeitliche Relation der Massnahmen wird aus **Abb. 4** ersichtlich.

Organisation/Verfahren

Ein Krisenmanagement mit klaren, unkomplizierten Strukturen und Ortskenntnissen wurde als wichtig taxiert. Bewährt hat sich der Einsatz von externen Koordinatoren zur unabhängigen Beratung Betroffener.

Der Einbezug der Bodenschutzfachstellen bei der Katastrophenbewältigung wurde in einigen Kantonen nicht praktiziert. Dies wurde als äusserst wichtig erachtet, da die zuständigen (Landwirtschafts-) Fachstellen den Bodenschutz häufig weniger berücksichtigten. Bei den Hochwasserereignissen 2005 wurden die zuständigen Stellen der betroffenen Kantone nur teilweise und zu ganz unterschiedlichen Zeitpunkten beigezogen. Bei den Interviewten herrschte Konsens, dass unmittelbar bei Eintritt eines Ereignisses der Bodenschutz keine Priorität genießt, da es vorerst darum geht, Leben zu schützen. Der fehlende Einbezug der Anliegen des Bodenschutzes während der Katastrophenbewältigung erwies sich jedoch als häufig festgestelltes Problem. Bei zu spätem Eingreifen resultierte eine Vernachlässigung der Bodenanliegen bei den Aufräumarbeiten, was zu Schäden wie Verdichtungen oder unnötigem Aushub von Boden führte.

Die Betroffenen meldeten Schäden in den meisten Kantonen den Gemeinden, welche ihrerseits entweder an die zuständige Landwirtschaftsstelle des kantonalen Amtes oder an die Amtsstelle für Naturgefahren gelangten. Einige Amtsstellen machten gute Erfahrungen mit detaillierten Schadensaufnahmen im Anschluss an das Ereignis. Diese ermöglichten genaue Abschätzungen der Schadenausmasse, finanziellen Entschädigungen, Sanierungskosten und erleichterten die Planung nötiger Massnahmen sowie den Ablauf der Rekultivierungsarbeiten.

Im Zusammenhang mit dem Unwetterereignis vom August 2005 hat sich gezeigt, dass Bodeneigenschaften bei der Erstellung von Naturgefahrenkarten zu wenig einbezogen wurden. Einige der Interviewten wünschten sich Prognosemodelle für Hangrutschungen unter verbessertem Einbezug von Bodendaten. Sehr geschätzt wurden konkrete Handlungsanweisungen (z.B. Merkblätter) bei der Bewältigung der Katastrophe und auftretender Probleme. Die Beratung durch das Bundesamt für Umwelt wurde ebenfalls positiv beurteilt, die Unterstützung durch einzelne Forschungsanstalten weniger.

Schadensarten

Im Allgemeinen korrelierte bei den Ereignissen 2005 die Häufigkeit auftretender Hangrutschungen mit der Niederschlagsmenge, wobei aber regionale Unterschiede bestanden. Es waren vorwiegend steile Lagen in Futterbaugebieten betroffen, teilweise kamen aber auch Böden an erstaunlich flachen Hängen ins Rutschen. Gemäss Interviewten bestand zwischen der Mächtigkeit des Bodens und der Rutschgefährdung kein gesicherter Zusammenhang. Es wurde vermutet, dass in Gebieten mit stets grossen Niederschlagsmengen die „Toleranz“ gegenüber Rutschungen höher war.

Infolge der grossen Abflussmengen wurden 2005 entlang von Bächen und Flussläufen teils beträchtliche Uferpartien erodiert. Wo die Wassermassen über die Ufer traten, wurden auch grossflächig wertvolle Landwirtschaftsböden erodiert. Auf den fruchtbaren Talböden kamen die grössten Schäden durch Überschüttungen auf.

Bei den Überschwemmungen 2005 wurden flüssige Stoffe wie Mineralöl aus Siedlungs- und Industriegebieten auf der Wasseroberfläche transportiert. In überschwemmten Gebieten bildeten sich zwischenzeitlich Seen mit einem Ölfilm. Beim Rückgang des Wassers lagerte sich das Öl in einem Saum am Rand der ehemaligen Wasserfläche oder in Flecken an

örtlichen Kuppenlagen an. Entlang der Transportwege konnten an Pflanzen Ablagerungen von Mineralölen festgestellt werden. Die Belastungen betrafen die Vegetation sowie die obersten Bodenschichten bis in eine Tiefe von höchstens 20 cm.

Mögliche Massnahmen zur Vermeidung der Schäden

Als vorbeugende Massnahme gegen Rutschungen wurde die Ausscheidung gefährdeter Standorte in Gefahrenkarten vorgeschlagen, allenfalls mittels Modellierung. Die Sicherung der Hangstabilität durch bauliche Massnahmen wie Holzkästen, Drahtschotterkörbe und dergleichen sollte geprüft werden. Es wurde vermutet, dass grossflächig eine Hangstabilisierung mittels Aufforstung erreicht werden kann.

Zur Erosionsbekämpfung dienen Hochwasserschutzprojekte und Uferverbauungen, nach den Unwettern 2005 wurden weitere Projekte geplant. Eine häufig genannte Voraussetzung für einen nachhaltigen Erosionsschutz ist das Bereitstellen von genügend Raum für das Wasser, beispielsweise in intakten Flusssauen, wo die Wasserdynamik über Erosion und Ablagerung von Lockermaterial entscheidet.

Die Räumung respektive Einarbeitung des Schüttmaterials durften gemäss üblicher Praxis erst bei ausreichend trockenen Bedingungen ausgeführt werden. Es zeigte sich, dass feinkörnige Ablagerungen mit zunehmender Trockenheit sehr hart und die Bearbeitung dadurch schwierig wurde.

Die betroffenen Vertreter der Amtstellen waren sich einig, dass bei der Ausscheidung von Industriezonen das Gefahrenpotenzial berücksichtigt werden muss. Als weitere Möglichkeiten zur Prävention wurden verschiedene bauliche Massnahmen genannt. Optionen sind die Erhöhung von Lichtschächten und Füllstutzen, bessere Abdichtung der Öltanks, stärkere Befestigung von Tankanlagen oder flexible Verrohrungen, welche Bewegungen der Tanks unbeschadet überstehen.

War Öl ausgelaufen, galt es, die Ausbreitung der Verschmutzung zu verhindern. Dazu wurde die ölverschmutzte Vegetation schnellstmöglich geschnitten und in einer Kehrriechverbrennungsanlage entsorgt. Auch im Folgejahr wurde von einer Nutzung des Schnittguts abgesehen. Teilweise wurden ackerbauliche Massnahmen zur Förderung der biologischen Aktivität und Beschleunigung des Abbaus der Kontamination ergriffen. Die Betroffenen stimmten überein, dass die Entsorgung oder Reinigung (Bodenwäsche) des Bodenmaterials von Fachpersonen koordiniert sowie dokumentiert werden muss.

Die Interviewten sagten aus, dass für die Aufräumarbeiten der Einbezug der für Bodenschutz zuständigen Behörden zu fordern ist. Bei umfangreicheren Arbeiten wurde der Einsatz einer Bodenkundlichen Baubegleitung als empfehlenswert erachtet. Als wichtig stufen die Befragten auch die rechtzeitige Information der Betroffenen bezüglich bodenschonender Arbeiten und bestehender Auflagen ein.

Die Mehrzahl der Befragten war der Meinung, dass für die Wiederherstellung von Kulturböden und bezüglich Schadenersatz klare Strategien über Gemeinde- und Kantonsgrenzen hinweg notwendig sind; individuelle Regelungen brachten viel Unsicherheit und Unzufriedenheit mit sich. Vielerorts war die kurzfristige Beschaffung von geeignetem Bodenmaterial für Rekultivierungsarbeiten ein Problem. Eine Rekultivierung mit geeignetem

Saatgut und eine angepasste Folgebewirtschaftung führten gemäss den Erfahrungen von Interviewten langfristig am ehesten zum Erfolg.

Häufig wurde betont, dass die Umsetzung der Massnahmen, insbesondere nach der Wiederherstellung von Kulturland, mittels Erfolgskontrollen und Bauabnahmen protokolliert und kontrolliert werden müsste.

FOLGERUNGEN

Im Kapitel „Theoretische Grundlagen“ wurde bereits auf die verschiedenen Phasen der Katastrophenbewältigung eingegangen. Während und unmittelbar nach der Katastrophe hat der Bodenschutz nicht Priorität. Sobald sich die Gefahrensituation stabilisiert und die Aufräumarbeiten beginnen, sind die Ansprüche des Bodenschutzes zu berücksichtigen, um weitere Bodenschäden zu vermeiden. **Abb. 4** fasst wichtige Massnahmen im Zusammenhang mit Bodenschutz bei Hochwasserereignissen zusammen und setzt diese in zeitliche Relation mit der Katastrophenbewältigung.

Vorbeugen	Ereignis	Bewältigen	Regenerieren
Raumplanerische Anpassungen		Information Betroffener bezüglich Bodenschutz	Rekultivierungen
Verhindern von Bodenversiegelung		Einsatz Bodenkundlicher Baubegleitung	Bodenschonende Folgenutzung
Ausscheiden von Gefahrenstandorten		Detaillierte Schadenaufnahme	
Erhalten der Bodenstruktur		Böden genügend abtrocknen lassen	Geeignete Ansaat
Hochwasserschutzprojekte		Einsatz bodenschonender Maschinen	Keine Futternutzung an kontaminierten Stellen
Bauliche Massnahmen		Entfernen von kontaminierten Böden und Vegetation	Erfolgskontrollen
Bereitstellen von Hilfsmitteln		Bauabnahmen	
Einbezug Bodenschutz in Notfallplanung			

Abb. 4: Übersicht wichtiger bodenschutzrelevanter Massnahmen in zeitlicher Relation zum Hochwasserereignis.

Fig. 4: Diagram of important soil protection measures in relation to the flood events.

Organisation/Verfahren

Die Zuständigkeiten und Kommunikationsmuster müssen bereits vor Eintritt des Ereignisses festgelegt werden. Für Führungs- und Koordinationsaufgaben bei der Katastrophenbewältigung hat sich ein Krisenstab sehr bewährt (Adam 2006). Insbesondere in kleineren

Gemeinden sind die lokalen Behörden dankbar für eine kompetente Anlaufstelle, welche Koordinationsaufgaben zu den kantonalen und eidgenössischen Stellen übernimmt. Der Beizug von Fachpersonen mit weitgehenden Kompetenzen für bodenrelevante Arbeiten (Bodenkundliche Baubegleitung) über den gesamten Zeitraum der Intervention und allenfalls der Regenerierung ist empfehlenswert und sollte vermehrt durchgesetzt werden.

Wichtig ist die vorbeugende Verankerung des Bodenschutzes in der Notfallplanung, damit der rechtzeitige Einbezug auch in der Katastrophenbewältigung gewährleistet wird. In der Präventionsphase sind Organisations- bzw. Ablaufschemas zu erstellen, aus welchen der Einbezug des Bodenschutzes und der dafür zuständigen Stellen hervorgeht.

Betroffene Landbesitzer und Bewirtschafter müssen bei ihrer Schadenmeldung klare Anweisungen für bodenschonende Massnahmen erhalten, um langfristige Bodenschäden durch unsachgemässe Handlungen zu vermeiden. Detaillierte Schadenaufnahmen bilden eine transparente Grundlage für Entschädigungen und vereinfachen zudem den Ablauf der Planung. Dadurch ist der finanzielle und zeitliche Aufwand für die Aufnahmen mehr als gerechtfertigt.

Eine zentrale Stelle, welche vorhandene Hilfsmittel wie Prognosemodelle, Merkblätter etc. sammelt, würde deren Einsatz vereinfachen. Eine solche Stelle würde auch den Austausch zwischen den Regionen sowie einen einheitlichen Vollzug bei der Katastrophenbewältigung fördern. Diese Aufgaben können durch eine Behörde oder durch ein Kompetenzzentrum übernommen werden. Ein Kompetenzzentrum könnte zudem in angewandter Forschung vorhandene Instrumente weiter entwickeln.

Schadensarten und mögliche Massnahmen zur Vermeidung der Schäden

Aussagen zu gefährdeten Bodenarten wurden kaum gewagt. Die Erfahrungen Einzelner genühten nicht, um allgemeingültige Aussagen zu machen. Es dürfte aber zutreffen, dass bei tiefgründigen Böden mit grosser Wasserspeicherkapazität infolge des hohen Eigengewichtes die Rutschgefährdung erhöht ist. Dieser Zusammenhang wurde auch durch Rickli (2001) erwähnt.

Überschüttungen und teilweise auch Erosion lassen sich präventiv durch niedrige Abflussspitzen beziehungsweise gute Wasserretention vermeiden. Diese werden durch das Verhindern von Bodenversiegelung, die Erhaltung einer guten Bodenstruktur, Rückhaltebecken und Hochwasserschutzprojekte, welche den Gerinnen wieder mehr Raum zur Verfügung stellen, gefördert. Solche präventiven Massnahmen können nur unter Einbezug aller Beteiligten umgesetzt werden und bedingen den politischen Konsens sowie raumplanerische Anpassungen.

Präventiv lassen sich Schäden durch ausfliessende chemische Stoffe und insbesondere Öl mit raumplanerischen und baulichen Massnahmen verhindern. Verschmutzter Boden sollte nicht überstürzt ausgehoben werden. Insbesondere Mineralöl baut sich im Boden relativ schnell ab (Basler & Hofmann 2006). Bei Kontaminationen im Gewässerschutzbereich ist ein Ausheben des Bodens allerdings unumgänglich.

Während den Aufräumarbeiten werden häufig bodenrelevante Arbeiten wie das Aufbringen von Boden mit geeignetem Material, das fachgerechte Anlegen von Zufahrts- und Transportpisten (ev. aus angeschwemmtem Geschiebe) etc. ausgeführt. Um langfristige

Schäden des Bodens während dieser entscheidenden Phase zu vermeiden, empfiehlt sich der Einsatz einer Bodenkundlichen Baubegleitung (BBB). Diese sorgt bei umfangreicheren Arbeiten für eine fachgerechte und schonende Ausführung der Bodenarbeiten unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen.

Das Verwenden von ungeeignetem Material bei der Rekultivierung kann durch ein aktives Auftreten der Fachstellen minimiert werden, welche Angebot und Nachfrage zentral koordinieren. Die erfolgten Rekultivierungsarbeiten bedürfen einer Abnahme unter Einbezug der zuständigen kantonalen Fachstellen, der Bodenkundlichen Baubegleitung und weiterer Akteure wie Bewirtschafter, Bauunternehmer und Versicherungsvertreter. Wichtig sind solche Erfolgskontrollen auch zur Rechtfertigung des Einsatzes öffentlicher Mittel.

Ausblick

Im Hochwasserschutz hat sich in der Schweiz die bisherige Präventionsstrategie bewährt. Dank realisierter Hochwasserschutzprojekte konnten viele Schäden vermieden werden (BWG 2005). Der Einbezug des Bodenschutzes in die Hochwasserbewältigung weist gute Resultate auf. Mit raumplanerischen Massnahmen könnten die Schäden vorbeugend weiter minimiert werden.

Vor allem in den Bereichen Organisation und Kommunikation sowie bei der Rekultivierung bestehen noch gewisse Defizite (Locher Oberholzer et al. 2007). Durch die Aufnahme dieser Themen an Fachtagungen und anderen Veranstaltungen wurde ein Weg eingeschlagen, welcher die kontinuierliche Verbesserung der Schadenbewältigung auch im Bereich Bodenschutz ermöglicht. Eine weitere Herausforderung für Hochwasser- und Bodenschutz stellen in Zukunft der Umgang mit der zunehmenden Bodenversiegelung und die Förderung einer schonenden Bewirtschaftung der Böden, welche gute Rückhaltefähigkeiten gewährleistet, dar.

LITERATUR

- Adam V. (2006): "Hochwasser-Katastrophenmanagement, Wirkungsprüfung der Hochwasservorsorge und -bewältigung österreichischer Gemeinden". Dissertation der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich.
- Basler & Hofmann (2006): „Hochwasser Uri 2005, Schadstoffbelastungen von Böden mit Kohlenwasserstoffen“. Folgeuntersuchung II, Altdorf.
- Basler & Hofmann (2005): „Hochwasser Uri 2005, Schadstoffbelastungen von Böden, Pflanzen und Schlamm.“ Untersuchungsresultate und Massnahmen, Altdorf.
- Bittger J. (1996): "Grossunfälle und Katastrophen: Einsatztaktik und -organisation". Stuttgart.
- Böll A. (1997): „Wildbach- und Hangverbau“. Bericht Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald Schnee und Landschaft (WSL).
- Brauner Ch. (2001): "Präventive Schadenbewältigung: Mehr gewinnen als verlieren". Swiss Re, Zürich.
- Brossi M., Stoffel F. (2006): "Optimierung von Warnung und Alarmierung". Schlussbericht in Erfüllung des VBS-Auftrages vom 1. November 2005. Bundesamt für Bevölkerungsschutz (BABS).
- BWG, Bundesamt für Wasser und Geologie (2005): "Bericht über die Hochwasserereignisse 2005". Bern.

- Frei Ch. (2005): "August-Hochwasser 2005: Analyse der Niederschlagsverteilung". Meteo-Schweiz, Zürich.
- Lang H.J., Huder J., Amman P. (1996): „Bodenmechanik und Grundbau. Das Verhalten von Boden und Fels und die wichtigsten grundbaulichen Konzepte“. 6. überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Locher Oberholzer N., Krebs R., Isler S., Wernli M. (2007): „Umfrage Hochwasser – Bodenschutz. Erfahrungsbericht“. Bundesamt für Umwelt (BAFU), unpub.
- Mühletaler U. et al.: „Erosion – eine schleichende Gefahr“. Merkblatt Bodenerosion. Arbeitsgruppe Bodenerosion Nordwestschweiz.
- Rickli C. (2001): "Vegetationswirkungen und Rutschungen. Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997". Eidgenössische Forschungsanstalt WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Scheffer F., Schachtschabel P. (2002): "Lehrbuch der Bodenkunde". 15. Auflage. Spektrum, Heidelberg.
- Sicherheitsinstitut (2006): "Hochwasserschäden vermeiden". Bundesamt für Bevölkerungsschutz, Bern.
- Tobler D., Krummenacher B., Rohr W. (2006): "GIS-basierte Modellierung von Rutschungen und Hangmuren". Davos.

**EREIGNISORIENTIERTE NOTFALLPLANUNG ALS INSTRUMENT DER
EINSATZKRÄFTE BEI NATURGEFAHREN**

**EFFORT-ORIENTED EMERGENCY PLANNING AS A USEFUL TOOL FOR RELIEF
UNITS DURING A NATURAL HAZARD EVENT**

Thomas Plattner¹, Markus Gunzenhauser²

ZUSAMMENFASSUNG

Notfallplanungen sind in der chaotischen Phase zu Beginn der Ereignisbewältigung einzusetzen. Sie sind auf die Alarmierung, die Sofortmassnahmen, die Intervention, die Organisation der Einsatzkräfte sowie die Information der Bevölkerung, Medien und Presse ausgerichtet. Anhand der Notfallplanung „Engelberger Aa“ (Kt. Nidwalden) und der Notfallplanung „Naturgefahren“ (Gmde. Weggis/LU) werden Struktur und Inhalte existierender Notfallplanungen bei Naturgefahren in der Schweiz diskutiert. Für die Erarbeitung von Notfallplanungen bei Naturgefahren sind Leitfäden nötig, um einen vergleichbaren Standard bei Inhalt und Qualität zu gewährleisten. In der Schweiz werden solche Leitfäden gegenwärtig in den Kantonen Nidwalden und Bern erarbeitet. Die Erstellung von Leitfäden sollte auch auf eidgenössischer Ebene in Betracht gezogen.

Keywords: Notfallplanung, Naturgefahren, Ereignisbewältigung, Einsatzkräfte

ABSTRACT

The use of an emergency plan is mainly located within the first chaotic phases of event coping. Hence, an emergency plan focuses on the issues of alerting, intervention itself, organization and communication. On the basis of the emergency plan “Engelberger Aa” (canton of Nidwalden) and the emergency plan “Natural hazards” (municipality of Weggis/LU), structure and contents of existing Swiss emergency plans within the area of natural hazards are discussed. Further efforts are required to obtain a guideline for natural hazard emergency planning that guarantees a comparable standard of contents and quality. Such guidelines are currently elaborated in the cantons of Nidwalden and Bern. In addition, similar efforts should be made on a federal level in Switzerland.

Keywords: Emergency planning, Natural hazards, event coping, relief units

1 Fachingenieur (Naturgefahren), ECOSAFE Gunzenhauser AG, Lerchenweg 2, 4303 Kaiseraugst/AG, Schweiz (Tel.: +41-61-976 97 60; Fax: +41-61-976 76 69; email: thomas.plattner@ecosafe.ch)

2 Geschäftsführer, ECOSAFE Gunzenhauser AG, Lerchenweg 2, 4303 Kaiseraugst/AG, Schweiz (Tel.: +41-61-976 97 60; Fax: +41-61-976 76 69; email: markus.gunzenhauser@ecosafe.ch)

NATURGEFAHREN IN DER SCHWEIZ – EINE KURZE EINFÜHRUNG

Seit dem 19. Jahrhundert werden grosse Anstrengungen zum Schutz vor Naturgefahren unternommen. Alleine in der Schweiz wurden dazu bereits mehrere Milliarden Franken investiert (Hollenstein 1997). Dadurch konnte die Zahl der auf Naturgefahren zurückzuführenden Todesopfer drastisch reduziert werden. Aufgrund zunehmend intensiverer Nutzung der Landschaft, steigendem Wert der gebauten Infrastruktur sowie dem Vordringen in bislang ungenutzte Zonen stiegen die Schäden an privatem und öffentlichem Eigentum dennoch weiter an (PLANAT 2004b). Vor diesem Hintergrund ist daher davon auszugehen, dass das Schadenausmass auch weiterhin ansteigen wird.

Die öffentliche Hand kann für den baulichen Schutz vor Naturgefahren wegen beschränkter Ressourcen jedoch nicht unbeschränkt Geld ausgeben. Um einen effizienten Schutz vor Naturgefahren zu erreichen müssen daher im Rahmen eines integralen Risikomanagements bei Naturgefahren auch nichtbauliche Massnahmen berücksichtigt werden. Die auf ein spezifisches Ereignis ausgerichtete Notfallplanung ist eine solche Massnahme.

NOTFALLPLANUNG ALS TEIL DES SCHUTZES VOR NATURGEFAHREN

Die vor Ort ansässigen Einsatzkräfte (in der Schweiz die Feuerwehr und der Zivilschutz) sind bei der Bewältigung eines Ereignisses von Beginn weg an vorderster Front im Einsatz. Eine vorhandene Notfallplanung erleichtert den Einsatzkräften die Arbeit. Daher schreibt die Störfallverordnung (StFV) bei stationären Betrieben, die mit Gefahrgütern handeln, die Erstellung und regelmässige Überprüfung von Einsatzplänen für die Feuerwehr vor (Berger 1990; BUWAL 1991; BUWAL 1992; BUWAL 1996). Die Verwendung von solchen Einsatzplänen wurde im Laufe der vergangenen Jahre auf weitere technische Risiken ausgeweitet. Heutzutage existieren auch Einsatzpläne für die Schweizer Nationalstrassen sowie für die Rheinschifffahrt.

Seit längerem sind Einsatzpläne auch bei Naturgefahren bekannt. Bislang fokussieren sie jedoch auf Einzelobjekte, um diese im Ereignisfall, beispielsweise bei einem Hochwasser, gezielt schützen zu können. Im Rahmen des integralen Risikomanagements wird jedoch seit Jahren der Einsatz von Notfallplanungen in einem grösseren (z.B. kommunalen oder regionalen) Massstab gefordert (PLANAT 2004b; PLANAT 2004a; PLANAT 2006b; PLANAT 2006a). Die konkrete Verwendung von Notfallplanungen bei Naturgefahren erfolgt jedoch erst seit wenigen Jahren. Dies ist auch auf die Erfahrungen bei den Starkregenereignissen im August 2005 zurückzuführen. Diese haben in weiten Teilen der Schweiz zu grossen Schäden aufgrund von Überschwemmungen und Hangrutschen geführt.

Unterdessen gibt es in der Schweiz einige Ansätze zu Notfallplanungen oder Teilaspekten daraus, die im Ereignisfall zur Anwendung gelangen. Als vollständige Notfallplanung im Sinne einer umfassenden Aufarbeitung aller relevanten Informationen (siehe dazu das Kapitel „Was ist eine Notfallplanung?“) können folgende Arbeiten gelten:

- Notfallplanung „Engelberger Aa“ im Kt. Nidwalden (ECOSAFE und GeoTeam 2007)
- Evakuations- und Interventionsplanung sowie Wasserwehrplanung „Alpenrhein“ (Fritsche 2007)
- Notfallplanung „Hochwasser“ im Kt. Wallis (Seiler und Bumann 2007)
- Notfallplanung „Naturgefahren“ der Gemeinde Weggis im Kt. Luzern (ECOSAFE 2007a)

Nur einen Teilbereich einer Notfallplanung, nämlich die direkte Intervention, wird in den Interventionskarten abgedeckt, die gegenwärtig im Kt. Graubünden erarbeitet werden

(Romang und Guler 2006b; Romang und Guler 2006a; Guler, Romang et al. 2007; Romang, Barandun et al. 2007).

NOTFALLPLANUNG IM INTEGRALEN RISIKOMANAGEMENT

Der Schutz vor Naturgefahren folgt in der Schweiz dem Konzept des integralen Risikomanagements (Hollenstein 1997; Hollenstein, Merz et al. 2004; PLANAT 2004b; PLANAT 2004a; Plattner, Hollenstein et al. 2005; PLANAT 2006b; PLANAT 2006a). Dabei wird von einem Kreislauf ausgegangen (Abb. 1). Dieser zeigt die Abfolge der verschiedenen Phasen des Risikomanagements auf (PLANAT 2004a; PLANAT 2006a).

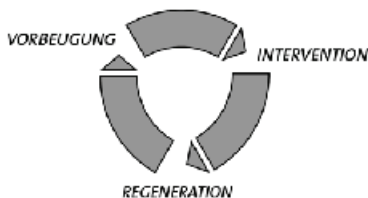


Abb. 1: Kreislauf des integralen Risikomanagements (vereinfacht)

Fig. 1: Cycle of integrated risk management (simplified)

Die Notfallplanung ist als Bindeglied in den Phasen der Vorbeugung und der Intervention anzusiedeln: die Erarbeitung einer Notfallplanung zwingt vorbeugend zu einer vertieften Auseinandersetzung mit dem möglichen Ereignis und liefert den Einsatzkräften somit wertvolle Informationen zu den sinnvollen Interventionen im Rahmen der Ereignisbewältigung.

WAS IST EINE NOTFALLPLANUNG?

Bislang existiert in der Schweiz keine anerkannte Definition für Notfallpläne bei Naturgefahren. Im Gegensatz dazu sind für Einsatzpläne, welche durch die Störfallverordnung vorgeschrieben sind, bereits in verschiedenen Kantonen detaillierte Leitfäden vorhanden. Diese dienen der Vergleichbarkeit der Einsatzpläne und garantieren einen gewissen Qualitätsstandard. Zudem zeigen sie auf, welche Informationen in welcher Art und Weise in den Einsatzplänen aufgearbeitet sein müssen.

Gegenwärtig ist das Schweizerische Bundesamt für Strassen (ASTRA) daran, für das gesamte Schweizer Nationalstrassennetz Einsatzpläne erarbeiten zu lassen, welche der Struktur und dem Detaillierungsgrad einer Muster-Notfallplanung (der als Leitfaden dient) entsprechen müssen. Ebenfalls erarbeitet der Kanton Nidwalden aktuell eine Muster-Notfallplanung, die für alle neu zu erstellenden Notfallplanungen (Naturgefahren, gesellschaftlichen Risiken, technischen Risiken) im Kanton als Leitfaden dienen soll. Zudem läuft im Kanton Bern ein ähnliches Projekt, mit dem Ziel, den Gemeinden einen Leitfaden zur Bewältigung von Katastrophen und Notlagen zur Verfügung zu stellen.

Auf Basis der existierenden oder in Arbeit befindlichen Leitfäden kann daher der Inhalt einer Notfallplanung für Naturgefahren grob definiert werden:

- *Zeitfenster, auf das die Notfallplanung ausgerichtet ist:* eine Notfallplanung ist immer ein Hilfsmittel, um in der chaotischen Phase der ersten Stunden und Tage eines Einsatzes strukturiert und gezielt vorgehen zu können. Nach einer gewissen Zeit sollte die Notfallplanung jedoch in den Hintergrund treten und sich der Einsatz an den durch

das Ereignis definierten Bedürfnissen orientieren. In dieser Phase dient die Notfallplanung dann zur Führungsunterstützung.

Aus dieser Fokussierung auf die chaotische Phase zu Beginn eines Ereignisses folgt, dass im Rahmen einer Notfallplanung folgende Aspekte zu berücksichtigen sind:

- *Alarmierung:* In den meisten Fällen wird mit der Alarmierung der Einsatzkräfte die Ereignisbewältigung ausgelöst. Die Notfallplanung muss daher Informationen, die für eine situationsgerechte Alarmierung notwendig sind, liefern. Dazu gehören die Kriterien, welche eine Alarmierung rechtfertigen sowie Informationen, welche Organisation/Stelle wann alarmiert wird. Nicht zu vergessen ist auch die Alarmierung und Information der betroffenen Bevölkerung.
- *Sofortmassnahmen und Intervention:* Nach der Alarmierung müssen Sofortmassnahmen durchgeführt werden. Diese sind für den Erfolg der Ereignisbewältigung von grosser Bedeutung. Ihnen ist daher ein grosses Gewicht beizumessen. Darunter fallen Massnahmen wie die Evakuierung gefährdeter Gebäude und Flächen, die Absperrung gefährdeter Gebiete sowie das Anbringen zusätzlicher Schutzmassnahmen (z.B. mobiler Hochwasserschutz). Zudem müssen im Rahmen der Intervention auch Fragen der relevanten Einsatzorte (Schlüsselstellen und besonders gefährdete Bereiche), der Interventionswege, der Verkehrsumleitung und der Unterbringung allfällig evakuierter Personen betrachtet werden.
- *Organisation der Einsatzkräfte:* Im Einsatz ist eine klare Organisationsstruktur hilfreich. Die Notfallplanung sollte aufzeigen, wie die Einsatzkräfte organisiert sind, wie die Kommandostrukturen aussehen, wer die Einsatzleitung übernimmt, wo die Einsatzleitung stationiert ist, wie die Pflichten und Rechte verteilt sind und wie die Kommunikation unter den Einsatzkräften zu erfolgen hat. Zudem sollte aufgeführt werden, ab wann ein Gemeindeführungsstab (GFS) oder (in der Schweiz) ein kantonaler Führungsstab (KFS) eingesetzt werden muss. Schliesslich muss auch aufgezeigt werden, ab wann zusätzliche Hilfskräfte in Betracht gezogen müssen.
- *Information der Öffentlichkeit sowie der Medien und Presse:* Ein Notfalleinsatz verlangt eine durchdachte und strukturierte Informations- und Kommunikationspolitik. Daher muss im Rahmen der Notfallplanung bereits festgelegt werden, wie die Information der Medien und Presse zu erfolgen hat. Zudem ist auch die Information der Öffentlichkeit vorzubereiten. Dazu gehören, neben der allgemeinen Information über die Medien und Presse auch die gezielte Information betroffener Bevölkerungsteile mit Verhaltensanweisungen über Riodurchsagen, über Lautsprecherdurchsagen mit mobilen Sirenenfahrzeugen oder mittels eigens erstellten Informationsblättern.

GRÜNDE FÜR EINE NOTFALLPLANUNG

Die vorgängig aufgeführten Aspekte, sind den Einsatzkräften sowie der Einsatzleitung normalerweise bekannt. Oft liegen sie jedoch nicht in aufbereiteter und konzentrierter Form vor, sondern sind in verschiedenen Unterlagen vorhanden. Oft kommt es auch vor, dass diese Informationen „nur“ in den Köpfen einzelner Personen (z.B. Feuerwehr-Kommandanten, Einsatzleiter) enthalten sind.

Eine Notfallplanung bringt diese Informationen in strukturierter Art und Weise zusammen. Damit sollten die wichtigen Informationen auch zur Verfügung stehen, wenn z.B. ein Feuerwehr-Kommandant nicht vor Ort ist, ausfallen sollte oder gerade ein Wechsel in der Führung stattgefunden hat.

Schlüsselement für einen zukünftigen Einsatz der Einsatzdienste betrachtet. Im Frühling 2007 wurde die Notfallplanung den Einsatzdiensten übergeben (ECOSAFE 2007b). Die Inhaltsstruktur der Notfallplanung orientiert sich an den Bedürfnissen der Einsatzdienste, wobei jene Exemplare, die den betroffenen Gemeinden ausgehändigt wurden, ein Hauptkapitel mehr umfassen (Kap. „Massnahmen und Einsatzpläne“; Tab. 1).

Tab. 1: Inhaltsstruktur Notfallplanung „Engelberger Aa“
Tab. 1: Table of contents emergency plan “Engelberger Aa”

Hauptkapitel	Unterkapitel
ORGANISATION	Alarmierung, Organigramm, Adressen, Kommunikation, Einsatzmittel, Formulare
GRUNDLAGEN	Allgemein, Gefahren, Gefahrenkarten, Gefährdete Objekte
FÜHRUNG / EINSATZ	Kantonaler Führungsstab (KFS) / Gemeindeführungsstab (GFS) Polizei / Verkehr, Feuerwehr / Feuerwehrenspektorat / Kantonale Einsatzleitung (KEL), Dammtrouillen, Wasserbauer, Genie, Infodienst, Institutionen / Private
Nur Dossier Gemeinden: MASSNAHMEN UND EINSATZPLÄNE	Szenarien Jährlichkeit HQ 0-30, Szenarien Jährlichkeit HQ 30-100, Szenarien Jährlichkeit HQ 100-300, Szenarien Jährlichkeit EHQ (>300), Szenarien Jährlichkeit Dambruch, Einsatzpläne (auf Objektenebene)

Das erste Hauptkapitel „Organisation“ umfasst die organisatorischen Aspekte der Notfallplanung. Hervorzuheben ist v.a. der detaillierte Alarm- und Einsatzablauf (Abb. 3). Dieser basiert auf der theoretischen Annahme, wie das Ereignis ablaufen wird und vor allem auf den Erfahrungen, die in vergangenen Ereignissen gesammelt werden konnten.

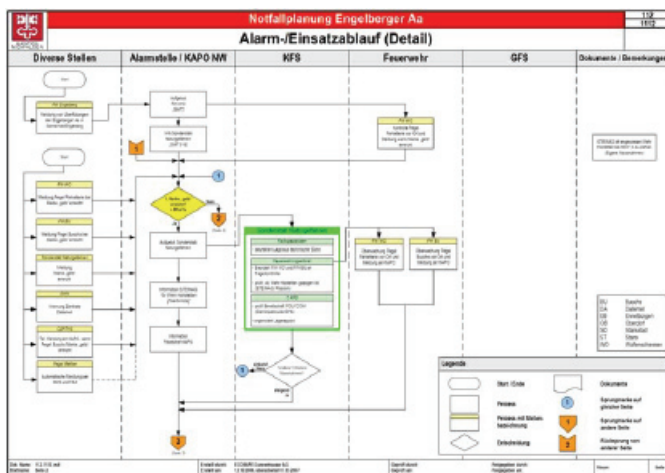


Abb. 3: Detaillierter Alarm- und Einsatzablauf (Ausschnitt)
Fig. 3: Detailed alarm and action plan (extract)

Das zweite Hauptkapitel „Grundlagen“ enthält einsatzrelevante Grundlageninformationen wie Angaben zur Flusskilometrierung, zu den Risikoabflussmengen, zu den kritischen Flussbereichen und den Überschwemmungsintensitäten sowie den gefährdeten Objekten.

Im dritten Hauptkapitel „Führung / Einsatz“ liegt der Fokus auf Informationen, die für einzelne Organisationen relevant sind. Hervorzuheben sind dabei die organisationsspezifischen Hochwasserabläufe, die aufzeigen, welche Massnahmen durch die jeweiligen Organisationen bei welcher Abflussmenge (m^3/s) vollzogen werden müssen (Abb. 4).

Notfallplanung Engelberger Aa							312.0B 1312.0B		
Hochwasserablauf der Gemeinde Oberdorf							0.001		
Bestandteile der verschiedenen Phasen (in %): 100: Vorbereitungen vor ca. 20 – 25 m³/s bereits abgeschlossen. Der Anstieg des Abflusses liegt im Bereich 10 – 25 m³/s 100: Effektive Werte (ohne Reserven/Vorlauf)									
Abfluss m³/s	bei m³/s (Page/ Bausch)	Gemeinde	Personen / Objekte / Minut:	Gefährdung:	Massnahmen / Aufrag:	Auslösung:	Ausführung:	Aktuelle Personen:	Dokument:
bei 100 m³/s	100	Oberdorf	Anwesen Damm	Geringes Risikoabflussmenge	Dammpatrouille gerades koordiniertes Auftrag	C-KFS	FW	3	112/112; 221/1322.1; 341/1341.1; 342/1342.1; 343/1343.1; 344/1344.1 - 344.2/1344.2
	100	Oberdorf	Wald Hochstein (im S.22)	Verkeilungsgefahr	Beobachtung und Überwachung der Blocken; ab kritischer Wassermenge Dammbrüche melden Anruf Verkeilungsgefahr; wenn Freiblock kleiner 7.0 m; schwere Baumstämme überlie Bagger Ladungen über KFS anfordern	GFS	FW	3	132; 222/1322.1; 1334.0B
bei 110 m³/s			Information Zugriff auf die Karte				STAB UNO		
	120	Oberdorf	Wald Hochstein (im S.22)	Verkeilungsgefahr	Falls erforderlich; Schwereholz und Teilscholz entfernen Eingelassenes Teilscholz über	GFS	FW	3	132; 222/1322.1; 1334.0B
	130	Oberdorf	rechtes Ufer (im 7.4 – 7.5)	Überschnecke	--	--	--	--	221/1321.1
130	Oberdorf	rechtes Ufer (gemeine Gemeindegebiet ab im 7.4 Flussbreite)	--	Begren Information durch Gemeinde; z.B. - Fortwirkung Evaluation - Wertgegenstände in höher gelagerte Stockwerke - Autokennzeichen - Autokennzeichen - nicht überflutet werden	GFS	FW	--	1371; 1372; 1373.1 - 1373.4; 221/1321.1	

Abb. 4: Beispiel eines Hochwasserablaufes einer Gemeinde (Ausschnitt)
Fig. 4: Example of municipality-based flooding action plan (extract)

Das vierte Hauptkapitel „Massnahmen und Einsatzpläne“ ist schliesslich nur in den gemeindespezifischen Dossiers enthalten. Es beinhaltet eine Zusammenstellung aller Massnahmen jeder Gemeinde, inkl. der Einsatzpläne auf der Ebene Einzelobjekt.

Notfallplanung „Naturgefahren“ der Gemeinde Weggis (Kt. Luzern)

Die Gemeinde Weggis liegt am nördlichen Ufer des Vierwaldstättersees (Abb. 5). Sie wurde im August 2005 durch Starkregen und dadurch ausgelöste Sekundäreignisse (Hangrutsche, lokale Überschwemmungen, etc.) stark in Mitleidenschaft gezogen.

Als Reaktion wurde die Notfallplanung “Naturgefahren” initiiert, um die gemachten Erfahrungen strukturiert aufzuarbeiten und dadurch besser auf zukünftige Ereignisse vorbereitet zu sein. Im Gegensatz zur Notfallplanung „Engelberger Aa“ weist diese Planung eine Modulstruktur auf (Tab. 2), die sich an den Notfallplanungen bei den Schweizer Nationalstrassen orientiert.

Durch die modular Struktur kann die Abfolge eines Einsatzes in der Notfallplanung abgebildet werden: die Ereignisbewältigung beginnt mit der Alarmierung der Einsatzkräfte (Modul 0), die Bescheid wissen müssen über die möglichen Interventionswege (Modul 1) sowie die Organisation des Schadenplatzes (Modul 2). Für eine Übersicht über das Einsatzgebiet sind Detailpläne des Einsatzgebietes relevant (Modul 3).



Abb. 5: Geographische Lage der Gemeinde Weggis, Quelle: www.wikipedia.ch
Fig. 5: Geographical location of Weggis, source: www.wikipedia.ch

Auf der Basis all dieser Informationen können der Situation angepasst Massnahmen geplant werden (Modul 5). Diese umfassen z.B. die Rekognoszierung vor Ort mittels definierter Kontrollroute (Abb. 6), allfällige Evakuationen (Abb. 7) sowie Massnahmen auf Ebene des Einzelobjektes. Im Modul 6 „Einsatzleitung“ wird die Organisation der Einsatzkräfte und deren Koordination aufgezeigt. Das Verkehrsmanagement, beispielsweise Strassensperren und Umleitungen, ist schliesslich Gegenstand des siebten Moduls. Während das Modul „Risikokultur/Risikoleitbild“ einem Spezialwunsch der Gemeinde Weggis entspricht, sollte das neunte Modul „Mutationen/Unterhalt“ immer Gegenstand einer umfassenden Notfallplanung sein. Es gibt Auskunft zum Verteiler der Dossiers und zum Vorgehen bei Mutationen des Inhaltes.

Tab. 2: Inhaltsstruktur Notfallplanung „Naturgefahren“, Weggis
Tab. 2: Table of contents emergency plan “Naturgefahren”, Weggis

Modul	Inhalt
0 ALARMIERUNG	Detaillierter Alarm- und Einsatzablauf (analog Notfallplanung „Engelberger Aa, Abb. 3) und Massnahmen-Checkliste
1 INTERVENTIONSWEGE	Karte mit den Zufahrten und den Strassen mit Beschränkungen (z.B. nur mit 2-Achser befahrbar). Standorte für Baggereinsätze und Standorte Helikopterlandeplätze
2 SCHADENPLATZ	Führungsabschnitte, in Abhängigkeit des Ereignis(verlaufs)
3 DETAILPLÄNE	Trafostationen, Verteilerkabinen, Pumpwerke, Abwasserreinigungsanlagen
4 UMWELT	Keine Dokumente
5 INTERVENTION	Kontrollroute bei Voralarm, Evakuationspläne, Einsatzpläne auf Ebene Einzelobjekt
6 EINSATZLEITUNG	Wichtige Telephonnummern
7 VERKEHRSMANAGEMENT	Grundlagen zum Verkehrsmanagement im Ereignisfall
8 RISIKOKULTUR / -LEITBILD	Keine Dokumente
9 MUTATIONEN / UNTERHALT	Meldeformular für Mutationen, Verteilerliste



Abb. 6: Kontrollrouten der Notfallplanung „Naturgefahren“ in Weggis, geordnet nach Prioritäten
 Fig. 6: Section patrol of the emergency plan “Natural hazards” in Weggis, arranged by priorities

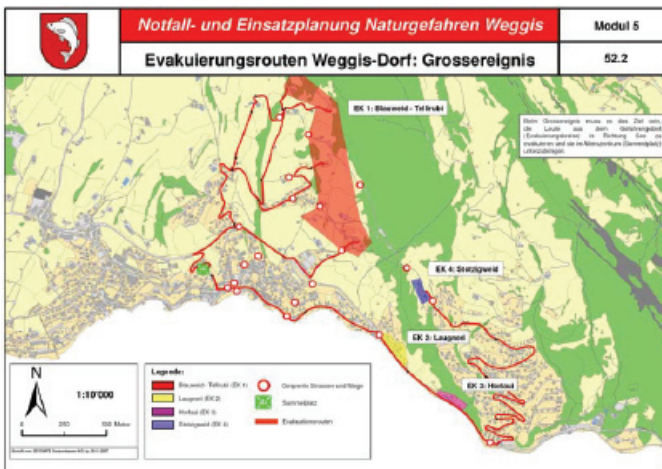


Abb. 7: Evakuierungsbereiche und die vorgeschlagenen Evakuationsrouten
 Fig. 7: Area of evacuation and the proposed evacuation paths

FAZIT

In der Schweiz existieren gegenwärtig einige wenige Notfallplanungen für die Ereignisbewältigung bei Naturgefahren. Beispielhaft wurden zwei Notfallplanungen, die Notfallplanung „Engelberger Aa“ und die Notfallplanung „Naturgefahren Weggis“ vorgestellt. Diese unterscheiden sich in ihrer Struktur (Engelberger Aa: an den Bedürfnissen

der Organisationen orientiert; Naturgefahren Weggis: einsatzorientiert mit Modulen) und inhaltlich. Die Notfallplanung „Engelberger Aa“ stellt dabei eine sehr umfassende Arbeit mit vielen Hintergrund- und Grundlageninformationen dar, während das Dossier „Naturgefahren Weggis“ auf die absolut nötigsten Dokumente für den Ernstfall beschränkt ist.

Bereits diese Unterschiede machen deutlich, dass in der Schweiz keine Vorgaben (z.B. als Leitfaden) existieren, die umschreiben, wie eine Notfallplanung bei Naturgefahren aussehen sollte. Dies ist überraschend, da bereits seit längerem auch von staatlichen Beratergremien (PLANAT 2004a; PLANAT 2006b) der gezielte Einsatz von Notfallplanungen im Rahmen des integralen Risikomanagements gefordert wird.

Auf der Basis der existierenden Notfallplanungen (bei Naturgefahren und auch aus anderen Bereichen wie z.B. stationären Anlagen und Nationalstrassen) kann abgeleitet werden, welche Inhalte im Rahmen einer Notfallplanung Naturgefahren sicher behandelt werden müssen. Dies sind

- Alarmierung
- Sofortmassnahmen
- Intervention
- Organisation der Einsatzkräfte
- Information der Öffentlichkeit sowie der Medien und Presse

Liegt eine ausgearbeitete Notfallplanung vor, ist ihr Nutzen schliesslich nicht nur auf den unmittelbaren Einsatz im Ernstfall beschränkt. Durch das strukturierte Vorgehen bei der Erarbeitung stellt die Notfallplanung insbesondere eine gute „Trockenübung“ dar, die eine vertiefte Auseinandersetzung mit möglichen Entwicklungen eines Ernstfalls ermöglicht. Das erarbeitete Dossier ist ebenso nützlich als „best-practice“-Leitfaden für den Ernstfall sowie für Ausbildungszwecke.

In der Schweiz sollte nun als nächster Schritt auf eidgenössischer Ebene ein Leitfaden für die Erstellung von Notfallplanungen bei Naturgefahren entwickelt werden. Dabei geht es darum, Inhalte zu definieren und festzulegen, wie diese aufgearbeitet werden müssen. Damit soll ein einheitlicher Qualitätsstandard bei Notfallplanungen erreicht werden. Im Kanton Nidwalden und im Kanton Bern laufen gegenwärtig solche Projekte. Beide sollten in diesem Jahr abgeschlossen werden, so dass die Leitfäden für die Erarbeitung von Notfallplänen zur Verfügung stehen sollten.

LITERATUR

Berger, E. (1990). "Einführung in die Störfallverordnung." Umweltrecht in der Praxis Vol.(1): 27-45.

BUWAL (1991). Handbuch I zur Störfallverordnung StFV. Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen und Sonderabfällen. Bern, BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: 74.

BUWAL (1992). Erläuterungen zur Störfallverordnung: 37.

BUWAL (1996). Richtlinien: Beurteilungskriterien I zur Störfallverordnung StFV. Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen. Vollzug Umwelt. Bern, BUWAL, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft: 13.

ECOSAFE (2007a). Notfall- und Einsatzplanung "Naturgefahren Weggis", Gemeinde Weggis.

ECOSAFE (2007b). Umsetzung Notfallplanung im Kanton Nidwalden. Bericht zum Vorprojekt, ECOSAFE Gunzenhauser AG.

ECOSAFE und GeoTeam (2007). Notfallplanung "Engelberger Aa", Kanton Nidwalden.

- Fritsche, M. (2007). "Evakuierung Rheintal: Interventionsplanung und Beübung." FAN Agenda **Vol.(1)**: 12-14, http://www.cenat.ch/ressources/planat_product_de_927.pdf.
- Guler, A., H. Romang, et al. (2007). "Die Interventionskarte - von der Gefahrenabwehr zum Einsatz im Ernstfall." FAN Agenda **Vol.(1)**: 21-23, http://www.cenat.ch/ressources/planat_product_de_927.pdf.
- Hollenstein, K. (1997). Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. Zürich, vdf.
- Hollenstein, K., H. Merz, et al. (2004). Förderung des risikobasierten Planens und Handelns bei der Naturgefahrenabwehr. Zürich, ETHZ.
- PLANAT (2004a). Synthesebericht. Strategie Naturgefahren Schweiz: Umsetzung des Beschlusses des Bundesrates vom 20. August 2003. Biel, PLANAT, Plattform Naturgefahren Schweiz: 79.
- PLANAT (2004b). Vision und Strategie - Sicherheit vor Naturgefahren. PLANAT Reihe 1. Biel, PLANAT, Plattform Naturgefahren Schweiz: 26.
- PLANAT. (2006a). "Der Kreislauf des integralen Risikomanagements." Plattform Naturgefahren Schweiz Retrieved 25. August, 2006, from <http://www.planat.ch/printview.php?userhash=13952810&l=d&navID=5>.
- PLANAT. (2006b). "Naturgefahren: so wehrlos sind wir nicht." Plattform Naturgefahren Schweiz Retrieved 25. August, 2006, from <http://www.planat.ch>.
- Plattner, T., K. Hollenstein, et al. (2005). Risikobewertung bei Naturgefahren. Schlussbericht. Biel, PLANAT, Plattform Naturgefahren Schweiz.
- RISKAT (2002). Projekt "Notorganisation XXI Nidwalden": Risikokataster Nidwalden. Bericht der Arbeitsgruppe "RISKAT", Justiz- und Sicherheitsdirektion, Kt. Nidwalden.
- Romang, H., J. Barandun, et al. (2007). "Von der Gefahrenkarte zum Einsatz im Ereignisfall." Schweizerische Feuerwehr-Zeitung **Vol.(2)**: 32-35.
- Romang, H. und A. Guler (2006a). Interventionskarte: Vom Wissen zum Handeln. Projekt Interventionskarte. Schlussbericht. Davos, tur gmbh.
- Romang, H. und A. Guler (2006b). Pilotprojekt Interventionskarte: Schlussbericht, Gebäudeversicherung Graubünden, Amt für Wald Graubünden.
- Seiler, J. und D. Bumann (2007). "Notfallplanung Hochwasser Kanton Wallis - EDV-Tool für die Gemeinden." FAN Agenda **Vol.(1)**: 29-32, http://www.cenat.ch/ressources/planat_product_de_927.pdf.

WERKZEUGE ZUR BEWÄLTIGUNG VON HOCHWASSER- UND MURGANGEREIGNISSEN IN KLEINEREN EINZUGSGEBIETEN

EMERGENCY MANAGEMENT TOOLS FOR FLOODS AND DEBRIS FLOW EVENTS IN SMALLER CATCHMENTS

H. Romang¹, C. Wilhelm², V. Frede³, D. Béro⁴, C. Hegg¹, J. Rhyner¹

ZUSAMMENFASSUNG

Hochwasser und Murgänge verursachen in der Schweiz immer wieder grosse Schäden. Diese können durch präventive Massnahmen reduziert werden, aber auch Interventionen wie der mobile Hochwasserschutz sind notwendig. Besonders in kleineren Einzugsgebieten stellt das Ereignismanagement wegen der kurzen Reaktionszeiten eine spezielle Herausforderung dar. Zur Stärkung von Warnung und Intervention gerade in solchen Gebieten wurden deshalb folgende zwei Instrumente in Pilotgebieten in der Schweiz entwickelt. Das Informations- und Warnsystem IFKIS-Hydro für hydrologische Gefahren in Einzugsgebieten im Bereich von 1 bis 1000 km² liefert die Informationen zur Beurteilung der aktuellen und absehbaren Gefahrensituation. Die Interventionskarte unterstützt die Einsatzkräfte vor Ort bei ihrer Arbeit wie der Planung und Durchführung von Einsätzen oder der Festlegung von Prioritäten.

Keywords: Notfallplanung, Warnsystem, Intervention, Gefahrenkarte

ABSTRACT

Floods and debris flows frequently cause fatalities and significant economic losses in Switzerland. In order to reduce such negative effects, not only preventive measures but also interventions such as mobile mitigation measures are required. In the case of small catchments with short reaction times, good emergency management poses a genuine challenge. This challenge may be met largely by the following tools that were developed in several test sites in Switzerland. First, an information and warning system called IFKIS-Hydro was developed and applied for hydrological hazards in small and medium scale catchments. It provides information about the evolution of possibly hazardous situations. Second, the intervention plan was elaborated. It provides safety managers and rescue forces with the information needed to plan and organize missions and to give priority to important objects at risk.

Keywords: emergency management, early warning system, intervention, hazard map

¹ WSL Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Flüelästrasse 11, CH-7260 Davos, Schweiz, (Tel.: +41-81-417-03-61; Fax: +41-81-417-01-10; email: romang@slf.ch)

² Amt für Wald Graubünden, Chur, Schweiz

³ Departement Bau und Umwelt, Glarus, Schweiz

⁴ Dienststelle für Strassen- und Flussbau des Kantons Wallis, Sion, Schweiz

EINFÜHRUNG

Hochwasser und Murgänge verursachen in der Schweiz jährlich Schäden in Millionenhöhe (Schmid et al. 2004). Zur Reduktion dieser Schäden stehen verschiedene Massnahmen zur Verfügung, die in der Schweiz im so genannten integralen Risikomanagement, bestehend aus Prävention, Intervention und Wiederherstellung, zusammengefasst werden (PLANAT 2004). Dabei blickt die Prävention auf eine lange Tradition zurück (z.B. eidgenössisches Forstgesetz 1876). Demgegenüber sind organisatorische Massnahmen wie Evakuierung, Strassensperrungen oder der mobile Hochwasserschutz eher neueren Datums. Mit diesen Interventionen können die Folgen eines trotz vorbeugenden Massnahmen auftretenden Schadenereignisses gemindert werden. Sie spielen heute eine zunehmend wichtige Rolle, da zum einen bauliche und biologische Schutzmassnahmen technischen, finanziellen und ökologischen Grenzen unterliegen, und zum andern raumplanerische Massnahmen zur Kontrolle und Reduktion des Schadenpotenzials erst langfristig greifen können.

Interventionen im Ereignisfall stellen für die Einsatzkräfte vor Ort eine besondere Herausforderung dar. Häufig handelt es sich um eher seltene und damit wenig vertraute Ereignisse. Zudem sind gerade in kleineren Einzugsgebieten die Reaktionszeiten kurz. Nicht zuletzt ist auch die physische und psychische Belastung der Einsatzkräfte nicht zu unterschätzen. Unter dem Eindruck der Hochwasserereignisse der letzten Jahre (Bezzola und Hegg 2007) werden deshalb in der Schweiz vermehrt Instrumente entwickelt, welche das Ereignismanagement stärken sollen. Dabei stehen zum einen Systeme im Vordergrund, welche die Erfassung, Verarbeitung und Verbreitung von Informationen vor und während Ereignissen verbessern und als (Früh-) Warnsysteme wirken können, zum andern Instrumente und Entscheidungshilfen, welche die Arbeit vor und während eines Einsatzes in einem betroffenen Gebiet unterstützen.

Deshalb wurde in Ergänzung zu bereits bestehenden hydrologischen Prognosesystemen für grössere Flusseinzugsgebiete (Bürgi et al. 2007) in Pilotgebieten ein Warn- und Informationssystem mit Fokus auf kleinere Einzugsgebiete im Bereich von 1-1'000 km² entwickelt (Romang et al. 2007). Das verwendete Konzept baut auf den guten Erfahrungen der Lawinenwarnung mit dem System IFKIS (Interkantonales Frühwarn- und Kriseninformationssystem, Bründl et al. 2004) auf und wird deshalb IFKIS-Hydro genannt. Zeitgleich wurde am Beispiel der Gemeinde Klosters (Kanton Graubünden) die so genannte Interventionskarte als Instrument für die Einsatzkräfte vor Ort entwickelt (Romang et al. 2006). Auch in andern Gebieten, so etwa im Kanton Wallis, wurde das Thema Krisenmanagement systematisch angegangen (Seiler und Bumann 2007).

IFKIS – KONZEPT EINES INFORMATIONEN- UND WARNSYSTEMS

Auslöser der Entwicklung von IFKIS-Hydro war das Bedürfnis nach besseren hydrologischen Informationen zur Ereignisbewältigung in kleineren Einzugsgebieten. Mit dem System IFKIS stand eine bewährte und schweizweit akzeptierte Lösung (Lawinenwarndienst) für ähnliche Probleme, wenn auch für einen anderen Gefahrenprozess, zur Verfügung. Deshalb bildet IFKIS auch für den hydrologischen Bereich die konzeptionelle Basis. Es ermöglicht die standardisierte Erfassung, Verarbeitung, Interpretation und Verbreitung von Informationen. Die einzelnen Elemente (Abbildung 1) werden angepasst an die jeweilige Situation, insbesondere an die Verfügbarkeit entsprechender Daten, näher festgelegt.

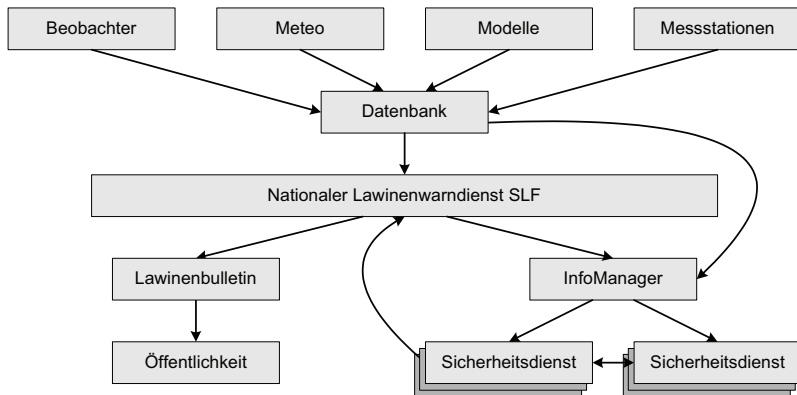


Abb. 1: Die Struktur von IFKIS in der Lawinenwarnung.
 Fig. 1: The design of IFKIS in avalanche warning.

IFKIS-Hydro verfügt vorläufig über keinen zentralen Warndienst und Dienstleistungen wie die Aufbereitung der Daten, die Beraterfunktion und die Information der Öffentlichkeit können nicht angeboten werden. Dies ist durch den Pilotcharakter der bisherigen Arbeiten begründet, weist aber klar auf anstehende Bedürfnisse hin. Insbesondere die Sicherheitsverantwortlichen vor Ort, welche die Verantwortung für die Lagebeurteilung, die Entscheide und deren Umsetzung tragen und somit an der Schnittstelle von Warnung und Intervention stehen, sind auf fachlichen Austausch untereinander und mit einer Fachstelle angewiesen.

Die übrigen Elemente von IFKIS-Hydro können wie folgt charakterisiert werden:

- Beobachter: Lokale Informationen spielen bei hydrologischen Extremereignissen in kleineren Gebieten eine wichtige Rolle, da die kleinräumige Variabilität gross sein kann. Beobachter können hier flexibel eingesetzt werden, schlecht messbare Prozessgrössen wie Hangbewegungen, Geschiebe- oder Schwemmholtztransport aber auch kurzfristige und kleinräumige Wetterentwicklungen (Gewitter) im Gelände erfassen, bewerten und an die Einsatzzentrale übermitteln. und zugleich die Verbindung zur Intervention sicherstellen Zugleich können sie beispielsweise als Warnposten die Verbindung zur Intervention sicherstellen Beobachter sind spezifisch ausgebildet und mit den Lokalitäten vertraut.
- Meteo: Meteorologische Informationen bilden auch für IFKIS-Hydro eine wichtige Basis. Grundsätzlich bezieht das System bestehende Meteo-Angebote ein, welche aber zusätzlich auf die Bedürfnisse eines Warnsystems ausgerichtet werden können.
- Modelle: Prozessmodelle, hier vor allem Abflussprognosemodelle, können eine wesentliche Rolle spielen. So wurde für das Einzugsgebiet der Linth im Kanton Glarus ein Abflussprognosemodell eingerichtet. Es ist aber festzuhalten, dass IFKIS-Hydro grundsätzlich weder von einem implementierten Abflussprognosemodell an sich noch von einem bestimmten Modell abhängig ist.
- Messtationen: Eine der Stärken von IFKIS-Hydro liegt in der Flexibilität, welche den Einbezug von Daten weitgehend unabhängig ihrer Herkunft erlaubt, sofern gewisse Standards eingehalten sind. Diese Stärke zeigt sich gerade beim Einbezug von Messstationen, wo vorzugsweise auf bestehende Messnetze zurückgegriffen wird.

- InfoManager: Die web-basierte Plattform bietet Zugriff auf die benötigten Daten und Informationen vom Wetterbericht über die Messwerte aus dem Gebiet bis zu den Beobachtungen (Abbildung 2). Im Weiteren erlaubt sie den Zugriff auf gespeicherte Daten und ermöglicht den Informationsaustausch mit Nachbargebieten. Die einheitliche Plattform einschliesslich der Speicherung früherer Daten (Erfahrungen) und deren Bezug für künftige Entscheidungen ist ein wesentliches Element im Konzept von IFKIS.

IFKIS	Messtelle	Pegel	Pegel 1	Durchfluss	Trübung	Geschiebe	Datum	Zeit	edit	del.
Hydro		mm	mm	m³/s						
Meteo	Dépotaire du golf	100					04.08.2006	07:30		X
Prognose	Golf port amont	100					04.08.2006	07:30		X
Letzte Werte	Le Flameau	100					01.01.2007	13:30		X
Verlauf	Guinard agence	150			mässig		03.03.2007	13:30		X
Niederschlag	Mondzeu Gokittaz	100			mässig		03.03.2007	13:30		X
Letzte Werte	Mondzeu Abati	150			mässig		03.03.2007	13:30		X
Verlauf	La Tinte	100			mässig		03.03.2007	13:30		X
Pegel / Abfluss	Mondzeu avant l'hôtel	100			mässig		03.03.2007	13:30		X
Letzte Werte	Mérot	100			mässig		03.03.2007	13:30		X
Verlauf	STEP	200			mässig		03.03.2007	13:30		X
PfQ-Beziehung	Fontanelle dessus	350			gering	nein	03.03.2007	09:00		X
Beobachtungen	Pont de Bramois	600			gering	nein	03.03.2007	09:00		X
Letzte Werte	Route cantonale/c. des	350			gering	nein	03.03.2007	09:00		X
Verlauf	Forcles	350			gering	nein	03.03.2007	09:00		X
Simulation										
Verlauf										

Abb. 2: Erfassung von Beobachterdaten im InfoManager (Beispiel Pilotgebiet Verbier).
 Fig. 2: Entry of observed data in the InfoManager (example from the test-site Verbier).

IFKIS-HYDRO – PILOTGEBIET GLARUS

Von der Linth, einem Gebirgsfluss der Ostschweiz, mit einem Einzugsgebiet von rund 600 km², geht für verschiedene flussnahe Siedlungs- und Industriegebiete im Kanton Glarus eine erhebliche Hochwassergefährdung aus. Um die Interventionsmassnahmen gezielter einsetzen zu können, galt es beim Projektstart im Jahr 2004 in erster Priorität die im Gebiet vorhandenen, aber schlecht zugänglichen Messdaten von Niederschlag und Abfluss in einem System zu integrieren und zu präsentieren. Dazu wurde der InfoManager verwendet, der zunächst auf die hydrologischen Gefahren angepasst werden musste. Ferner konnte ein Abflussprognosemodell implementiert werden (Zappa et al. 2006). Dazu wurde eine für den operationellen Betrieb bestimmte Weiterentwicklung des PREVAH-Modellsystems (Precipitation-Runoff-Evapotranspiration HRU related Model) eingesetzt.

Im operationellen Betrieb läuft PREVAH heute auf einem LINUX-Rechner. Fünf Minuten nach Beginn jeder neuen Stunde werden die Niederschlagsdaten der automatischen Messstationen der MeteoSchweiz und des IMIS Messnetzes (SLF) sowie die Abflussdaten des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) und des Kantons Glarus abgefragt. Im Rahmen des Pilotprojektes Glarus wird zudem erstmals eine koordinierte Verwertung der Daten der Messnetze des BAFU, der MeteoSchweiz und des IMIS (SLF) erzielt. Die neuesten Daten werden anschliessend für das Einzugsgebiet räumlich interpoliert. Der eigentliche Modelllauf

besteht in einer Simulation der letzten 12 Tage bis zu den letzten interpolierten Messwerten. Damit werden die Grundlagen für die Prognose erstellt. Bei Bedarf lässt sich das Modell nacheichen. Ausgewählte Simulationsergebnisse (Abfluss, Gebietsniederschlag, Verdunstung, Schneeschmelze und mittlerer Sättigungszustand des Bodens) stehen etwa vier Minuten nach der automatischen Auslösung eines Modelllaufes im InfoManager zur Verfügung. Nach einer Lagebeurteilung können die Verantwortlichen weitere Schritte einleiten und beispielsweise den Krisenstab voralarmieren.

Die Prognoseversion von PREVAH greift via FTP auf die Modellresultate zurück und wird lokal betrieben. So können die Sicherheitsverantwortlichen bei ungewisser Wetterentwicklung eine Reihe von Szenarien durchspielen und erhalten einen Überblick über mögliche Entwicklungen der Pegelstände (Abbildung 3). Die Eingabe der vorhergesagten meteorologischen Elemente erfolgt zurzeit über eine Eingabemaske. Eine automatische Verknüpfung mit probabilistischen Wetterprognosen ist in Arbeit (Zappa und Vogt 2007).

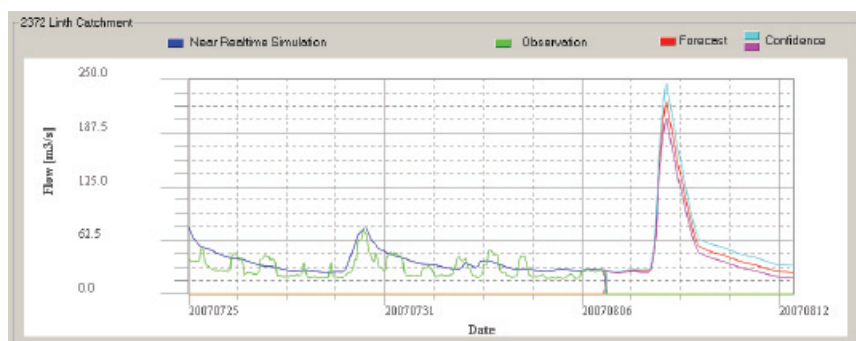


Abb. 3: Beispiel einer möglichen Abflussprognose und Szenarienrechnung für die Linth in Mollis im August 2007 (Initialisierung der Prognose am 7.8.2007 um 2:00 Uhr). Die gemessene Abflusspize am 8.8.2007 betrug ungefähr $220 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Die Darstellung entspricht einer „best-fit“ Variante nach dem Ereignis.

Fig. 3: Example of a discharge simulation for the Linth river in Mollis in August 2007 (initiation of the model run on August 7th, 2 o'clock AM). The measured peak discharge on August 8th was about $220 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. The graph represents a “best-fit” option modelled after the event.

IFKIS-Hydro wird im Kanton Glarus seit 2006 erfolgreich eingesetzt. Massgebend für den Erfolg ist nicht nur die technische Implementierung des Systems mit dem Prognosemodell und der einheitlichen Plattform als zentrale Elemente, sondern auch die organisatorische und personelle Umsetzung. Alle Beteiligten vor Ort sind sich ihrer Rolle und Verantwortung bewusst. Das aktive Ereignisgeschehen mit einigen grösseren Abflüssen seit der Einführung des Systems und das Engagement der Beteiligten geben für die Weiterentwicklung von IFKIS-Hydro wertvolle Impulse.

Beispielhaft für die Umsetzung im Ereignisfall ist die Chronologie des Hochwasserereignisses vom 8./9. August 2007:

- Aufgrund der Meteo-Prognosen wurden mit PREVAH Abflussprognoseszenarien erstellt (Ingenieurbüro A.+T. Marty in Ziegelbrücke im Auftrag des Kantons Glarus). Diese Prognosen zeigten für die Nacht vom 8. auf den 9. August ein wahrscheinliches Überschreiten der Schädengrenze an.

- Am 8. August fand um 17 Uhr eine Lagebesprechung mit den Kadern der lokalen Feuerwehren und den kantonalen Verantwortlichen statt. Gemeinsam wurde beschlossen, vorsorgliche Massnahmen zu ergreifen.
- Die Feuerwehren wurden aufgeboten und an der Linth wurden an den bekannten Schwachstellen Massnahmen ergriffen. Dabei handelte es sich im Wesentlichen um die Installation von Schlauchsystemen (Beaver©) und Sandsäcken sowie um die Information von Anwohnern und Gewerbebetrieben.
- Der Anstieg der Linth erfolgte schneller als aufgrund der Prognose erwartet. Trotzdem waren die Interventionsmassnahmen weitgehend fertig gestellt, als um 23 Uhr der Höchststand der Linth erreicht war. Er lag knapp unter der Schadengrenze.
- Parallel dazu wurde die Entwicklung der Lage mit Hilfe des InfoManagers und der Simulationen laufend beurteilt.
- Am 9. August konnte Entwarnung gegeben werden und in den Folgetagen wurden die Massnahmen abgebaut.

IKFIS-HYDRO – PILOTGEBIET WALLIS

Der Kanton Wallis im Südwesten der Schweiz ist morphologisch geprägt durch das Haupttal der Rhone und die zahlreichen gebirgigen Seitentäler mit Berggipfeln bis über 4000 m ü. M. IFKIS-Hydro konzentrierte sich auf die kleinen und häufig steilen Einzugsgebiete in diesen Seitentälern. Bewusst wurden Gebiete gewählt, bei denen aufgrund der Grösse erwartet werden musste, dass Warnungen als solche an ihre Grenzen stossen werden. Unabhängig von IFKIS-Hydro wurde für die Rhone das Prognosesystem MINERVE entwickelt (Raboud et al. 2001).

Wegen dieser Kleinräumigkeit stand im Wallis die Erfassung lokaler Daten im Vordergrund. Diese sollten primär durch Beobachter erhoben werden, sekundär wurde zudem die Verdichtung von Messnetzen geprüft. Die lokalen Beobachtungen ergänzen, korrigieren und konkretisieren die Angaben auf räumlich gröberer Stufe (z.B. Niederschlagsprognosen). Sowohl die regionalen als auch die lokalen Informationen sind wichtig. Weil aber letztere durch die Arbeit der Beobachter etwa in einer Gemeinde oder einer Talschaft stark beeinflusst werden können, wird im Konzept von IFKIS-Hydro der Beobachtung vor Ort generell, speziell in den Pilotgebieten des Kantons Wallis, ein grosses Gewicht beigemessen.

In den insgesamt sechs Pilotgebieten wurde zunächst die Gefahren- und Risikosituation geprüft. Wo werden genauere Kenntnisse hinsichtlich möglicher Ereignisse benötigt? Angesichts der meist in grosser Zahl vorhandenen Fliessgewässer und potenziellen Gefahrenstellen in den Pilotgebieten ist eine Fokussierung unabdingbar. Weiter wurde geprüft, welche Informationen und Netzwerke für IFKIS-Hydro verwendet werden können. Dabei ging es beispielsweise um Messstationen, welche nicht nur von staatlichen Stellen sondern auch von Privaten wie etwa den Kraftwerksgesellschaften betrieben werden. Schliesslich wurde als Herzstück die Situation und die Möglichkeiten der Beobachtung mit den Verantwortlichen vor Ort diskutiert und konkrete Beobachtungsstandorte und Vorgehensweisen wurden festgelegt.

Bei den Beobachtungen wird zwischen regelmässigen (z.B. jährlichen) und unregelmässigen (im Ereignisfall) Beobachtungen unterschieden. Mit der regelmässigen Beobachtung werden Veränderungen im Gebiet erfasst. Typische Stellen für regelmässige Beobachtungen sind:

- Gebiete mit bekannten und aktiven Hangbewegungen
- Wichtige Geschiebedeponien im Gerinne (z.B. Ablagerungen von kleinen Ereignissen, Einstoss durch Runsen oder Sturzprozesse)
- Stellen mit erhöhtem Schwemmholtzpotenzial (z.B. aufgrund Waldzustand, bei Hanginstabilitäten oder in / unterhalb von Lawinenzügen)
- Einstoss grosser Lawinen mit der Gefahr von Verklausungen
- Schutzbauwerke, speziell wenn sich ihre Funktionsfähigkeit kurzfristig ändern kann (z.B. Rückhaltebecken und ihre mögliche Vorverfüllung durch kleinere Ereignisse)

Im Fall eines Ereignisses sollen Beobachtungen das Ereignis abbilden und trotz der knappen Zeit helfen, die aktuelle Situation zu bewältigen und die mögliche Entwicklung abzuschätzen. An vorgängig evaluierten Stellen können beispielsweise Pegelstandmarken abgelesen und Angaben zum laufenden Prozess, z.B. Holz- und Geschiebeaufkommen, erhoben werden (Abbildung 4). Wegen der knappen Zeit im Ereignisfall, den speziellen organisatorischen Ansprüchen und nicht zuletzt den hohen Anforderungen an die Qualität der Daten und ihrer Interpretation ist ein strukturiertes Vorgehen notwendig (Romang et al. 2007).



Abb. 4: Manuelle Pegelmessstelle im Gebiet Simplon Süd
Fig. 4: Human readable water level control point in the test area Simplon Süd

Das Projekt und damit auch die Umsetzung wurde zeitlich gestaffelt realisiert. In den ersten zwei Pilotgebieten wurde IFKIS-Hydro im Herbst 2005 eingeführt. Hier konnten auch schon erste Erfahrungen gesammelt werden. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

- Der Zugriff auf alle Informationen über eine einheitliche Plattform erleichtert die Arbeit wesentlich.
- Warnung und Intervention sind allgemein stark vom Faktor Mensch abhängig. Dies wird in kleinen Gebieten mit einer starken Gewichtung von Beobachtern einerseits und institutionell schwächer verankerten Zuständigkeiten noch akzentuiert. Bei hoher Verfügbarkeit, Überzeugung und persönlichem Engagement der Beteiligten können wertvolle Informationen für die Intervention gewonnen werden. Ansonsten können wesentliche Teile des Systems wegfallen.

- Bei sehr kleinen Einzugsgebieten in der Grössenordnung von einem Quadratkilometer stösst das System wie erwartet an seine Grenzen. Die Beobachtertätigkeit wird vor allem zeitlich sehr anspruchsvoll (rasche Reaktion nötig) und der Aufwand für (Niederschlags-) Messnetze steigt stark an.
- Da verhältnismässig viele Informationen in kurzer Zeit zu erfassen und zu bewerten sind und zudem die Situation im eigenen Gebiet nur bedingt mit Situationen in Nachbargebieten vergleichbar ist, ist die Lagebeurteilung anspruchsvoll und bedingt lokale Fachkompetenz. Zusätzlich wird auch eine beratende Fachstelle gewünscht.
- Die Betriebssicherheit von Systemen, welche bei Ereignissen fast im Minutentakt konsultiert werden und bei denen hohe Anforderungen an die Aktualität der Daten gestellt werden, muss mit praktisch dauernd gewährleistet werden können. Dies stellt auch an die Kommunikationsnetze hohe Ansprüche.

Die aufgeführten Punkte zeigen, dass die Einführung eines Warn- und Informationssystems auch bei kleinen Einzugsgebieten erheblich von organisatorischen Aspekten geprägt wird und nicht zuletzt von den beteiligten Personen abhängt. Die Wichtigkeit dieser Punkte wurde bereits beim Pilotgebiet Linth betont. Deshalb gilt aber auch, dass es bei allen fachlichen Grenzen, die zu respektieren sind, keine elementaren Gründe gibt, die gegen den Einsatz von Warn und Informationssystemen selbst in kleinen Gebieten sprechen.

DIE INTERVENTIONSKARTE

Wie können nun Warninformationen vor Hochwasser- und Murgangereignissen so umgesetzt werden, dass die Schadenfolgen eines Ereignisses tatsächlich vermindert werden können? Diese Frage stellt sich vor allem für die lokalen Wehrdienste und Behörden. Zu ihrer Unterstützung wurde die Interventionskarte entwickelt. Aufbauend auf der Gefahrenkarte Wasser liefert sie konkrete Angaben zu den Konsequenzen von Gefahrenereignissen und zu möglichen Massnahmen. Sie beantwortet die Fragen: Wo kann was passieren? Wie und mit welcher Priorität soll eingegriffen werden? Sie dient sowohl der Vorbereitung, indem analoge Situationen beübt und geeignete Hilfsmittel beschafft werden, als auch dem Einsatz im Ernstfall. Sie hat damit eine ähnliche Funktion wie die den Feuerwehren aus der Brandbekämpfung bereits vertrauten vorsorglichen Einsatzpläne.

Grundlage für die Erstellung der Interventionskarten sind die Gefahrenkarten. Diese unterscheiden rote, blaue und gelbe Gefahrengebiete. Massgebend für die Farbgebung rot, blau und gelb sind die Intensität und die Wahrscheinlichkeit der Gefährdung (BWW et al. 1997). Für die Interventionskarte sind speziell die Intensitäten wie die Geschwindigkeiten und die Überschwemmungshöhen massgebend. Für die Intervention kann die Farbgebung wie folgt vereinfachend umgesetzt werden:

- Im roten Gefahrengebiet herrscht bei einem Ereignis Lebensgefahr. Massnahmen sollten vor einem allfälligen Ereignis ergriffen werden, insbesondere Evakuationen. Während einem Ereignis sind Massnahmen nur dann in Betracht zu ziehen, wenn a) die Sicherheit der Einsatzkräfte durch flankierende Massnahmen wie Vorwarnung oder Fluchtwege gewährleistet werden kann und b) der Eingriff hinsichtlich seiner Wirkung als verhältnismässig zu betrachten ist.
- Im blauen Gefahrengebiet ist bei einem Ereignis besondere Vorsicht angebracht. Wesentlich ist das Gefahrenbewusstsein und das angemessene Verhalten, welches durch Ausbildung der Einsatzkräfte und durch Information der Bewohner gefördert werden kann. Mit der gebotenen Vorsicht sind Interventionen hier vertretbar.

- Im gelben Gefahrengelb gilt sinngemäss dasselbe wie im blauen Gebiet. Generell darf aber von einer geringeren Gefährdung und besserer Eignung insbesondere für Wasserableitung und ähnliche Massnahmen ausgegangen werden.

Die Interventionskarten sind kompakt und einfach gestaltet. Sie bestehen aus A4-Blättern mit einer Karte auf der Vorderseite und Textangaben auf der Rückseite. Die Karte zeigt die Gefahrengelb in rot, blau, gelb, die Massnahmen mit Priorisierung sowie die Sonder Risiken wie Schulen, Altersheime oder Industrieanlagen. Der Text listet den Materialbedarf für den Einsatz auf, enthält die wichtigen Telefonnummern und beschreibt die Entscheidungsregeln und weitere Informationen zur Bewältigung von komplexen Situationen.



Abb. 5: Ausschnitt aus der Interventionskarte Landquart, Klosters (Schweiz)
Fig. 5: Detail of the intervention plan Landquart River, Klosters (Switzerland)

Abbildung 5 zeigt ein Beispiel einer mehrphasigen Interventionskarte. Mehrere Phasen werden dort unterschieden, wo sich je nach Ereignisverlauf die Einsatzmöglichkeiten wesentlich verändern. So ist in einer frühen Phase beispielsweise ein Einsatz in Gewässernähe möglich, während später vielleicht ein grossräumiger Rückzug erfolgen muss. In der Phase 1 beschränkt sich der Einsatz im gezeigten Beispiel auf die Beobachtung. Hier wird auch gleich der enge Bezug zu IFKIS-Hydro deutlich, welches genau diese Funktion übernimmt. Die Massnahmen der Phase 2 werden aber bereits vorbereitet, z.B. durch Avisierung von Bauunternehmern oder durch feuerwehrinterne Vorbereitung. Gestützt auf die Beobachtungen kann der Einsatzleiter dann zu Phase 2 wechseln. Hier werden dann die „klassischen“ mobilen Hochwasserschutzmassnahmen eingesetzt (vgl. z.B. www.vkf.ch).

Analog erfolgt auch der Übergang zur Phase 3, wo in diesem Fall ein grösseres Sperrgebiet vorgesehen ist.

Die Vielfalt von natürlichen Ereignissen macht es aber unmöglich, bis ins Detail verbindliche Vorgaben zu formulieren. Die Interventionskarte will auch kein Rezeptbuch sein. Es wird immer den situationsgerechten Entscheid des Einsatzleiters brauchen. Darin liegt eine wesentliche Stärke der Interventionsmassnahmen; sie können rasch und flexibel den Umständen angepasst werden und bieten so eher die Möglichkeit, überraschende oder unerwartete Ereignisverläufe in ihrer Schadenwirkung zu dämpfen.

Mit der Intervention sollen Schäden durch Naturereignisse reduziert werden. Sie dient damit der Sicherheit. Sie darf aber ihrerseits nicht zu einer unverhältnismässigen Gefährdung der Einsatzkräfte führen. Heldentum ist fehl am Platz. Gerade die Verringerung von Sachschäden, häufig das Hauptziel von Interventionsmassnahmen bei Hochwasser, soll nicht zur in Kaufnahme lebensbedrohlicher Risiken führen.

AUSBLICK

Die Warnung entfaltet erst durch die Intervention ihre Wirkung, die Intervention ihrerseits ist umso wirkungsvoller, je bessere Informationen zur aktuellen und absehbaren Gefahrensituation vorliegen. Mit IFKIS-Hydro und Interventionskarte wurden Werkzeuge erarbeitet, welche sich in diesem Sinn ergänzen und im Ereignisfall helfen, Menschen und Sachwerte vor den Einwirkungen von Naturgefahren zu schützen.

Neben den fachtechnischen Aspekten, insbesondere der Berücksichtigung gegebener Grenzen wie dem räumlich und zeitlich nicht unbegrenzt fein auflösbaren Prozessverständnis oder der Abhängigkeit von Infrastruktureinrichtungen wie Strom- und Kommunikationsnetzen, ist dem Faktor Mensch besondere Beachtung zu schenken. Mehr noch als bei anderen Schutzmassnahmen wie etwa Verbauungen nimmt der Mensch direkt und zeitlich unverzögert Einfluss auf das Geschehen. Jede Entscheidung hat eine unmittelbare Wirkung. Diesem Aspekt gilt es etwa im Rahmen der Ausbildung oder bei der Organisation der Fach- und Führungsgremien Rechnung zu tragen, damit Entscheide zeit- und sachgerecht gefällt und umgesetzt werden können. Der wirkungsvolle Einsatz von IFKIS-Hydro und der Interventionskarte ist auf fähige Personen und entscheidungsfördernde Strukturen angewiesen.

Eine wesentliche Stärke von IFKIS-Hydro ergibt sich aus der Tatsache, dass zum einen nach einem einheitlichen Konzept vorgegangen wird, zum andern aber flexibel auf die spezifischen Bedürfnisse in einem einzelnen Gebiet eingegangen werden kann. Dies zeigen exemplarisch die Pilotgebiete, wo im einen Fall ein Prognosemodell eine zentrale Rolle spielt und im andern Fall die lokale Beobachtung. So kann ein Stück weit auch die Komplexität der Thematik an sich und der Expertensysteme im speziellen entschärft werden. Ist das System den lokalen Bedürfnissen angepasst, fällt der Umgang damit wesentlich leichter.

Zu weiteren Verbesserungen des Systems kann zum einen ein weiterentwickeltes Prozessverständnis beitragen. Bessere Kenntnisse etwa der Bildungsbedingungen von Hochwasser und Murgängen und entsprechende Prozessmodelle unterstützen die schwierige Interpretation von Wetterprognosen, Messdaten und Beobachtungen. Zum andern ist auf Harmonisierungen innerhalb des gesamten Bereiches Warnung und Intervention zu achten.

Verschiedene Dienste stehen heute in Entwicklung oder werden bereits angeboten. Eine optimale Nutzung von Synergien und speziell die Ausgestaltung geeigneter Schnittstellen stellt eine grosse Herausforderung dar. Wegweisend kann hier die „Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren“ (GIN) sein, welche von MeteoSchweiz, Bundesamt für Umwelt (BAFU) und dem Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) in nächster Zukunft entwickelt wird. In diesem Sinn gilt es auch die rasanten technologischen Innovationen gerade im IT-Bereich sinnvoll zu nutzen.

Schliesslich ist auch dem Faktor Zeit Rechnung zu tragen: Mit den vorgestellten Instrumenten gilt es Erfahrungen zu sammeln, welche wiederum den wirkungsvollen Einsatz verbessern. In diesem Sinn sind sie auch als Investition in die Zukunft zu betrachten.

DANK

Das Projekt IFKIS-Hydro konnte bereits 2004 und somit vor dem lehrreichen Hochwasserjahr 2005 gestartet werden, was nicht zuletzt der Weitsicht der Auftraggeber zu verdanken ist. Die Projekte im Wallis wurden durch den Kanton initiiert und unterstützt. Ein spezieller Dank geht an die kantonalen Ämter „Service des routes et des cours d'eau“ und „Service des forêts et du paysage“ sowie an die Gemeinden in den Pilotgebieten. Die Arbeiten im Linthgebiet förderten der Kanton Glarus (Abteilungen Wald und Tiefbau) und in speziellem Masse die Präventionsstiftung der Kantonalen Gebäudeversicherungen. Auch dafür danken wir herzlich.

Die Interventionskarte wurde durch das Amt für Wald GR und die Gebäudeversicherung GR initiiert und finanziert. Eine Arbeitsgruppe, bestehend aus Vertretern der genannten Institutionen und dem Ingenieurbüro tur gmbh in Davos als Auftragnehmer, zeichnete für die Erarbeitung verantwortlich. Weiter geht der Dank an die Gemeinde Klosters-Serneus und speziell die Feuerwehr für das engagierte Mitwirken und die wertvollen Diskussionen.

LITERATUR

- Bezzola, G.R., Hegg, C. (2007): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1: Prozesse, Schäden und erste Einordnungen“. Bern: Bundesamt für Umwelt.
- Bründl, M., Etter, H.-J., Steiniger, M., Klingler, Ch., Rhyner, J., Ammann, W.J. (2004): „IFKIS - a basis for managing avalanche risk in settlements and on roads in Switzerland“. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 257-262.
- Bürgi, T., Sigrist, B., Streit, D., (2007): Hydrologische Produkte des Bundesamts für Umwelt (BAFU) bei Hochwasser. WSL Forum für Wissen, 31.10.2007, Tagungsband.
- BWW (Bundesamt für Wasserwirtschaft), BRP (Bundesamt für Raumplanung), BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) (1997): „Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten“. Bern: EDMZ.
- Raboud, P.-B., Dubois, J., Boillat, J.-L. (2001): „Modélisation de la contribution des bassins d'accumulation lors de crues en Valais“. *Wasser-Energie-Luft*, 11/12, 313-317.
- PLANAT (2004): „Strategie Naturgefahren Schweiz“. www.planat.ch.
- Romang, H., Barandun, J., Roth, H.U., Guler, A., Fischer, M., Wilhelm, C. (2006): „Die Interventionskarte – Von der Gefahrenkarte zum Einsatz im Ereignisfall“. *Bündnerwald*, 6, 71-76.
- Romang, H., Hegg, C., Gerber, M., Hilker, N., Dufour, F., Rhyner, J. (2007): „IFKIS-Hydro – Informations- und Warnsystem für hydrologische Naturgefahren“. *Wasser-Energie-Luft*, 2, 129-132.
- Schmid, F., Fraefel, M., Hegg, Ch. (2004): „Unwetterschäden in der Schweiz 1972-2002: Verteilung, Ursachen, Entwicklung“. *Wasser-Energie-Luft*, 1/2, 21-28.
- Seiler, J., Bumann, D. (2007): „Notfallplanung Hochwasser im Kanton Wallis, EDV-Tool für Gemeinden“. FAN-Agenda 1/07. www.fan-info.ch
- Zappa, M., Rhyner, J., Gerber, M., Egli, L., Stöckli, U., Hegg, C. (2006): „IFKIS-Hydro MountainFloodWatch – Eine endbenutzer-orientierte Plattform für Hochwasserwarnung“. In: Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse, Beiträge zum Tag der Hydrologie 2006, 22-23. März 2006. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 15, 2, 189-200.
- Zappa, M., Vogt, S. (2007): „Hochwasservorhersagesysteme der neusten Generation im Praxis-Test“. WSL Forum für Wissen, 31.10.2007, Tagungsband.

**ORGANISATION DER EINSATZPLANUNG IN DER ABTEILUNG
WASSERSCHUTZBAUTEN DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN – SÜDTIROL
BEI HOCHWASSEREREIGNISSEN**

**ORGANISATION OF THE EMERGENCY PREPAREDNESS PLANNING OF THE
DEPARTMENT OF HYDRAULIC ENGINEERING, AUTONOMOUS PROVINCE OF
BOLZANO – SOUTH TYROL, ITALY**

H. Staffler¹, H. Prugg², R. Pollinger², M. Tanzer³, T. Gögele³

ZUSAMMENFASSUNG

Die Abteilung Wasserschutzbauten der Autonomen Provinz Bozen – Südtirol nimmt neben Verbauungs- und Instandhaltungsarbeiten auch die Notfall- und Einsatzplanung für den Hochwasserfall wahr. Dies erfolgte im Sinne des modernen Risikomanagementprozesses durch die Ausarbeitung eines Einsatzhandbuches Wildbach, welches die Einsatzaktivitäten regelt und die dafür notwendige Führungsorganisation beschreibt.

Im Speziellen regelt das Einsatzhandbuch Wildbach die Aufbau- und Ablauforganisation im Einsatz. Es beschreibt zuerst den Ablauf des Bereitschaftsdienstes, gibt den roten Faden für die Einsatzleitung vor, teilt die Sachgebiete für die Stabsarbeit ein und definiert die Inhalte der Sachgebiete.

Zudem finden sich im Einsatzhandbuch Adress- und Telefonlisten von den MitarbeiterInnen der Abteilung Wasserschutzbauten, von Partnerbehörden, Gemeinden, Unternehmen und Fachleuten.

Keywords: Risikomanagement, Einsatzplanung, Notfallplanung, Wassergefahren

ABSTRACT

In addition to the construction and maintenance of flood protection structures, the Department of Hydraulic Engineering of the Autonomous Province of Bolzano - South Tyrol coordinates the emergency and crisis management during flood events. This task was planned and prepared within an integrated risk management process in close collaboration with other authorities and is described in a handbook. The handbook “emergency preparedness plan for torrential processes” regulates the most important tasks of organized emergency aid activities regarding flood events and torrential processes. It contains synthetically functions, tasks and responsibilities of the relevant actors and describes step-by-step their activities during an event. The handbook regulates the organisation of the leadership of flood emergency management activities and defines leadership structures, leadership instruments and leadership functions. Furthermore, in the handbook are listed all addresses and phone numbers of the relevant actors in the relevant institutions.

Keywords: risk management, emergency preparedness planning, flood

¹ Department of Civil Protection, Autonomous Province of Bolzano - South Tyrol, Drususallee 116, 39100 Bozen, Italy

² Department of Hydraulic Engineering, Autonomous Province of Bolzano - South Tyrol, C. Battisti-Str. 23, 39100 Bozen, Italy

³ Scurplan GmbH, Kravogl Straße 32/34, 39012 Meran, Italy

EINLEITUNG

Im Jahr 2000 gingen die Flüsse Etsch und Eisack vom Staatsbauamt auf die Abteilung Wasserschutzbauten der Autonomen Provinz Bozen über mit dem Auftrag, Verbauungs- und Instandhaltungsarbeiten an beiden Flüssen durchzuführen und den „Hochwasserdienst“ aufzubauen. In enger Zusammenarbeit mit anderen Landesstellen, mit der Freiwilligen Feuerwehr und mit staatlichen Stellen wurde somit ein Alarm- und Einsatzplan Etsch - Eisack entwickelt, der bereits mehrmals in Form von Übungen aber auch im Ernstfall seine Praxistauglichkeit unter Beweis stellen konnte.

Im Zuge der Übungen und Einsätze wurde immer deutlicher, dass es nicht ausreicht, den Alarm- und Einsatzplan lediglich auf die Flüsse Etsch und Eisack zu beziehen, sondern dass eine analoge Planung für sämtliche Hochwasserereignisse in Südtirol notwendig ist. Aus diesem Grund wurde ausgehend von den Erfahrungen des Alarm- und Einsatzplanes Etsch – Eisack ein Einsatzplan „Wildbach“ entwickelt, der Organisation und Einsatz der Abteilung Wasserschutzbauten bei landesweiten, aber auch bei lokalen Hochwasserereignissen regelt. Beide Pläne wurden in Form von Handbüchern konzipiert, welche den Mitarbeitern zur Verfügung stehen.

METHODE

Im Wesentlichen mussten für die Einsatzplanung der Abteilung Wasserschutzbauten eine Aufbauorganisation und eine Ablauforganisation geschaffen werden, welche an bestehende Strukturen, an verfügbare Ressourcen und an externe Rahmenbedingungen anzupassen waren.

Als Erstes wurden sowohl die betriebsinternen Ressourcen als auch die externen Rahmenbedingungen im Bereich des Zivilschutzes analysiert. Anschließend wurden Funktionen, Aufgaben und Kompetenzen der Abteilung Wasserschutzbauten bei landesweiten Hochwasserereignissen definiert und mit anderen Organisationen des Zivilschutzes abgeglichen.

Nachdem die Ziele des Einsatzplanes Wildbach definiert waren, wurde basierend auf den Vorgaben des Zivilschutzes und unter Zuhilfenahme einschlägiger Literatur (siehe Literaturverzeichnis) ein Handbuch entworfen.

ERGEBNISSE

Das Einsatzhandbuch Wildbach regelt die Führungsorganisation im Ereignisfall und definiert Führungsstrukturen, Führungsmittel und Führungsfunktionen. Es ist in folgende sechs Hauptkapitel unterteilt:

- Allgemeiner Teil
- Bereitschaftsdienst
- Einsatzleitung
- Stabsarbeit
- Sonderpläne
- Listen.

Außer dem ersten Kapitel hat jedes Kapitel einen roten Faden, welcher in nummerierter Reihenfolge die vordefinierten Schritte angibt. In der Spalte ganz rechts, wird bei Bedarf zum

jeweiligen Schritt ein Verweis angegeben, wo man auf einer nachgehängten Seite genauere Informationen erhält (Abb. 1). Zudem verfügt jedes Kapitel über eine Dienstordnung welche Funktion, Aufgabe und Kompetenz des handelnden Akteurs beschreibt.

Aufgaben nach innen		
1	Alarmierung Mitglieder TEL-WB / Besetzung HWZ Bozen	A-LEL-02
	Alarmierung Mitglieder BEL-WB / Besetzung TEL-WB Bezirk(e)	
	Zuteilung Funktionen	A-LEL-02
	Anpassung der Personalstärke an den Ereignistyp und die Ereignisgröße	
2	Alarmierung Mitarbeiter ED 30	A-LEL-03
3	Alarmierungskette Sonderbetrieb	A-LEL-03
4	Einleitende Besprechung und Information der Sachgebietsleiter über aktuelle Lage	

Abb1: Der rote Faden
Fig1: The red thread

Allgemeiner Teil

Im allgemeinen Teil wird neben einführenden Worten auch auf die eigentliche Führungsorganisation der Abteilung Wasserschutzbauten (WB) im Ereignisfall eingegangen, welche aus folgenden drei Punkten besteht:

- Führungsstrukturen
- Führungsmittel
- Führungsfunktionen

Führungsstruktur

Zentrale Führungsstruktur ist die Technische Einsatzleitung Wildbach – Land (TEL-WB-Land). Sie ist die oberste Führungsebene der Abteilung Wasserschutzbauten und arbeitet normalerweise in der Hochwasserzentrale (HWZ), welche sich im Sitz der Abteilung Wasserschutzbauten in Bozen befindet.

Bei Bedarf werden der TEL-WB-Land bis zu neun Technische Einsatzleitungen Wildbach – Bezirk (TEL-WB-Name Bezirk) unterstellt, welche den neun Feuerwehrbezirken des Landes Südtirol entsprechen und in deren Einsatzzentralen arbeiten.

Führungsmittel

Folgende Führungsmittel stehen den MitarbeiterInnen zur Verfügung:

- Einsatzhandbuch Wildbach
- Hochwasserzentrale (bestehend aus sieben mit Notstrom versorgten Räumen)
- Kommunikationseinrichtungen (Internet, Telefon, Fax, Mobilfunk, Betriebsfunk, Zivilschutzfunk)
- Magnetwände
- Taktische Zeichen
- Meldeblöcke

Führungsfunktionen

LEL-WB Landes-Einsatzleiter Wildbach
BEL-WB Bezirks-Einsatzleiter Wildbach
AEL-WB Abschnitts-Einsatzleiter Wildbach
SEL-WB Schadensort Einsatzleiter Wildbach

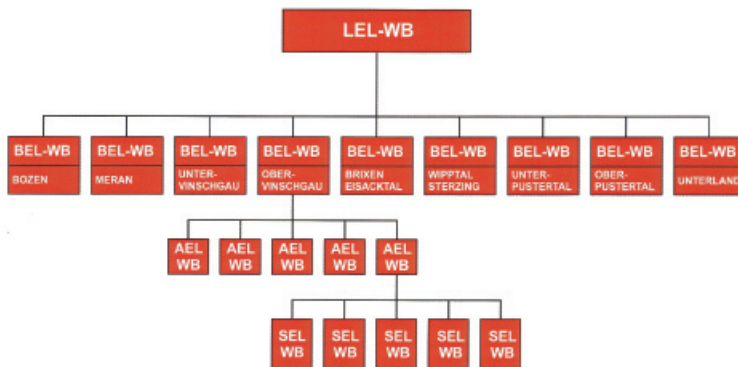


Abb2: Führungsfunktionen und deren Beziehung zueinander

Fig2: Leadership functions and their relationships

Bereitschaftsdienst

Im Kapitel Bereitschaftsdienst wird beschrieben, wie der Bereitschaftsdiensthabende (BD) die „Alarmierung nach erfolgtem Ereignis“ oder die „Alarmierung bei Gefährdung“ abzuwickeln hat. Des Weiteren finden sich in der Dienstordnung Angaben zur Verantwortlichkeit, zu den Aufgaben, zur Dauer des Bereitschaftsdienstes und zur Ausrüstung.

Neben der ständig zu gewährleistenden Erreichbarkeit muss der BD im Ereignisfall den Landeseinsatzleiter Wildbach benachrichtigen. LEL-WB ist der jeweils ranghöchste erreichbare Mitarbeiter der Abteilung Wasserschutzbauten.

Einsatzleitung

Im Kapitel Einsatzleitung finden sich im roten Faden für den Einsatzleiter Wildbach Angaben über „Einsatzoptionen bei erfolgter Alarmierung“, über die „Aufgaben nach innen“ und über die „Aufgaben nach außen“. Dabei besteht die Möglichkeit, dass der Landeseinsatzleiter „Wildbach“ beide Aufgaben wahrnimmt oder die „Aufgaben nach innen“ an einen Stabsleiter seiner Wahl delegiert.

Stabsarbeit

Im Kapitel Stabsarbeit sind die Aufgaben in der Technischen Einsatzleitung Wildbach (TEL-WB) geregelt und gemäß der deutschen Feuerwehrdienstvorschrift 100 in folgende sechs Sachgebiete unterteilt:

- Personal/Innerer Dienst (S1)
- Lageführung (S2)
- Einsatztaktik (S3)
- Logistik (S4)
- Medienarbeit (S5)
- Kommunikation (S6)

Jedes Sachgebiet verfügt über einen Sachgebietsleiter, welcher sich um seine Organisation, seine Strukturen und sein Personal kümmern muss.

Im Folgenden wird für jedes Sachgebiet kurz der Inhalt des roten Fadens beschrieben und bei Bedarf wird auf eine Besonderheit des jeweiligen Sachgebietes eingegangen.

Personal und Innerer Dienst (S1)

Personal / Innerer Dienst		S1
Innere Organisation der TEL-WB		
1	Gemäß Weisung LEL-WB die TEL-WB aufbauen	
2	TEL-WB in Betrieb nehmen	
3 ...	usw.	
5	Meldewege einrichten	A-S1-05
Bereitstellen der Einsatzkräfte WB		
1	Mitarbeiter der Abteilung Wasserschutzbauten alarmieren	L
2	Weitere Einsatzleiter anfordern Mitarbeiter Sonderbetrieb anfordern	L
3 ...	usw.	
7	Kräfteübersicht führen und aktualisieren	A-S1-05

Das Sachgebiet ist in die zwei Aufgabenbereiche „Innere Organisation der TEL-WB“ und „Bereitstellen der Einsatzkräfte WB“ unterteilt. Um die vielen Informationen in der TEL-WB geordnet abzuarbeiten, bedarf es eines standardisierten Kommunikationssystems. Dafür werden Meldezettel aus einem 5-farbigem Meldeblock verwendet.

Ebenso ist es wichtig, eine klare Kräfteübersicht zu führen. In einer Großschadenslage ist es durchaus möglich, dass allein die Abteilung Wasserschutzbauten über 200 MitarbeiterInnen gleichzeitig im Einsatz hat. Um die Übersicht zu bewahren, behelfen wir uns mit Magnettafeln und taktischen Zeichen (Abb. 3).

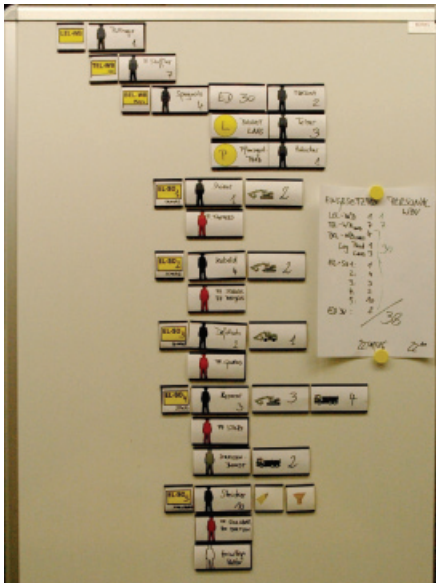


Abb3: Kräfteübersicht mit taktischen Zeichen
Fig3: Overview on task forces with tactical signs

Lageführung (S2)

Lage		S2
	Lagefeststellung	
1	Informationen einholen	
2	Erkunder einsetzen (bei Bedarf)	
3	Lagemeldungen erstellen	
	Lagedarstellung	
1	Lagekarte führen	A-S2-03
2	Lagebesprechung vorbereiten	
	Information	
1	An vorgesetzte Stellen melden	
2	Nachgeordnete Stellen informieren	

Das Sachgebiet ist in drei Aufgabenbereiche unterteilt, wobei der Lagedarstellung eine besondere Bedeutung beigemessen wird. Die wichtigsten Instrumente der Lagedarstellung sind die Lagekarte, die Schadenskonten und die taktischen Zeichen (Abb. 4). Eine übersichtliche und klare Lagedarstellung ist die Grundlage einer vernünftigen Einsatztaktik.



Abb4: Lagekarte

Fig4: Map showing the actual situation

Einsatztaktik (S3)

Einsatz		S3
Einsatztaktik		
1	Lage beurteilen	
2	Einsatz planen	
3	Einsatzentschluss	
4	Einsatz kontrollieren	
5 ...		

Beim Punkt 3 Einsatzentschluss kommt die Erfahrung des S3-Sachgebietsleiters zum Tragen: es müssen in dieser Phase die technischen Maßnahmen, die Anzahl an Einsatzkräften und die notwendigen Einsatzmittel in Zahl und Größe festgelegt werden.

Dem S3-Sachgebietsleiter fällt bei komplexen Schadenslagen die Aufgabe zu, Abschnitte zu bilden. Dabei ist die 3-5 Regel zu beachten: ein Abschnitt soll nicht mehr als aus 3-5 Schadensorten bestehen.

Logistik (S4)

Versorgung		S4
Logistik		
1	Aktuelle Ressourcenlage feststellen	
2	Fremdfirmen anfordern	
3	Einsatzmittel und Verbrauchsgüter verwalten	
4	Verpflegung der Wildbach-Einsatzkräfte sicherstellen	
5 ...		

Der Logistiker ist besonders gefordert, die Übersicht über interne und externe Ressourcen zu führen. Bevor externe Ressourcen angefordert werden, ist es seine Pflicht zu prüfen, ob die entsprechenden finanziellen Mittel zur Verfügung stehen.

Neben der Koordinierung der internen Einsatzkräfte sind betriebseigene Maschinen sowie Materialien zu organisieren und auch der betriebsinterne Fuhrpark- und Sprengdienst zu koordinieren (Abb. 5).

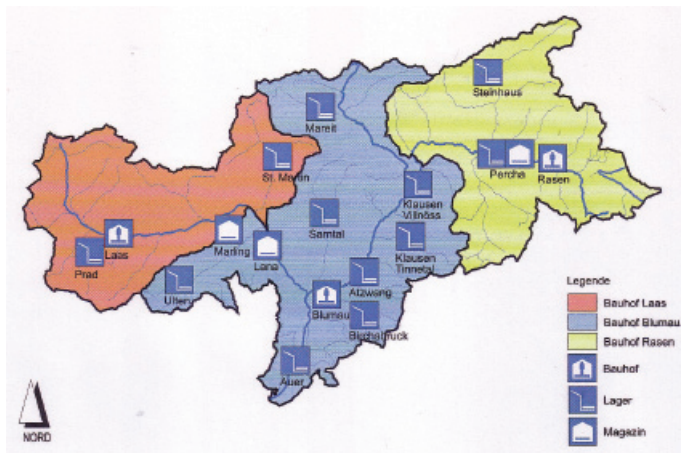


Abb5: Karte der betriebsinternen Logistik
Fig5: The map of the in-house logistics

Medienarbeit (S5)

Medienarbeit		S5
Medieninformation		
1	Pressehandy aktivieren	
2	Informationen aus dem Einsatz aufbereiten	
3	Medieninformationen erstellen	
4 ...		

Medienbetreuung		
1	Gesprächspartner für Medien vermitteln	
2	Medienkonferenzen vorbereiten	
3 ...		

Medienkoordination		
1	Medienarbeit bündeln	
2	Ständigen Kontakt mit Presse und Medien halten	

In der Dienststörung zur Medienarbeit sind zudem Verhaltensregeln für das Personal der Abteilung Wasserschutzbauten festgehalten: Auf direkte Fragen von Journalisten geben die Angesprochenen Informationen aus ihrem Zuständigkeitsbereich weiter. Sie machen keine Aussagen über die Gefährdungslage oder über den Gesamteinsatz. Bei Fragen über ihren Zuständigkeitsbereich hinaus, muss das Personal die Journalisten an den Leiter des Sachgebietes 5 verweisen.

Kommunikation (S6)

Kommunikationswesen	S6
----------------------------	-----------

Planen und Leiten des Kommunikationseinsatzes		
1	Betriebsbereitschaft der Fernmeldeeinrichtungen herstellen <ul style="list-style-type: none"> ▪ EDV ▪ Telefon ▪ Funk 	
2	Funkkanäle zuweisen	
3	Kontakte mit Kommunikationsstellen anderer Organisationen sicherstellen	
4	Meldungen, Informationen, Anweisungen übermitteln	
5	Kommunikationsbetrieb ständig überwachen	
6	Alternative Kommunikationsmöglichkeiten aufbauen	
7 ...		

Bei jeder prekären Situation ist der Einsatzerfolg ganz wesentlich von einem gut funktionierenden Kommunikationssystem abhängig. Das Problem das sich dabei allgemein stellt, ist der baldige Ausfall des Handynetzes durch Überlastung und der mögliche Ausfall des Festnetzes durch zerstörte Kabelverbindungen. In diesem Fall muss die gesamte Einsatzorganisation über ein stabiles und kapillares Funksystem abgewickelt werden.

Sonderpläne

Im Kapitel Sonderpläne befindet sich der „Alarm- und Einsatzplan Etsch – Eisack“ und der Verweis auf die Sonderpläne des Amtes für Stauanlagen.

Listen

Und schließlich sind im Kapitel Listen die Adressdaten von potentiellen Akteuren wie interne Mitarbeiter, Mitarbeiter anderer Landesstellen, Feuerwehrleute, Bürgermeister, Ordnungskräfte, Bagger- und Transportfirmen zusammengefasst.

DISKUSSION

Das Einsatzhandbuch Wildbach regelt alle wichtigen Schritte eines organisierten Einsatzes bei Hochwasserereignissen. Darin sind in knapper Form Funktion, Aufgabe und Kompetenz der handelnden Akteure und deren Aktivitäten Schritt für Schritt beschrieben. Es nimmt aber nicht den Rang eines Landeszivilschutzplanes ein, sondern regelt den Ablauf einer Behörde, die bei Hochwasserereignissen eine Hauptrolle innehat.

Nicht jede Organisation ist in der Lage, einen Einsatzplan in Sachen Notfallmanagement zu entwickeln. Für die selbstständige Ausarbeitung fehlt normalerweise der fachliche Hintergrund im Bereich Katastrophen- und Risikomanagement. Es ist auch nicht ratsam, die Ausarbeitung komplett an externe Fachleute zu vergeben, da diese nur teilweise die internen Gegebenheiten kennen können. Ein Einsatzplan, wie er hier vorgestellt wird, sollte in enger Zusammenarbeit mit Fachleuten entwickelt werden.

Der Umfeldanalyse ist ein breiter Rahmen einzuräumen. Es müssen das Zusammenspiel aller Zivilschutzorganisationen und die spezifischen Rollen der jeweiligen Organisationen geklärt werden. Anschließend werden die Aufgaben für die zu untersuchende Organisation genau definiert und mit allen Partnern abgestimmt.

Als nächster Schritt erfolgt die Analyse der Aufbauorganisation. Welche strukturellen und personellen Mittel stehen zur Verfügung? Reichen diese Mittel aus oder muss in Struktur und Personal investiert werden? Aus unserer Erfahrung lässt sich berichten, dass es kaum möglich ist und auch wenig Sinn macht, eigenes Personal für diese Aufgabe anzustellen. Es ist aber sicher notwendig, einen Hauptverantwortlichen zu bestimmen.

Etwas differenzierter muss die Struktur betrachtet werden: normalerweise verfügt eine Behörde nicht über die entsprechenden Mittel, sodass es hier einiger Anschaffungen bedarf. Zuerst muss eine Einsatzzentrale geschaffen werden, die aus mehreren Räumen bestehen sollte. Wenn für eine eigene Einsatzzentrale nicht die finanziellen Mittel vorhanden sind, so ist auch eine Mischform möglich. Im Gebäude der Abteilung Wasserschutzbauten wurde ein Raum für den Landeseinsatzleiter Wildbach eingerichtet, der nur für Einsätze und für Besprechungen zur Verfügung steht.

Zusätzlich wurden sechs weitere Büroräume so adaptiert, dass sie im Einsatzfall mit wenigen Handgriffen zu Funktionszellen für Sachgebietsaufgaben umgestellt werden können. Alle Räume und der Gang wurden mit einem Notstromsystem abgesichert, sodass die ausfallsichere Funktionsfähigkeit der Einsatzzentrale gewährleistet ist.

Vor allem im Bereich des EDV-Wesens wurden Redundanzen eingebaut. Im Normalbetrieb kann das Landesnetz verwendet werden. Sollte dieses zusammenbrechen, finden sich alle relevanten Daten auf den Festplatten der drei PCs in der Hochwasserzentrale. Ebenso ist es noch möglich, E-Mail- und Internetdienste über einen externen Provider zu erhalten. Sollte auch dieses System versagen, dann gibt es noch einen Laptop mit Wireless-Verbindung. Zudem verfügt die Hochwasserzentrale über eine autonome Telefonanlage mit Faxgeräten.

Es mussten noch Anschaffungen wie Magnetwände, taktische Zeichen, Kartenmaterial, Radio, Fernseher mit Videokonferenz, Beamer, Leinwand, Kästen, Regale, Arbeitstische, Besprechungstisch und Rollstuhl getätigt werden.

Was die Ablauforganisation betrifft, bestimmt das Einsatzhandbuch die notwendigen Schritte im roten Faden und es regelt die Aufgaben, Funktionen und Kompetenzen der handelnden Personen in der jeweiligen Dienstordnung. Um eine funktionierende Ablauforganisation zu garantieren, sind folgende Punkte zu beachten:

- Leiter für die jeweiligen Sachgebiete definieren (Sachgebietsleiter)
- Sachgebietsleiter gemäß ihrer Fähigkeiten auswählen
- Sachgebietsleiter ausbilden
- Sachgebietsleiter müssen nach denselben Kriterien ihr Hilfspersonal auswählen

Das Thema Übung ist gesondert zu betrachten. Zumindest ein Mal im Jahr muss eine Großübung abgehalten werden. Regelmäßiges Üben bedeutet regelmäßige Evaluierung der Aufbau- und Ablauforganisation. Externe Übungsbeobachter sind dabei von großer Hilfe. Ebenso müssen alle Beteiligten, die im Laufe der Übung aufgetretenen Schwierigkeiten notieren und dies der Übungsorganisation bei der obligatorischen Nachbesprechung mitteilen. Nur so kann die Einsatzorganisation von Jahr zu Jahr verbessert werden.

Abschließend sei noch kurz auf den Aufbau des Handbuches verwiesen: es ist so aufgebaut, dass es sich dynamisch weiterentwickeln lässt. Neue Erkenntnisse über die Notfall- und Einsatzplanung oder neue Sonderpläne können somit laufend eingearbeitet werden.

Vor allem ist es aber unerlässlich, ein Mal im Jahr sämtliche Adress- und Telefonlisten zu überprüfen. Erfahrungsgemäß kann es jährlich bis zu fünf Prozent Änderungen bei den Handy-, Telefon-, Fax- und E-Mail-Listen geben. Nach der Überprüfung werden die alten Listen aus der Ringmappe entfernt und durch die aktualisierten Listen ersetzt.

DANK

Unser Dank gilt Herrn Anton Obex für die kritische Durchsicht des Manuskripts und Herrn Andreas Zischg für die Hilfe bei der Übersetzung ins Englische.

LITERATUR

- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk – Bundesschule Neuhausen: Führen in der THW FüSt. (Modul 4,5,6). Kursunterlagen.
- Bundesanstalt Technisches Hilfswerk – Hrsg. (2000): THW DV1 – 100. Führung und Einsatz. Feuerwehrdienstvorschrift 100: Führung und Leitung im Einsatz.
- Grossmann / Kulmhofer (Hrsg.): Sozioökonomisches und Psychosoziales Krisen- und Katastrophenmanagement – Band 1,4,12.
- Knorr K-H., Maaß J. (2005): Öffentlichkeitsarbeit in der Feuerwehr. Verlag Kohlhammer.
- Landesverband der Freiwilligen Feuerwehren Südtirols (Hrsg.): Handbuch Feuerwehrfunk.
- Perrow Ch. (1992): Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik. Campus Verlag GmbH.
- Plattner H-P. (2005): Führen im Einsatz. Fachbuchreihe Brandschutz. 2. Auflage. Verlag Kohlhammer. 228 S.
- Schläfer H. (1998): Das Taktikschema. Merkblätter zur Feuerwehr-Einsatzlehre. Verlag Kohlhammer.
- Schreyögg G. (2003): Organisation. Grundlagen moderner Organisationsgestaltung. Mit Fallstudien. 4. Auflage. Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler. 649 S.

Massenbewegungen
Mass movements
Glissements de terrain
Movimenti franosi

MODELLO PROBABILISTICO DI INNESCO DI FRANE SUPERFICIALI NEI BACINI IDROGRAFICI ALPINI

SOIL SLIP TRIGGERING MODEL FOR ALPINE CATCHMENTS

Caterina Cazzaniga¹, Simonetta De Donatis², Marco Pilotti³, Enrico Sciesa⁴

RIASSUNTO

Nell'ambito del progetto di cooperazione europea NAB (Interreg IIIB) è stato realizzato un modello per la previsione dell'innesco di frane superficiali, a seguito di eventi meteorologici intensi. Tale modello si compone di un modulo idrologico, che simula la trasformazione afflussi/deflussi in risposta ad uno ietogramma assegnato. L'andamento temporale della saturazione in ciascuna cella, nella quale il bacino è stato suddiviso, viene analizzato in continuo da un modulo di verifica di stabilità, fornendo in ciascun istante la mappa dei fattori di sicurezza.

Regione Lombardia ha quindi elaborato una mappa della pericolosità idrogeologica nei bacini alpini, utilizzando tale modello in associazione con il Sistema Informativo Bacini a Corsi d'Acqua, realizzato nell'ambito di un precedente progetto europeo. In questo modo è stato possibile ottenere dati dettagliati in oltre 2900 bacini della Lombardia. Tali dati sono basilari per una corretta pianificazione territoriale e per una programmazione delle opere di difesa del suolo a scala di sottobacino idrografico.

Keywords: Scivolamento superficiale, bacino idrografico alpino, modello idrologico, mappa della pericolosità idrogeologica.

ABSTRACT

In the frame of the NAB Project (Interreg IIIB), in order to forecast soil slips triggering as a consequence of saturation build-up during heavy rainfall events, a GIS system was developed. A "not strictly statistical model was built; this model is made up of an hydrologic part, which simulate rainfall-runoff formation and the time evolution of soil saturation. The water content within each cell in which the basin is subdivided is used as a basis for computing the safety factor of the stability of each cell as a function of time during the event.

In order to create an hydro geological hazard map, Regione Lombardia combined the elaborated model and the output of a previous project, the Stream and Catchment Informative System, which makes the semi-automatic calculus of peak flow and the magnitude in a small

¹IREALP, via M. Gioia 72, 20124, Milano, Italy

²Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio, U.O. Tutela e Valorizzazione del Territorio, via Sasseti 32/2, 20124 Milano, Italy (Tel.:+39-02-67654177;Fax:+39-02-67652938; email: simonetta_de_donatis@regione.lombardia.it)

³Università degli Studi di Brescia, Facoltà di Ingegneria, Dipartimento di Ingegneria Civile, via Branze 38, 25123 Brescia, Italy

⁴Regione Lombardia, Direzione Generale Territorio, U.O. Tutela e Valorizzazione del Territorio, via Sasseti 32/2, 20124 Milano, Italy

catchment. In this way it was possible to enrich the data about hazard zoning in over 2900 catchments in Lombardy. The results reached have remarkable importance for land planning and for environmental emergency management.

Keywords: Soil slip, Alpine catchment, hydrologic model, hydro geological hazard map.

INTRODUZIONE

Il problema dell'individuazione delle aree alpine a maggiore predisposizione nei confronti dei fenomeni di innesco di frane superficiali durante eventi meteorologici estremi, in termini di durata e/o di intensità, riveste grande importanza nell'ambito della pianificazione dell'utilizzo del territorio. Anche qualora tali frane non investano direttamente ambiti antropizzati, esse, oltre a concorrere sensibilmente all'apporto solido al reticolo alveato, sono talvolta all'origine di colate detritiche che possono indurre situazioni di grande pericolo, sia nei confronti dei beni materiali esposti, sia della stessa vita umana.

Nell'ambito del progetto di cooperazione europea, NAB (Interreg IIIB – Spazio Alpino), è stato quindi realizzato un codice di calcolo in grado di individuare, all'interno di un bacino idrografico, le aree a maggiore propensione nei confronti di questa fenomenologia (IReR, 2005). Si è inteso raggiungere questo obiettivo mediante una modellistica che potesse innestarsi su di un precedente lavoro effettuato, anche in questo caso all'interno di un progetto Interreg IIIB denominato CatchRisk (A.V., 2005), relativo alla estrazione dei reticoli di drenaggio a partire da modello di elevazione del terreno (DEM), sfruttando così naturalmente l'informazione già disponibile relativa a tutti i possibili sottobacini che possono estrarsi dal DEM regionale. Il metodo individuato deve, dal punto di vista applicativo, intendersi come un codice dipendente dalla parte di analisi geomorfologica precedentemente sviluppata. Il modello è distribuito ed opera a scala di bacino, avvalendosi di informazioni in ingresso di tipo raster.

Tale modello deve superare le limitazioni intrinseche ad approcci di tipo puramente statistico, fornendo, in linea di principio, la collocazione spaziale, l'entità e il tempo di innesco nell'ambito di un assegnato evento meteorico di fenomeni di scivolamento superficiale. Dal punto di vista pratico, a prescindere dalle difficoltà tecniche della realizzazione del compito, si deve tenere presente che si tratta evidentemente di un primo passo in tale direzione, ben consapevoli delle enormi, se non invalicabili, difficoltà che tuttora permangono per un'adeguata caratterizzazione stratigrafica, pedologica, idraulica e meccanica dei versanti e dei bacini oggetto di potenziale analisi.

Volendo riprodurre la genesi fisica del processo di scivolamento superficiale, il modello è costituito da due moduli: il primo idrologico e il secondo di stabilità di versante.

MODULO IDROLOGICO

Per quanto riguarda tale modulo, esso prende forma in un modello distribuito, in grado di simulare la trasformazione afflussi deflussi in occasione di eventi meteorologici estremi. Il modello deve operare partendo dalla descrizione della topografia mediante DEM su grigliato regolare e deve dunque fornire, ad ogni punto del reticolo coprente e in corso di evento, l'idrogramma superficiale e subsuperficiale, oltre al valore puntuale di saturazione corrente del suolo. Il meccanismo di crescita della saturazione simulato deve essere sia dall'alto

(hortoniano o per *infiltration excess*) sia dal basso (*dunniano* o per *saturation excess*) potendo le due modalità coesistere nell'ambito dello stesso bacino.

La grandezza fondamentale nella simulazione della risposta di piena di un bacino è costituita dall'ingresso meteorico. Per quanto sia possibile, in linea di principio, specificare sia piogge di tipo spazialmente uniforme per l'intero bacino, sotto forma di un vettore di dati, sia solidi di pioggia nella forma di matrici di altezza di precipitazione associate a ciascun passo temporale, al momento è parso opportuno limitarsi a considerare piogge spazialmente uniformi e temporalmente costanti. In questo caso la precipitazione di assegnato tempo di ritorno può desumersi dalla curva di possibilità pluviometrica della zona di interesse.

Una schematizzazione della struttura attuale del modello idrologico è mostrata in figura 1. Tale struttura vede ciascuna cella legata logicamente alle circostanti, essendo ciascuna cella rappresentativa di una porzione elementare di versante.

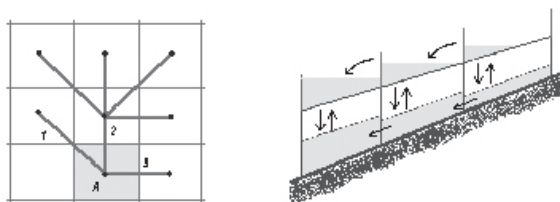


Fig 1: Il deflusso nella cella A viene calcolato solo dopo aver calcolato il deflusso ad essa proveniente dalle celle 1, 2 e 3. Le modalità di trasferimento tra celle sono poi quelle proprie della modellistica a parametri concentrati, ovvero basata su schematizzazione a serbatoio.

Fig 1: The slope is subdivided in cells, which are considered as reservoirs communicating in cascade.

Quando la precipitazione (pioggia lorda) cade sul suolo subisce un primo fondamentale processo. Parte della pioggia può infiltrarsi e parte (pioggia netta) può rimanere in superficie. I due contributi concorrono ciascuno alla formazione di due idrogrammi, ben distinti per le loro caratteristiche. In generale, l'idrogramma connesso alla pioggia netta è quello responsabile del deflusso di piena e dunque sui suoi meccanismi di formazione e di trasferimento si concentrano le analisi volte alla protezione dalle piene. L'idrogramma connesso alla pioggia infiltrata, invece, ha una dinamica più lenta ed è quella che governa in larga misura le variazioni di saturazione del suolo e la dinamica della fase di esaurimento della piena e il successivo idrogramma di magra. Questo aspetto è fondamentale per le finalità del presente lavoro, poiché è proprio l'idrogramma connesso alla quota parte di pioggia infiltrata che determina l'instabilizzazione del suolo.

Il modello idrologico svolge un ruolo fondamentale poiché determina il grado di saturazione nei diversi livelli della cella. Nel presente lavoro si rigetta come irrealistica l'ipotesi stazionaria di Montgomery e Dietrich (1994), ipotesi sulla quale sono basati ancora molti contributi presenti in letteratura, a favore di una modellazione dinamica in corso di evento. In definitiva, quindi, si propende per un modello che, almeno in linea di principio è in grado di predire *dove* si verificherà il collasso e anche *quando*. Il modello implementato nel lavoro si basa su di un meccanismo di determinazione della pioggia netta secondo lo schema di Green e Ampt (1911) e simula una successiva redistribuzione della saturazione all'interno del singolo concio di versante come pure la successiva propagazione nelle celle ad essa collegate, secondo uno schema a serbatoi potenzialmente non lineari.

L'utilizzo del modello è estremamente semplice e presuppone:

- La disponibilità del modello di elevazione del terreno per il bacino che si intende analizzare
- Uno ietogramma da utilizzare per la simulazione (eventualmente creato dal modello a partire da opportune ipotesi o dalla statistica delle piogge intense)
- La disponibilità delle mappe di parametri necessari all'utilizzo dello schema di Green-Ampt. Queste mappe riguardano la profondità del suolo interessato fino alla principale discontinuità di permeabilità, la mappa di porosità, la suzione capillare e la permeabilità satura.

A partire da queste quantità è possibile simulare l'evoluzione di umidità nel suolo del bacino.

Il modello è stato applicato in Lombardia al bacino del Torrente Bagnadore, nei comuni di Zone e di Marone, in Provincia di Brescia (Figura 2). L'area in esame è relativa ad un sottobacino tratto dal DEM regionale a passo 10 m, con area planimetrica di 1.24 kmq, quota massima di 1721.47 m e quota minima di 771.31 m; il T di corrivazione secondo Giandotti è di 0.38 ore, ossia 1368 secondi.

Ciascuna cella in cui è diviso il bacino viene associata, all'interno del modello, al reticolo coprente o a quello permanente. Il comportamento idrologico della porzione di versante o di canale rappresentato dalla cella viene simulato mediante un modello di tipo concentrato, parametrizzato in termini di grandezze locali. In particolare, sulla base del valore delle variabili di stato locali e del comportamento delle celle idraulicamente a monte, ciascun modello fornisce, ad ogni istante di tempo, una uscita locale (il deflusso superficiale e quello ipodermico) la quale viene trasferita alla porzione elementare di bacino (cella) che, nella descrizione di reticolo, è posta a valle. In tale modo, si riproduce la risposta di piena del bacino come una corralità di risposte locali, il cui legame causa-effetto è automaticamente tenuto in conto dalla struttura topologica del reticolo di drenaggio. Dal punto di vista della parametrizzazione del modello a scala di cella, essa è effettuata legando tra loro un parametro globale, oggetto della taratura, modulato però da variabili che sono localmente note (e.g., la pendenza locale). E' chiaro che l'impostazione distribuita del modello consente di ottenere una risposta di tipo distribuito. Si ha cioè la possibilità di conoscere ad ogni istante temporale e in ogni punto del reticolo canalizzato l'andamento dell'onda di piena e il contenuto locale di umidità di ciascuna cella del bacino.

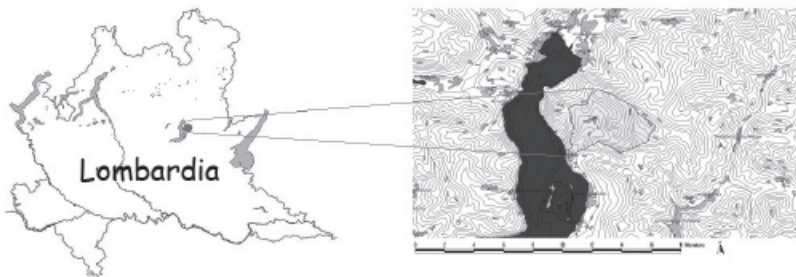


Fig 2: Ubicazione del bacino del torrente Bagnadore (BS).

Fig 2: Bagnadore stream localisation.

Il reticolo canalizzato derivato da quello coprente è stato estratto con una soglia dipendente dalla pendenza, secondo il criterio:

$$A > aS^{-e}$$

dove A=area drenata; a=0.01 [kmq]; S= pendenza locale; e= 1.7.

Infine, il coefficiente di filtrazione K è stato posto pari a 0.004 m/s, valore che pare adatto al tipo di suolo che ci si può attendere nel bacino. Si è adottata una distribuzione di parametri uniforme, tranne che per la profondità del suolo, che è stata assunta variabile tra 0.2 e 0.8 m sulla base di una funzione della elevazione rispetto alla sezione di chiusura e della pendenza locale.

Φ (porosità)	0.3	[-]
Ψ (carico di suzione)	7	[cm]
K (conducibilità idraulica)	40	[cm/ora]
Y (profondità suolo)	0.2<Y<0.8	[m]
Cond. Iniziale	Celle totalmente asciutte	

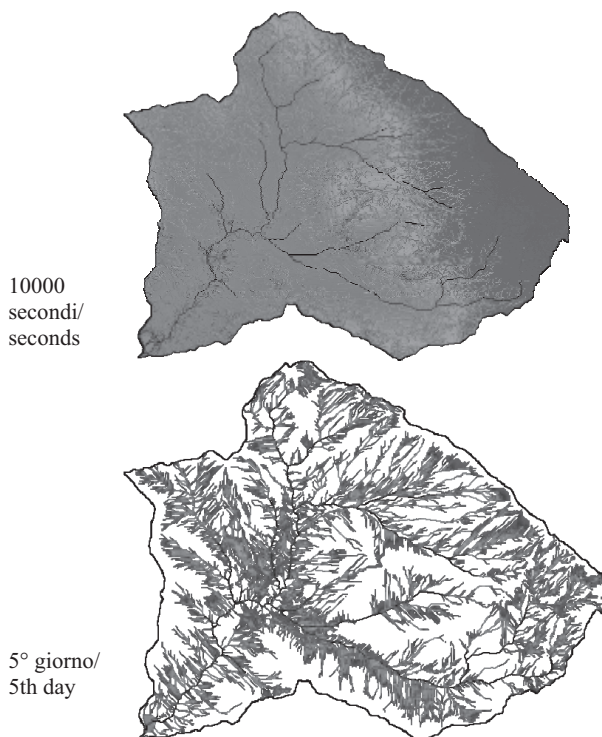


Fig 3: Progressione temporale delle mappe di saturazione del suolo

Fig 3: Soil saturation evolution

Il bacino è stato sollecitato con una precipitazione uniforme di 5 cm/ora per tre ore (Figura 3). Sulla base della statistica delle piogge intense disponibile per la zona in esame, tale evento ha tempo di ritorno pluricentenario. In realtà si deve considerare che il sistema parte da una condizione di totale assenza di umidità nel suolo. Conseguentemente, è plausibile che le prime due ore di precipitazione servano a portare il sistema in condizioni di saturazione, quale quella probabilmente presente al termine di periodi particolarmente umidi. Quindi è l'ultima ora di precipitazione che svolge il ruolo di evento di sollecitazione e, ad essa, si può attribuire tempo di ritorno centennale. Dopo 10 giorni il bacino ha restituito il 99 per cento del volume accumulato durante l'evento ed in alveo si ha una portata di 5 litri/secondo.

MODULO DI STABILITÀ DI VERSANTE

Per quanto riguarda il modulo di stabilità del versante rispetto agli scivolamenti traslazionali, è anch'esso a base fisica ed è accoppiato al modello idrologico, ricevendo da questo l'informazione relativa ai valori locali ed istantanei della saturazione. Il modello dovrà dunque interagire con i risultati della simulazione idrologica, permettendo di suddividere ciascun versante in un numero di concii elementari di dimensioni ritenute sufficienti a rappresentare correttamente il controllo topografico sull'evento. Il modello consente di effettuare le opportune verifiche di stabilità di ciascun concio sotto l'azione delle diverse forze agenti, al fine di permettere la mappatura, in corso di evento, del fattore di sicurezza di ciascun punto all'interno del sottobacino investigato e di individuare, quindi, le aree soggette a possibile collasso traslazionale.

Le prove effettuate con riferimento al bacino campione del torrente Bagnadore mostrano risultati molto soddisfacenti, sia in termini di idrogramma complessivo alla sezione di chiusura del bacino, sia in termini di distribuzione spazio-temporale della saturazione. Un'importante conclusione cui si è pervenuti, in nessun modo ottenibile con approcci più semplificati, riguarda la possibilità di innesco di fenomeni di instabilizzazione ad evento meteorico terminato, anche da molte ore. Tale fatto, apparentemente anomalo, trova una chiara spiegazione nella dinamica del modello. Inoltre, lo schema di Green-Ampt permette di individuare in modo naturale la posizione del fronte saturo che avanza dalla superficie verso il basamento impermeabile (almeno nella schematizzazione qui adottata) del concio. Tale superficie è una seconda possibile superficie di scivolamento preferenziale, che va ad aggiungersi alla superficie costituita dall'interfaccia con il citato basamento. Conseguentemente, la verifica di stabilità viene effettuata per tutte e due le superfici distinte, individuando così due diversi valori del Fattore di Sicurezza (FS): il primo superficiale e il secondo profondo.

Si è quindi qualitativamente verificata la capacità di modellazione di scenari di instabilizzazione, utilizzando il bacino del torrente Bagnadore e modellando la risposta in corrispondenza di un evento intenso a tempo di ritorno ventennale, costituito da 150 mm di precipitazione in tre ore. Si nota in primo luogo che, per quanto il bacino venga ad essere interessato da una franosità diffusa, non si ha un collasso generalizzato, come invece accade frequentemente qualora si utilizzi l'approccio di Montgomery e Dietrich (1994). Tale fatto è essenzialmente conseguenza di due diverse condizioni: in primo luogo, l'aver abbandonato l'ipotesi di funzionamento a regime (*tanto piove a monte, tanto fluisce nella cella*) e in secondo luogo nell'aver lasciato spazio alla coesione che deve *evidentemente* essere presente

in modo rilevante. Le zone di fondovalle o ai piedi dei versanti sono frequentemente interessate da valori minimi di FS che si manifestano a distanza dal termine dell'evento. Infine, in figura 4 si riportano le mappe di FS prese al termine della precipitazione e dopo due giorni. Come si nota, la dinamica temporale del fattore FS è molto rapida per il livello superficiale mentre è molto lenta per i processi connessi al deflusso ipodermico alla Darcy. Si vede allora che i livelli superficiali risentono rapidamente del processo di desaturazione. Gli spartiacque tornano rapidamente a livelli elevati di stabilità mentre le zone di confluenza del deflusso mantengono per tempi lunghi valori bassi, o anche decrescenti, di FS.

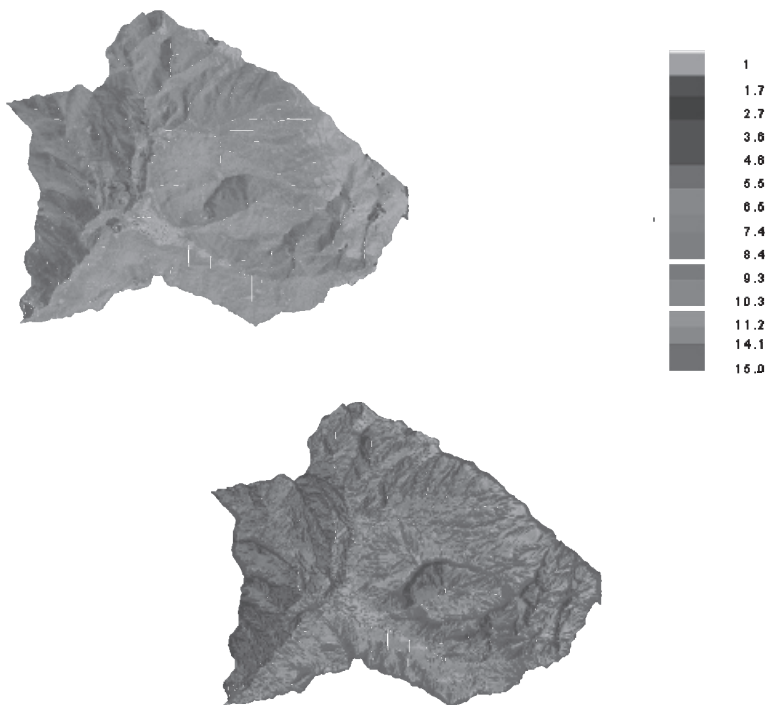


Fig 4: Evoluzione temporale del fattore FS relativo al livello superficiale – Al termine della precipitazione e due giorni dopo

Fig 4: Stability Factor evolution (superficial level) – At the end of the rainfall and after two days

A questo punto non si può tuttavia fare a meno di notare che tutta la modellizzazione effettuata, pur nel suo considerevole livello di complessità, dipende criticamente da alcune distribuzioni di parametri. Tra queste, quelle che maggiormente influenzano il processo sono la permeabilità satura (nel nostro caso supposta spazialmente costante) la distribuzione della profondità del suolo e la coesione efficace, combinazione di un effetto intrinseco e di un effetto radicale. Qualora si proseguiva in questa linea di ricerca, sembra fondamentale

indirizzare gli sforzi sperimentali ad una stima di campo di queste quantità, con riferimento a situazioni bene individuate dove la fenomenologia dei *soil slip* sia storicamente conclamata.

ELABORAZIONE DI UNA MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ DI FRANA A SCALA DI SOTTOBACINO IDROGRAFICO

La determinazione della pericolosità a scala di piccolo bacino idrografico montano è propedeutica per determinare le zone a maggior rischio su cui programmare interventi di difesa del suolo e per la pianificazione territoriale. Per tale motivo, utilizzando il sistema informativo Bacini e Corsi d'Acqua (SIBCA), sviluppato da Regione Lombardia nell'ambito del citato progetto CatchRisk, è stato possibile suddividere il territorio montuoso lombardo in oltre 2900 piccoli bacini, di cui sono stati calcolati per ciascuno oltre 50 tra parametri morfologici ed idraulici, indici geologici e di franosità e valori di portata di massima piena e di magnitudo, intesa come massima quantità di materiale detritico trasportabile dal torrente in caso di piena.

A partire da questi dati, ne sono stati individuati alcuni, più significativi per una valutazione di pericolosità, con i quali è stato possibile elaborare una metodologia speditiva che ha permesso di caratterizzare i singoli bacini in funzione della loro predisposizione al dissesto idrogeologico. In particolare sono stati elaborati i dati relativi:

- all'indice di Melton, che fornisce un dato morfologico, legato alla pendenza del bacino, correlabile allo stato di "maturità" del bacino stesso,
- all'indice di franosità, che fornisce indicazioni sullo stato di dissesto presente all'interno del bacino;
- alla magnitudo, che può essere assimilata all'intensità di un evento catastrofico.

A tale elaborazione si è aggiunto il dato ottenuto mediante l'utilizzo del modello di innesco di soil-slip qui presentato.

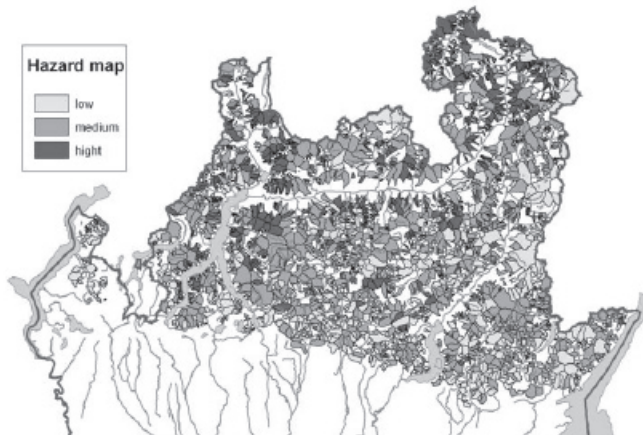


Fig 5: Mappa della pericolosità idrogeologica dell'area alpina lombarda
Fig 5: Lombardy Alpine area: hydro-geological hazard map

Tutti gli oltre 2900 bacini hanno così ottenuto un valore relativo di pericolosità, che non ha in sé un significato assoluto, ma che permette di discriminarli tra loro tramite un semplice confronto dei valori calcolati. E' stata così definita una "classifica" di tutti i bacini, dal più pericoloso, al meno pericoloso, nella quale sono poi state scelte delle classi di pericolosità sulla base di limiti arbitrari.

Il tutto è riportato nella carta (Figura 5) dove il valore di pericolosità idrogeologica relativa è rappresentato tramite una scala cromatica.

BIBLIOGRAFIA

- A.V. (2005): "Mitigation of hydro-geological risk in Alpine catchments – CatchRisk, Program Interreg III B - Alpine Space, Final Report", 189p.
- Green W. H., Ampt G. (1911): "Studies of soil physics, Part I, The flow of air and fluids through the soil". Jour. Agric. Sci., Vol. 4, 1-24.
- IReR (2005): "Sviluppo di un modello probabilistico di innesco di frane superficiali nei bacini idrografici alpini per la valutazione del rischio idrogeologico", 101p.
- Montgomery, D.R., Dietrich, W.E. (1994): "A Physically Based Model For The Topographic Control On Shallow Landslides", Water Resources Research, Vol. 30, n°4, 1153-1171.

GEOMORPHOLOGICAL IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON ALPINE GLACIAL AND PERIGLACIAL AREAS

EXAMPLES OF PROCESSES AND DESCRIPTION OF RESEARCH NEEDS

Marta Chiarle¹, Giovanni Mortara¹

ABSTRACT

The alpine glacial and periglacial environment is a sensitive indicator of climate change, and is promptly reacting to atmospheric warming. Several instability processes which have been recently reported from high altitude alpine areas can reasonably be considered as first effects of accelerated climate change on cryospheric systems and can thus also represent significant terrestrial indicators of climate change, besides their significant socio-economic, environmental and hazard impacts. These phenomena are, in many cases, poorly documented, as they often occur in remote, uninhabited areas. This paper presents a review of geomorphological processes, distinguished by typology, that have been documented, mostly in the Italian Alps, since the beginning of the 21st century. The impacts of these processes on natural resources and hazard have been discussed; suitable investigation techniques and research needs for process understanding and monitoring have been analysed. This information is essential in order to build reliable scenarios for glacial and periglacial areas evolution and to supply technicians and decision makers with effective tools to improve hazard assessment and natural resources management.

Keywords: Italian Alps, cryosphere, climate change, natural hazards, resources management

INTRODUCTION

The alpine glacial and periglacial environment is a sensitive indicator of climate change, and is promptly reacting to atmospheric warming (Kääb et al., 2007a). Its sensitiveness is both due to glaciers and permafrost occurrence, and to an air temperature increase in the 20th century in the Alps, which has been twice that on a planetary scale (Brunetti et al., 2006). Glaciers respond in a straightforward and clearly visible way to temperature and precipitation variations and are thus recognized as the best terrestrial indicator of climate change (McCarthy et al., 2001). In the Alps, general glacier retreat started at the end of the Little Ice Age (LIA): following the last temporary advance in the period 1970-1986, glacier shrinkage has been continuous, but a marked acceleration has been observed since 2003 (Mercalli et al., in press). Permafrost response, on the contrary, is more complex and delayed and process understanding is still poor compared to glaciers, due to the difficulty of making direct observations. Permafrost behaviour under climate forcing has thus to be inferred not only from direct measurements (e.g. borehole temperature series, Harris et al., 2001b) but also

¹ CNR-Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, Sede di Torino, Strada delle Cacce 73, 10135 Torino, Italy (Tel: +39-11-3977833; Fax: +39-11-343574; email: marta.chiarle@irpi.cnr.it)

from a variety of indirect indications (e.g. rock glacier speed, Käab et al., 2007b). European mountain permafrost temperatures are generally only a few degrees below zero, so a slight air temperature increase can cause widespread permafrost degradation (Harris et al., 2001a). In this context, some instability processes which have been recently reported from high altitude alpine areas can reasonably be considered as the first effects of accelerated climate change on cryospheric systems and can thus also be used as significant terrestrial indicators of climate change (Evans and Clague, 1994; Ballantyne, 2002). These phenomena are, in many cases, poorly documented, as they often occur in remote, uninhabited areas. This paper presents a review of geomorphological processes, distinguished by typology, that have been documented, mostly in the Italian Alps, since the beginning of the 21st century. The aim of the review is to contribute to the assessment of present and expected geomorphological impacts of climate change in high altitude mountains and related hazards.

RECENT AND ONGOING GEOMORPHOLOGICAL PROCESSES

Lake growth at glacier margin

In the current period of marked glacier recession numerous lakes have appeared in the areas vacated by ice or on the glaciers themselves: once formed, lakes tend to expand due to thermokarst processes. The most hazardous cases are represented by the Roche Melon Glacier lake (French Alps) and the Effimero Lake on the Belvedere Glacier (Monte Rosa Group).

The shrinkage of the Roche Melon Glacier has caused significant morphological changes in the wide top plateau over the last 15 years. Around 1980, a supraglacial-marginal lake (3200



Fig.1: The Roche Melon Glacier supraglacial-marginal lake in 2003. Photo by A. Tamburini.

m a.s.l.) began to fill the large depression between the left side of the glacier and the north-western Roche Melon crest. During hot summer seasons 2003 and 2004, the Roche Melon lake (3200 m a.s.l.) reached a volume of about 600 000 m³ and a freeboard of just 15 cm: because of the risk posed to the village of Bessans in case of lake outburst, French authorities decided the artificial lowering of lake stage (Jobard, 2005; Fig.1).

At the Belvedere Glacier a surge-type evolution caused the formation of a large depression at the foot of the east Monte Rosa wall, filled since 2001 by a supraglacial lake (Fig. 2). The lake basin (2100 m a.s.l.) reached its maximum volume (over 3 M m³) during an anomalous heat wave in June 2002. Considering the threat of an impending glacial outburst, threatening the Macugnaga village 2.5 km downstream, rapid emergency actions were initiated by the



Italian Civil Defense Department. After a modest glacial outburst occurred in June 2003, the depression has remained almost empty (Kääb et al., 2004).

Fig.2: Monte Rosa east face and Belvedere Glacier. The Effimero Lake is at maximum extent in 2002. In the lower part of the image, rock fall and debris flow paths running into the lake are visible. Photo courtesy of the Italian National Civil Protection Dept.

Debris flows

Debris flows seem to be increasing in frequency at the margins of glaciers, in part as a consequence of general glacier retreat and exposure of large quantities of unconsolidated, unvegetated, and sometimes ice-cored glacial sediments. These sediments are easily mobilized by floods resulting from heavy precipitation, snowmelt, glacial lake outbursts, and melt of ground ice or buried ice bodies (Harris & Gustafson, 1993; Clague & Evans, 2000;



Fig.3: Melting of a buried ice mass, exposed in a 20 m long detachment zone at 3000 m a.s.l., started the July 2005 debris flow in Val di Fosse. Photo courtesy of Public Works Service, Bolzano Province.

Chiarle et al., 2007). A debris flow occurred in fair weather on 29 July 2005 in Val di Fosse (eastern Italian Alps). Melt of a buried ice mass triggered a debris flow of 15000 m³ that flowed downslope for over 1 hour, cutting off a popular trail (Fig. 3). In July 2003, during dry weather, a sequence of debris flows occurred at the foot of Frébouge Glacier (Mont Blanc Massif).

The flows deeply incised the alluvial fan and deposited about 30 000 m³ of coarse sediment. The July 17 debris flow may have been triggered by the release of an englacial water pocket. The debris flows occurred in the following days likely developed from the failure of an ice dam formed by ice avalanching from the Frébouge Glacier front (Deline et al., 2004).

Paraglacial adjustment of moraines

Ice-core melting inside the LIA moraines or pressure reduction due to rapid glacier lowering can significantly modify the shape of the moraines (Mortara & Chiarle, 2005).

An impressive scar failure developed in the Locce Glacier frontal moraine (Monte Rosa Group), as a consequence of rapid exhaustion of a glacial surge which had extraordinarily

increased the Belvedere Glacier thickness in the period 2001-2004 (Fig. 4). In the same way, the crest of the Belvedere Glacier right lateral moraine is gradually collapsing.

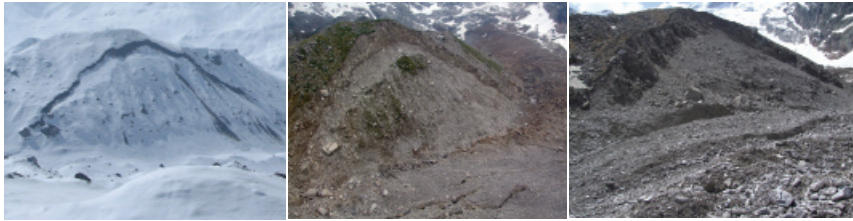


Fig.4: Evolution of the Locce Glacier moraine failure from spring 2005 (left, photo courtesy of Regione Piemonte), to summer 2006 (centre) and summer 2007 (right).

The hot summer 2003 caused the accelerated melt of the ice core of Ghiacciaio dei Forni lateral moraine, at 2600 m a.s.l. The ice core melting activates debris and mud-flows resulting in a wide instability area in the inner moraine flank, wasting approximately 40 000 m³ of debris (Pelfini et al., 2004).

High altitude rock falls/avalanches

Large rock and rock/ice avalanches occurred in high mountain in the Alps in the period 2004-2007 (Punta Thurwieser, Italy: volume 2.6 M m³, Fig. 5; Drus, Mont Blanc Massif, French side: volume 0,5 M m³; Monte Rosa east face: volume some hundreds of thousands of m³, Fig. 6), while innumerable small sized rock falls occurred during the hot Summer of 2003. At elevations higher than 3500 m a.s.l., where permafrost occurrence is most likely, massive ice with a thickness of some decimetres was sometimes exposed in the detachment zones (e.g. the “Cheminée” rock fall, 3700 m a.s.l., Matterhorn, August 2003; the “Marco and Rosa Hut”



Fig.5: Collapse of rock pillar initiating the 24/09/2004 rock avalanche at Punta Thurwieser. Photo by J. Rozman.

rock fall, 3600 m a.s.l., Bernina, Central Italian Alps, August 2003, Fig. 7); in other cases (Punta Thurwieser 2004 rock avalanche, 3658 m a.s.l.; Brenva 1997 rock-ice avalanche; Monte Rosa east face 2007 rock-ice avalanche, 4000 m a.s.l.; Rocciamelone 2007 ridge deformation, 3200 m a.s.l., Fig. 8, NW Italian Alps) water flowing out the rock wall was observed a few days before collapse occurrence (Cola, 2005). Both observations strengthen the hypothesis of a role of a degrading permafrost in instability development.

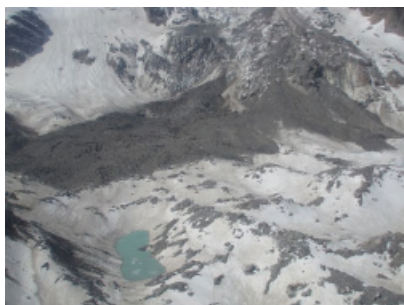


Fig.6: Detachment (left, circle) and accumulation (right) zone of the rock-ice avalanche occurred on Monte Rosa east face on 21/04/2007. The main event was preceded by small rock falls. Photos by P.Semino and M.Cucchi.



Fig.7: Massive ice outcroppig in the Marco and Rosa Hut rock fall scar (August 2003). Photo courtesy of CAI Valtellinese.



Fig.8: Western Rocciamelone crest. Since 2006, rock slope deformation became apparent, arising concern about a possible collapse. The person in the circle is for scale. Photo by P. Intropido.

Ice falls/avalanches

The degradation of the mountain slope glacial cover related with climate change has produced ice masses fragmentation, circulation of water at the ice-rock contact even at high elevation, lack of support at the foot of hanging glaciers. The ice-avalanche occurred on August 25, 2005 on the Monte Rosa east face, which has experienced in the last 20 years a drastic decrease in glaciation, is one of the largest ever recorded in the Italian Alps. An overall volume of about 1.1 M m^3 of detached ice was estimated from multi temporal aerial photo analysis (Fig. 9). A blow peak of 140 km/h was recorded by a meteorological station located near the accumulation area. The change of glacier front position on a complex topography can also affect ice stability: due to glacier retreat above a rocky step, the front of the Frébouge Glacier (Mont Blanc Massif) experienced repeated ice falls between 2002 and 2003 (Fig.10), until glacier front reached a more stable geometry (Deline et al., 2002). In 2002, the avalanche interrupted the Gervasutti Hut path.



Fig.10: Frontal view of the 18 September 2002 Frébouge ice avalanche. Photo by P. Deline.



Fig.9: The circle shows an helicopter flying in the detachment zone of the Mt. Rosa ice avalanche. The scar was about 50 m high. Photo by W. Giulietto

Glacier change

The large part of glaciers shows enhanced volume and area reduction, as confirmed by glacier mass balances (10-15 cm of ice melted per day during the hot summer 2003). The most commonly reported changes are: glacial front retreat of tens of meters/year (sometimes more than 100 m, e.g. Scerscen Lower Glacier, Central Italian Alps, Citterio et al., 2007), increase in debris cover, development of large hollows on glacier surface (e.g. Locce and Grandes Murailles glaciers, Western Italian Alps), glacier fragmentation, enhanced glacial flow. The most impressive cases are represented by recent evolution of the Brenva, Invergnan (Fig. 11), Belvedere glaciers, NW Italy, and the Lamar Serac at Punta San Matteo, Central Alps (Scotti & Cola, 2006).

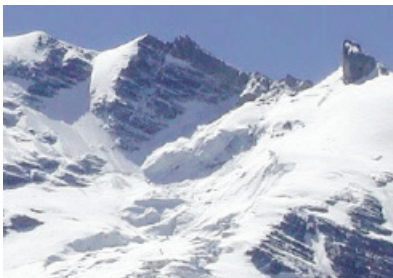


Fig.11: Upper part of the Invergnan Glacier in spring 2001 (left) and summer 2003 (right). Glacier fragmentation (not observed in surrounding glaciers) proceeded until bedrock outcropping. Photos by A. Giani and A. Galluccio.



Fig.12: The Malavallo Glacier. Photo by G.L. Franchi.

Ice calving, related to glacial lake growth at the front of retreating glaciers, is another particular hazardous phenomenon which is increasing in frequency. Thermokarst processes facilitate the sudden detachment of ice lamellas which produce dangerous anomalous water waves (Diolaiuti et al., 2006). Intense calving processes facilitate the breaking of the Malavallo Glacier front, Eastern Italian Alps (Fig. 12). A sudden outburst glacial lake (discharge 1 M m^3) took place from the Malavallo ice-contact lake during the Summer 2005.

IMPACTS ON NATURAL RESOURCES AND HAZARD

Landscape evolution in glacial and periglacial areas has significant socio-economic and environmental impacts (Haeberli et al., 1997).

From the economic point of view, glacier retreat and permafrost changes induced by climate variations mainly affect water resources and tourist activities. After a period of relative water abundance due to glacier melting, in recent years glacier shrinkage, coupled with a marked snow cover reduction observed in alpine areas, is significantly affecting water supply from glacierized basins. At the Italian national scale, this water shortage is especially noticed in summer time, when hydroelectric power plants strongly rely on water supplied by glaciers. At a local scale, glacial water reduction in summer time may have heavy consequences on water supply to mountain villages and huts relying on glaciers, because of peak water demand due to tourist crowding. These problems are going to get worse and worse.

Glacier retreat and permafrost changes are likely to have an impact also on hydrological and sediment cycles, but there's still a lack of knowledge about this topic in alpine areas. Reduction in snow and glacial ice cover may lead to winter frost penetration in uncovered areas (Wegmann et al., 1998): because of reduced infiltration rates in frozen grounds, increased surface runoff can be expected and a consequent depletion of groundwater reservoirs and an increase of flood peaks. Permafrost degradation might have an opposite effect. Expected sediment budget changes are mainly related to the exposure of large quantities of unconsolidated sediments due to glacier vanishing, and to debris supply from previously frozen grounds. Modification of sediment fluxes are likely to affect engineering works along channels (e.g. defence works, hydropower basins).

Geomorphological changes involving glacial and periglacial areas are having heavy consequences also on tourist exploitation. On one side, glacier vanishing is a threat to landscape attractiveness. On the other side, due to glacier shrinkage summer skiing resorts are running into difficulties. Moreover, morphological changes are affecting climbing routes on ice (Fig.13) and trekking trails, which in some cases had to be abandoned (e.g. the glaciological path in the Forno Glacier basin, Pelfini et al., 2004).



Fig.13: North Ciarforon face, Gran Paradiso Massif, in 1920 (left) and 2000 (right, photo by SMI). The famous route on ice has been greatly modified by the strong shrinkage of the peak glacial cover.

An other important consequence of ongoing processes is an increase of natural instability and related hazards in some cases, or also a change in location, magnitude, frequency, and timing of events (Gruber & Haeberli, 2007). Climbers and hikers are most exposed to hazards arising from climate warming in high altitude mountains, as enhanced rock fall activity along many climbing routes previously considered safe has been observed in recent years, while hanging glacier stability seems decreasing. Nevertheless, large events pose also a risk to inhabitants and infrastructure in valleys prone to rock/ice avalanches or glacial outbursts. These events can reach very high velocities (up to 200 km/h), large volumes (up to millions of cubic meters) and long travel distance (up to tens of kilometres), considered also the high mobility shown by mass movements in glacial environment (Evans & Clague, 1988; Dutto & Mortara, 1992). Recent examples are represented by the 1997 Brenva rock-ice avalanche (Mont Blanc Massif, Italian side, Barla et al, 2000), or by risky conditions in 2002 and 2003 for the Macugnaga village due to Lago Effimero outburst risk.

Rock and debris mass settlement due to permafrost degradation, even if not leading to failure, may affect the stability of building foundations and structures on ice-bearing ground, like cableways or mountain huts (e.g. Capanna Carrel, Matterhorn; Lambronecca hut, Monte Rosa).

RESEARCH NEEDS FOR PROCESS UNDERSTANDING AND DEVELOPMENT OF MITIGATION STRATEGIES

Monitoring present geomorphological evolution of glacial and periglacial mountain areas is a priority, considering the rapidity of climate change, the shift of cryospheric hazard zones, the remoteness of many hazard source areas, besides the fact that changes are going beyond any previously known limit. Monitoring can be carried out by mean of field observations, ground-based instruments or remote sensing techniques.

The establishment of networks of observers formed by local, trained people (mountain guides, rescue people, hut keepers,...), coordinated by researchers or technicians, represent a low-cost, effective way to get a continuous and widespread monitoring of high altitude, remote

areas. An interesting experience in this direction started in the Valle d'Aosta Region (NW Italy) in summer 2005, in the framework of the Interreg project "PermaDataRoc" («Elaboration d'une base de données et expérimentation de méthodes de mesure des mouvements gravitaires et des régimes thermiques des parois rocheuses à permafrost en haute montagne»). The project, led by Fondazione Montagna Sicura in cooperation with EDYTEM Laboratory - Université de Savoie, ARPA Valle d'Aosta and CNR-IRPI Torino, aims at testing different methodologies and techniques for investigating the relation between permafrost degradation and high mountain rock wall stability (Deline et al., 2007). In order to fill the lack of information about high altitude rock fall events, a systematic survey of present-day rock-falls/avalanches was set up, carried out by mountain guides, trained for the purpose. An extensive monitoring of this kind allows to identify critical situations deserving a specific, accurate monitoring, to be carried out by instrumental means. The Belvedere glacial basin is a relevant example of this kind. During and after the emergency related to the Belvedere Glacier surge and Effimero Lake growth, investigations were carried out by mean of advanced techniques, in order to gain data relevant to the glacier dynamics, the lake evolution and the englacial and subglacial drainage system pattern (Tamburini & Mortara, 2005). Once the surge movement slowed down and the epiglacial lake emptied, the attention was driven towards the Monte Rosa east face, where enhanced rock-fall activity was observed since 1999 (Fischer et al., 2006). Ground based laserscanning and synthetic aperture radar, in addition to multitemporal photogrammetry, are the principal techniques adopted to survey rock wall evolution.

An other promising approach is represented by modern remote sensing techniques (Kääb et al., 2005). Digital terrain models (DTMs), derived from optical stereo data, synthetic aperture radar or laserscanning, represent valuable data sets for investigating high-mountain processes, on a regional scale. Multitemporal data, in particular, can be used for change detection and displacements measurements. The application of remote sensing techniques becomes essential in remote regions, where access is made difficult by physical and/or political reasons.

Monitoring outcomes will give valuable information for better understanding glaciers and permafrost system functioning and their reaction to climate change. Major research gaps refer to mountain permafrost evolution, and in particular to permafrost in steep bedrock (Gruber & Haeberli, 2007). An other important investigation issue relates to glacier-permafrost relationships and interactions, a this topic which has long be neglected (Haeberli, 2005).

Other important tools for process understanding and scenario development are represented by historical research on past natural instability events and geomorphological evolution (Deline 2001; Glaciorisk EU Project, <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>), instrumental monitoring of relevant environmental parameters like air and ground temperature (Gruber et al., 2003; Cremonese et al., 2007), laboratory tests (Davies et al., 2001), process modeling (Wegmann et al., 1998).

With reference to historical research, the main problem, as mentioned before, is represented by the lack of direct information on past instability events and geomorphological evolution, mainly due to the remoteness of investigated areas. An historical reconstruction is still possible when processes produced evident geomorphological features, but it won't allow to recognize small-sized events (also important when considering permafrost-related instability), or events involving ice/snow masses. In any case, knowledge of historical processes is only partially representative of future developments, considered that present changes are going beyond any previous known limit. Because of the lack of historical data and the novelty of present and future climatic scenarios, modeling is a key tool to investigate the response of

glacial and periglacial areas to climate change and forecast the impact of natural processes in the present climatic and environmental framework (Bottino et al., 2002; Huggel et al., 2004). Knowledge and process understanding coming from the above mentioned investigation activities are essential to build scenarios useful for hazard assessment and natural resource planning in high elevation mountain areas, aimed at mitigation strategies able to face climatic change. Moreover, testing up-to-date investigation technologies and methodologies in high altitude alpine conditions, will supply technicians and decision makers with effective technological and methodological tools.

CONCLUDING REMARKS

The availability of a larger number of well documented case records, together with models improving, will allow, in the next future, to outline reliable scenarios for geomorphological evolution in glacial and periglacial areas under changing climate, and related problems and hazards. On the other hand, emergency conditions faced in some critical occasions gave the opportunity of testing modern investigation techniques in extreme environments. In any case, the velocity of climate change and the observation that changes in glacier and permafrost equilibrium are shifting beyond historical knowledge require a careful and continuous monitoring of ongoing and potential processes, in order to define adaptation and mitigation strategies.

REFERENCES

- Ballantyne C.K. (2002): "Paraglacial geomorphology". *Quaternary Science Reviews*, 21, 1935-2017.
- Barla G., Dutto F., Mortara G. (2000): "Brenva Glacier Rock Avalanche of the 18 January 1997 on the Mount Blanc Range, Northwest Italy". *Landslide News*, 13, 2-5.
- Bottino G., Chiarle M., Joly A., Mortara G. (2002): "Modelling rock avalanches and their relation to permafrost degradation in glacial environments". *Permafrost and Periglacial Processes*, 13 (4), 283-288.
- Brunetti M., Maugeri M., Monti F., Nanni T. (2006): "Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series". *Int. J. Climatol.*, 26, 345-381.
- Chiarle M., Iannotti S., Mortara G., Deline P. (2007): "Recent debris flow occurrences associated with glaciers in the Alps". *Global and Planetary Change Special Issue on "Climate Change Impacts on Mountain Glaciers and Permafrost"*, 56, 123-136.
- Citterio M., Diolaiuti G., Smiraglia C., D'Agata C., Carnielli T., Stella G., Siletto G.B. (2007): "The recent fluctuations of Italian Glaciers during the last century: a contribution to knowledge about alpine glacier changes". *Geografiska Ann. A*, 167-184.
- Clague J.J., Evans S.G. (2000): "A review of catastrophic drainage of moraine-dammed lakes in British Columbia". *Quaternary Science Reviews*, 19, 1763-1783.
- Cola G. (2005): "La grande frana della Cresta sud-est della Punta Thurwieser (Thurwieser-Spitze) 3658 m (Alta Valtellina, Italia)". *Terra Glacialis*, 8, 9-45.
- Cremonese E., Morra di Cella U., Pogliotti P., Giardino M., Gruber S. (2007): "Rockwall thermal regime characterization in high mountain areas and related permafrost

- degradation: preliminary data from the Western Alps". *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 9, 07558.
- Davies M., O. Hamza, C. Harris (2001): "The effect of rise in mean annual temperature on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuities". *Permafrost Periglacial Processes*, 12 (1), 137–144.
- Deline P. (2001): "Recent Brenva rock avalanche (Aosta Valley): new chapter in on story?". *Suppl. V, Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 55-63.
- Deline P., Chiarle M., Mortara G. (2002): "The frontal ice avalanche of Frébouge Glacier (Mont Blanc Massif, Valley of Aosta, NW Italy) on 18 September 2002". *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 25, 101-104.
- Deline P., Chiarle M., Mortara G. (2004): "The July 2003 Frébouge debris flows (Mont Blanc Massif, Valley of Aosta, Italy). Water pocket outburst flood and ice avalanche damming". *Geogr. Fis. Dinam. Quat.*, 27, 107-111.
- Deline P. and the PERMAdataROC Team (2007): "The relation of permafrost degradation and slope instabilities in high-Alpine steep rockwalls (Mont Blanc massif and Matterhorn): the research project PERMAdataROC". *Geoph. Res. Abstr.*, Vol. 9, 07191.
- Diolaiuti G., Citterio M., Carnielli T., D'Agata C., Kirkbride M., Smiraglia C. (2006): "Rates, processes and morphology of freshwater calving at Miage Lake (Italian Alps)". In: "Contribution from glaciers and snow cover runoff from mountains in different climates", R. Hock & G. Rees (eds.), *Hydrological Proc., Special Issue*, 20: 2233-2244.
- Dutto F., Mortara G. (1992): "Rischi connessi con la dinamica glaciale nelle Alpi Italiane". *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, 15, 85-99.
- Evans S.G., Clague J.J. (1988): "Catastrophic rock avalanches in glacial environments". In Bonnard C. (ed.): "Landslides". A.A. Balkema Rotterdam, vol.2, 1153-1158.
- Evans S.G., Clague J.J. (1994): "Recent climatic change and catastrophic geomorphic processes in mountain environments": *Geomorphology*, 10, 107-128.
- Fischer L., Kääh A., Huggel C., Noetzli J. (2006): "Geology, glacier retreat and permafrost degradation as controlling factors of slope instabilities in a high-mountain rock wall: the Monte Rosa east face". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 761–772.
- Gruber S., Haerberli W. (2007): "Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change". *J. Geophys. Res.*, v. 112, F02S18.
- Gruber S., Peter M., Hoelzle M., Woodhatch I., Haerberli W. (2003): "Surface temperatures in steep alpine rock faces—A strategy for regional scale measurement and modelling". *Proceedings of the 8th International Conference on Permafrost*, Int. Permafrost Assoc., Zürich, Switzerland, 325-330.
- Haerberli W. (2005): "Investigating glacier-permafrost relationships in high mountain areas: historical background, selected examples and research needs". In Harris C., Murton J.B. (eds): "Cryospheric Systems: Glaciers and Permafrost". *Geological Society Special Publication*, 242, 29-37.
- Haerberli W., Wegmann M., Vonder Muhll D. (1997): "Slope stability problems related to glacier shrinkage and permafrost degradation in the Alps". *Eclogae Geologicae Helveticae*, 90, 407-414.
- Harris A.S., Gustafson A.C. (1993): "Debris flow characteristics in an area of continuous permafrost, St. Elias Range, Yukon Territory". *Zeitschrift für Geomorph. N.F.*, 37, 41-56.

- Harris C., Davies M.C.R., Etzelmüller B. (2001a): "The assessment of potential geotechnical hazards associated with mountain permafrost in a warming global climate". *Permafrost and Periglacial Processes* 12, 145-156.
- Harris, C., Haeberli, W., Vonder Mühll, D., King, L. (2001b): "Permafrost monitoring in the high mountains of Europe: the PACE project in its global context". *Permafrost and Periglacial Processes* 12 (1), 3–11.
- Huggel C., Kääb A., Salzmann N. (2004): "GIS-based modelling of glacial hazards and their interactions using Landsat TM and Ikonos imagery". *Norwegian Journal of Geography*, 58, 61–73.
- Jobard S. (2005): "Les glaciers du Haut Arc (Savoie): caractérisation et impacts de la décade post-Petit Age Glaciaire". Thèse de doctorat, Univ. de Savoie – Laboratoire Edytem.
- Kääb A., Huggel C., Barbero S., Chiarle M., Cordola M., Epifani F., Haeberli W., Mortara G., Semino P., Tamburini A., Viazzo G. (2004) : "Glacier Hazards at Belvedere Glacier and the Monte Rosa east face, Italian Alps: processes and mitigation". *Interpraevent 2004, Riva del Garda, 24-27 maggio 2004, I/67-78*.
- Kääb A., Huggel C., Fischer L., Guex S., Paul F., Roer I., Salzmann N., Schläefli S., Schmutz K., Schneider D., Strozzi T., Weidmann Y. (2005): "Remote sensing of glacier- and permafrost-related hazards in high mountains". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 527–554.
- Kääb A., Chiarle M., Raup B., Schneider C. (2007a): "Climate change impacts on mountain glaciers and permafrost". *Global and Planetary Change*, 56, vii-ix.
- Kääb A., Frauenfelder R., Roer I. (2007b): "On the response of rock–glacier creep to surface temperature increase". *Global and Planetary Change*, 56, 172–187.
- McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A., Dokken D.J., White K.S. (Eds.) (2001): "Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)". Cambridge Univ. Press, 1000 pp.
- Mercalli L., Cat Berro D., Mortara G., Smiraglia C. (in press): "Effetti dei cambiamenti climatici sui ghiacciai" (IPCC Italian section, ed.).
- Mortara G., Chiarle M. (2005): "Instability of recent moraines in the Italian Alps. Effect of natural processes and human intervention having environmental and hazard implications". *Giornale di Geologia Applicata*, 1, 139-146.
- Pelfini M., Belò M., D'Agata C., Smiraglia C. (2004): "The collapse of an ice cored moraine along a touristic trail". *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 6, 06973.
- Scotti R., Cola G. (2006): "Il seracco "Lamar" alla Punta S. Matteo. Un anno di monitoraggio". *Terra Glacialis*, 9, 185-193.
- Tamburini A., Mortara G. (2005): "The case of the "Effimero" Lake at Monte Rosa (Italian Western Alps): studies fields surveys, monitoring". *Proc. 10th ERB Conference "Progress in Surface and Subsurface Water Studies at Plot and Small Basin Scale (Turin, 13-17 Oct. 2004). IHP-VI Techn. Documents in Hydrology n. 77, 179-184*.
- Wegmann M., Gudmundsson G., Haeberli W. (1998): "Permafrost changes and the retreat of Alpine glaciers: A thermal modelling approach". *Permafrost Periglacial Processes*, 9, 23–33.

RELEVANCE OF THREE-DIMENSIONAL STABILITY ANALYSIS FOR TWO LANDSLIDES IN SOUTHERN ITALIAN ALPS

Simonetta Cola¹ and Paolo Simonini²

ABSTRACT

The design of landslide stabilization interventions requires a careful analysis and modelling of the deformation mechanisms occurring in the slope. In some cases, the classical two-dimensional (2D) stability calculation may lead to erroneous estimate of slope safety margin and therefore to incorrect design of stabilization works. Two different landslides, both located in the Southern Italian Alps, have been back-analysed using 2D and three dimensional (3D) limit equilibrium methods, showing the importance of 3D effects in the estimate of safety factor necessary for a proper design of stabilization actions.

Keywords: Landslides, Stability analysis, Stabilization interventions.

THE LANDSLIDE “VRIDEL” IN WHEATHERED PHYLLITES

Morphological, geological and geotechnical features

As a consequence of heavy spring rainfalls, in the Mocheni Valley in South-Eastern Trentino (Figure 1), a landslide began to move in early May 2002, at a rate of about 5 cm/day, thus interrupting the circulation on a road crossing the slope.

The main features of landslide may be observed in the map of Figure 2, while a view of the collapsed mass is provided in Figures 3. The landslide is funnel-shaped with an average



Fig. 1. Localization of two landslides.

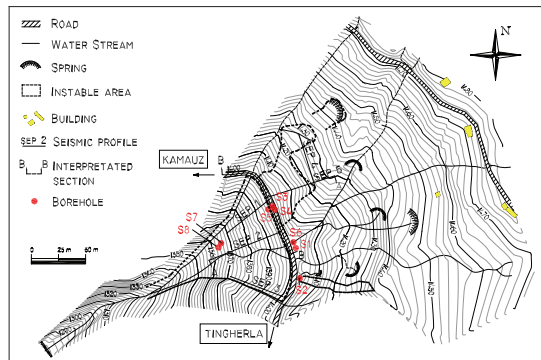


Fig. 2. Topographic map of area with localization of boreholes and seismic profiles.

1 Department IMAGE, University of Padova, Via Ognissanti, 39, 35129 Padova, Italy (Tel.; +39-049-8277900, Fax: +39-049-8277988) e-mail: simonetta.cola@unipd.it.

2 Ditto.



Fig. 3. General view of Vridel landslide.



Fig. 4. Uncovered micropiles.

inclination of 30° and involves an area 130 m long and 125 m large, limited at the top by the road and laterally constrained by two rock spurs.

Some other small shallow erosion occurrences, due to the emergence of small wellsprings, interested the slope in the part above the road. Rainfall and spring water are collected in three (small) streams converging at the funnel apex in a unique stream, referred as to Vridel creek, discharging the waters downwards into a steeper and narrow valley excavated in the rock.

In order to prevent additional road movements, as rapidly as possible, a system composed of vertical and 30° inclined micropiles was designed and installed on the downward side of the road: then the road was levelled off with a refill and paved again.

Micropiles was designed on the base of a first geotechnical and geophysical investigation performed along the road, consisting in two seismic profiles, (parallel and transversely crossing the slope, see sections A-A and B-B in Figure 3) and two boreholes (S1 and S2).

Despite the reinforcement system, new significant displacements occurred in the January 2003, causing another drop of the road and the uncovering of micropiles (Figure 4). Therefore, more careful geotechnical and geophysical investigations were planned and carried out to characterize soil profile and properties and to understand the basic sliding mechanism, for a proper design of remedial interventions. The position of boreholes and seismic survey lines are also depicted in Figure 2, while two soil profiles obtained with the seismic refraction technique are depicted in Figure 5.

The outcropping rocks present in the Vridel basin are phyllites, i.e. talco-schists belonging to a metamorphic formation highly tectonized during the Alps formation. The site investigations showed that the two rock spurs dip laterally towards the central longitudinal axis of landslide and, in the instable area, the bedrock is covered by a layer of highly weathered rock, with a RQD equal 25-50% with thickness varying between 5 and 10 m. The upper 3-14 m thick colluvium is composed by rock fragments in a brown-grey silty matrix (residual production of phyllite weathering) together with boulder and cobbles in brown-red matrix (sediments transported by glaciers). The bedrock, characterized by a RQD equal to around 80%, was localized at a relatively constant depth of 17 m in boreholes S1, S4, S5 and S8; only in S3 it was occasionally found at 9 m.

The groundwater depth was found at 3-5 m in the colluvium and at 12-13 m in weathered rock, suggesting that a perched groundwater regime exists in the more permeable colluvium, probably recharged by the rainfall and sustained by the impermeable stratum of altered rock.

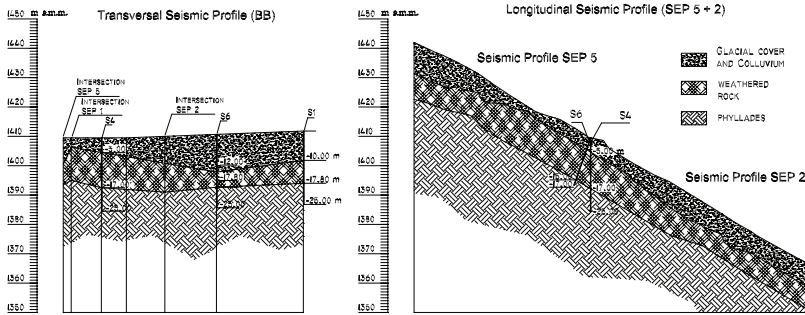


Fig. 5. Transversal and longitudinal seismic profiles.

This upper groundwater flow coexists with a deeper groundwater circulation in the more permeable bedrock.

The colluvium and the altered phyllites are composed of 30–40% gravel, 30–45% sand, 20–35% silt with a small amount of clay (Clay Fraction CF = 1–4%, occasionally equal to 10%). A relative higher fine content (silt and clay fraction) seems to be present at major depths. The fine material is characterized by Liquid Limit LL = 20–25 and Plasticity Index PI = 1–3. The shear tests on the fine matrix provided a shear strength characterized by a friction angle of 30–34° with cohesion equal to 0–13 kPa.

Back-analysis of slope instability

According to the longitudinal seismic profile of Figure 5 and the above groundwater regime, the most probable instability mechanism is a translational sliding movement along surfaces parallel to the slope and located at relatively shallow depth into the colluvium or weathered phyllites. An analysis of such sliding mechanisms, using the classical limit equilibrium approach and accounting for the laboratory measured shear strength of involved soils, does not match the site evidence.

This is clear observing the values of safety factor FS reported in the Table 1, which are determined using the 2D limit equilibrium analysis for plane translational slip according to the relationship:

$$FS = \frac{c' + (\sigma_{vo} - u) \cos^2 \beta \tan \phi'}{\sigma_{vo} \sin \beta \cos \beta} \quad (1)$$

where c' and ϕ' are respectively the cohesion and the friction angle, β is the dip angle of the slope (30°) and σ_{vo} and u are the geostatic vertical stress and the pore pressure acting at the sliding surface, determined assuming a soil saturated unit weight equal to 19 and 21 kN/m³, respectively for the colluvium and the weathered phyllites.

The factor of safety FS obtained for two possible sliding surfaces, one 7 m deep and the other 12 m deep both localized inside

Sliding surface depth z (m)	Safety factor FS	
	Water head at 3 m depth	
	$\phi' = 30^\circ$ $c' = 0$ kPa	$\phi' = 30^\circ$ $c' = 15$ kPa
7	0,70	0,97
12	0,63	0,74

Tab.1 Safety factor determined in 2D limit equilibrium analysis.

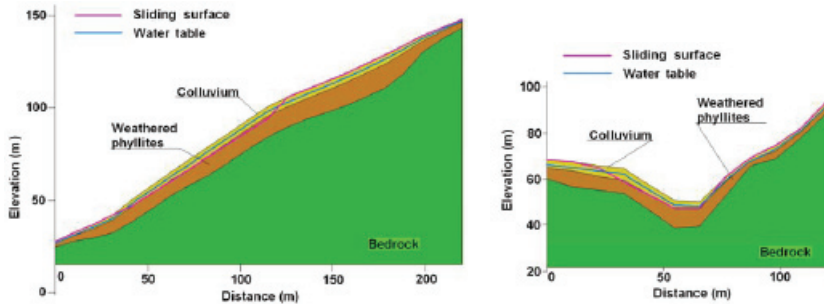


Fig. 6. Analysis with Clara of deepest sliding movement: central long-section and cross section at 42 m distance (from downwards).

the colluvium, is extremely small in all cases and unreasonable for the in-situ observed stability condition.

In order to fit real site stability condition, necessary for subsequent design of remedial work, 3D effects were therefore considered performing two different analysis: one with the Clara software (Hungri, 1987) for 3D analysis and one with a more simplified approach. Both approaches are based on the limit equilibrium (LE) method.

To perform 3D analysis with Clara the geometry of potential sliding surfaces has to be previously hypothesized. In this case, the thickness of colluvium material is assumed to decrease moving from the landslide central part towards the lateral spurs and the narrow valley downwards. Two fully-specified 3D sliding surfaces were considered. Similarly to the 2D analyses, the first one reaches the depth of 7 m in the central part of the landslides whereas at the boundaries intersects only the colluvium. The second surface deepens up to 14 m, intersecting partially the altered phyllites. Figure 6 depicts the central long-section and the cross section at the landslide midpoint, used as a base for the input in the numerical analyses.

In these materials, friction angle ϕ' is known whereas cohesion c' is a cumbersome parameter to be evaluated. To determine suitable value of cohesion, sensitivity analysis was carried out varying the latter between 0 and 15 kPa (keeping $\phi' = 30^\circ$). Water table was selected according to site measurements, as shown in Figure 6. It is interesting to note in Figure 7, that slope movement along with the shallowest surface is prevented with only $c' = 7.5$ kPa whereas,

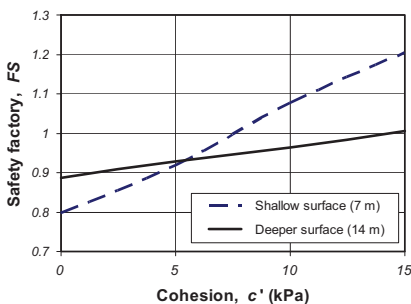


Fig. 7. Sensibility analysis with Clara.

to avoid sliding along the deepest surface, a higher cohesion of at least 14 kPa is necessary. In any cases, both values are in accordance with laboratory measurements on the two classes of materials, suggesting that 3D analysis better describes the limit state of landslide.

The simplified LE method was properly conceived in order to analyse the basic 3D sliding mechanism (similarly to Clara), but much easier to handle as tool for the stabilization system design. Observing the

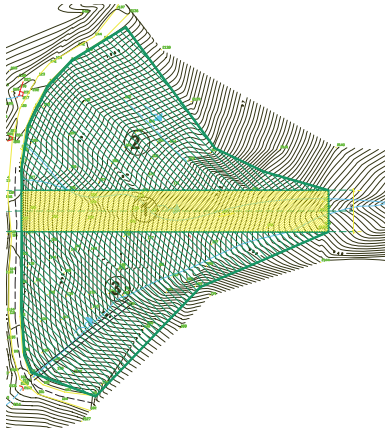


Fig. 8. Subdivision of landslide in three zones.

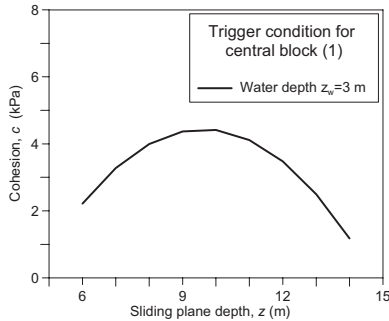


Fig. 9. Sensibility analysis with the simplified LE method.

weight of the central block:

$$W' = [\gamma_{sat}z - \gamma_w(z - z_w)]BL \quad (7)$$

(γ_{sat} = soil saturated unit weight, γ_w = water unit weight, z_w = groundwater table depth and B = strip width and L = strip length).

At constant friction the slope stability is solely a function of the cohesion c' , which, in turn, determines the depth z of the sliding surface. Therefore, in order to analyse the interrelationship existing between c' and z , eq. (2) has been solved imposing $FS=1$ and assuming, again, a groundwater regime according to the site measurements. Figure 9 shows clearly that the most critical surface is located at depth of about 10 m (reasonably confirming the results obtained with Clara software). Along this surface the sliding movement occurs for

funnel-shape of landslide (as shown in the map of Figure 8) the instable area below the road may be ideally subdivided in three zones: a central zone (area 1 in Figure 8) formed by a 15 m large and 109 m long strip and two lateral symmetric arc-sectors (areas 2 and 3). Assuming these zones to behave as rigid blocks, the central one can slide downwards only when the shear stress mobilized along the base and lateral constrains overcome the material shear strength. The safety factory may be written as:

$$FS = \frac{F_b + 2F_l + C}{W \sin \beta} \quad (2)$$

where F_b and F_l are the resultant forces due to friction along base and lateral walls of area 1, C is the resultant force due to cohesion along the same surfaces and W is the soil weight. Assuming that the central strip base is a part of the sliding surface located at depth z (from the 30° dipping ground surface), the four above mentioned forces are:

$$F_b = W' \cos \beta \tan \phi \quad (3)$$

$$F_l = L \int_0^z K_o \sigma'_{vo} dz \quad (4)$$

$$C = c' \frac{L}{\cos \beta} B \quad (5)$$

$$W = \gamma_{sat} z B L \quad (6)$$

being $K_o=1-\sin\phi$ the coefficient of earth pressure at rest and W' the submerged soil total

cohesion dropping to 5 kPa or, in other words, a minimum $c' = 5$ kPa is required to assure the stability of the slope.

Remedial works

The stabilization works by the Servizio Sistemazioni Montane of Provincia di Trento started in Summer 2004. They consisted of a combination of channelling of surface water runoff, two planes of sub-horizontal drains and an anchored retaining wall, the latter located at the landslide toe where the slope discharges water in the narrow creek downwards.



Fig. 10. Wooden crossbeams view during the construction.

To channel the free water, the profile of streams crossing the area were set up according to a “steps and pools” profile with the construction of short steep open channels with the bottom protected by cemented boulders alternating with wooden crossbeams, that impose to the stream a local energy loss with step of about 1-1.5 m (see Figure 10). This hydraulic system is completed by french drains organized in a chevron layout with the main branch running under the channel bottom covering (Figure 11).

In the upper part of the slope a group of sub-horizontal drains, dipping uphill with an angle of 10°, 35 m long and with 3 m inter-axes distance, were drilled from the road with the aim of draining the seepage water coming from the upper portion of the slope and outcropping in the zone above the road.

Referring to eq. (2), the horizontal force P which has to be applied to the central block of Figure 8 to increase the slope stability factor was determined using the relation:

$$FS = \frac{F_b + 2F_f + C + P}{W \sin \beta} \tag{8}$$

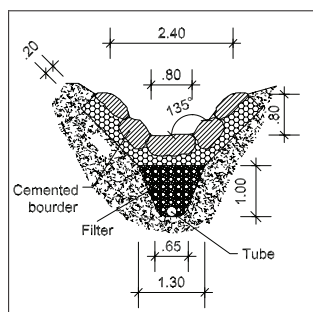


Fig. 11. Typical section of steep channel with the French drain under the bottom.

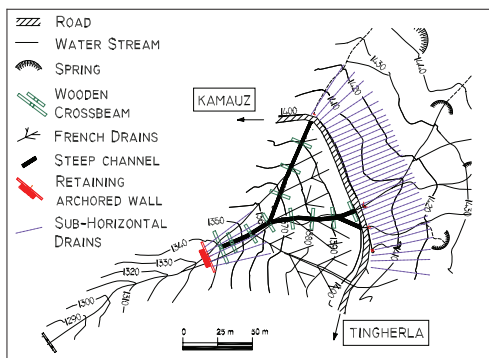


Fig. 12. Layout of remedial work.

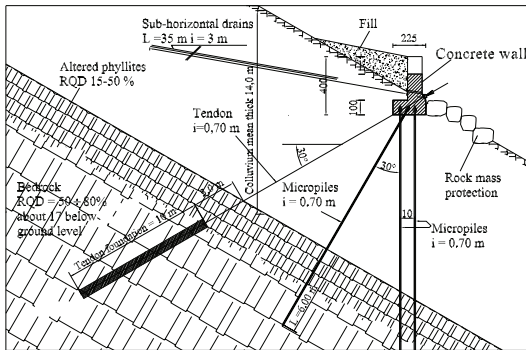


Fig. 13. Section of the anchored wall realized at the base of the slope.

From the above equation, the selected $FS = 1.10$ (used in the design of remedial work) requires a resultant stabilizing force P of about 15 MN. The structure used to stabilize the landslide is a 18,5 m large cantilever concrete wall founded on vertical and inclined micropiles as shown in Figure 13. A system of tendons, anchored deeply in the intact rock, provides the necessary horizontal force P .

To protect the creek base from erosion, a permeable fill and rock boulders were set, respectively, at the top and base of the anchored wall. In addition, to drain groundwater from the sliding mass, some sub-horizontal drains were also installed as shown in Figure 13. From the execution of the above described stabilization work no further sliding movements have been monitored in the whole area.

THE LANDSLIDE “IDRO” IN GRAVELLY SILTS

The Idro landslide (Figure 14) is located in the Provincia di Brescia and is characterized by a very long history. Its origin is traced at the end of Würmian glaciation when, as a consequence of glacier shrinkage, a big rock-fall occurred involving the upper slope in the left side of Val Sabbia: the material collapsed probably occluding the valley, thus forming the beautiful lake of Idro, that extends for about 10 km towards the south-western border between the Trentino and Lombardia.



Fig. 14. Front view of Idro landslide with the limits of high risk area.

Before the 2nd world war, an artificial weir was realized on the river bayou at the landslide toe in order to regulate the lake level and use the water for irrigation or energy purposes. The weir was rapidly damaged by the slow movements of the slope, thus revealing the presence of the landslide. The weir was repaired but the slope continued to move at very small rate, hanging out above the river.

A first attempt to analyse the slope stability was carried out by the technical staff of the

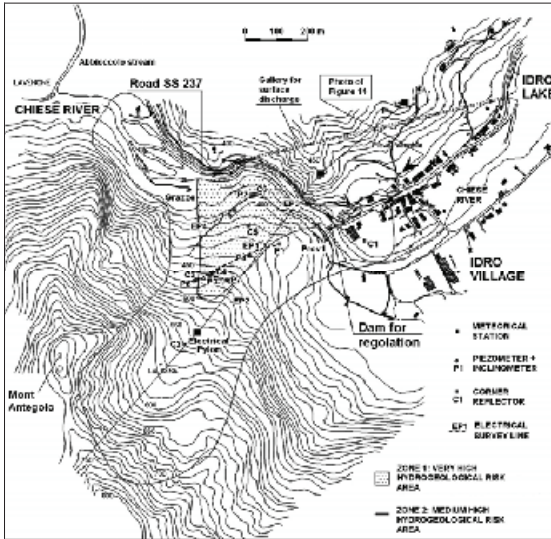


Fig. 15. Map of “Idro” landslide with limits of very high and medium high risk areas and the localization of investigations.

Provincia di Brescia (1995) on the base of the results of an in-site investigation consisting of three boreholes instrumented with two piezometers and two inclinometers. The analysis was performed assuming standard plane strain condition and hypothesizing that the movements might take place along with the direction of the ancient landslide. As far as the stability condition appeared to be approaching the critical state, in 1998 the area has been classified by the Regional Geological Authority as “high risk area” (Figures 14 and 15). Thus, in order to reduce the risk of flooding due to the possible occlusion of the valley caused by possible slope failure, the water level in the lake has been and is still today

maintained relatively low.

The negative economical and psychological effect of this situation on the population of the village of Idro (facing both the lake and the landslide) induced the Regional Authority to plan a more comprehensive geophysical and geotechnical investigation for studying the sliding phenomenon and selecting the most appropriate stabilization interventions. Landslide monitoring has been and it is still performed through classical inclinometers, installed up to 90 m, and also by using the satellite radar interferometry. Piezometers were also installed in the boreholes. Figure 15 reports the topographic map of the area with the localization of investigations carried out so far.

Even if soil cores were collected down to 90 m from ground level, that means at depths below the river bed, no bedrock was reached in any of the investigated verticals. The debris forming the sliding mass is composed by a heterogeneous mixture of gravel and sand in a matrix of silt and clay. During drilling, several highly weathered and crumbly sandstone boulders, belonging to the original rock-fall, were come across.

The soil composition was analysed in detail in borehole S4 (Figure 16a), leading to the observation that the percentages of soil components are relatively constant with depth with a major concentration of fines in some thin layers. The results of inclinometric measurements recorded so far (Figure 16b) indicate that the shear bands occur in correspondence of these thin layers.

Some shear tests performed on the fraction passing to sieve n.40 (particle size less than 0.42 mm) provided an almost constant friction angle of 25° independently from the fine content in the specimens. This is due to the fact that the fine fraction is never so high to create soil

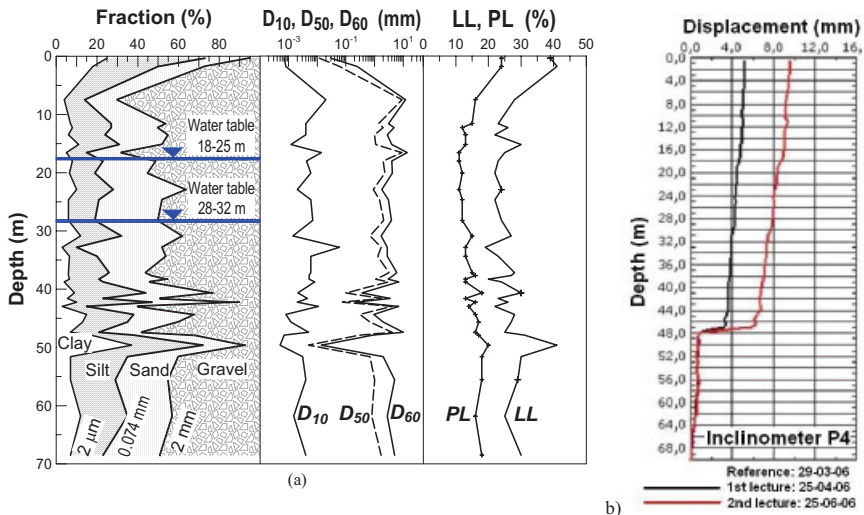


Fig. 16. Profile of soil composition and Atterberg limits (a); displacement recorded by inclinometer P4 (b).

structures commonly referred as to “block in matrix” (Simonini and Cola, 2004).

In the upper part of the landslide, piezometer readings indicate the local presence of two groundwater tables on the same vertical (see piezometers P4-P, P6-P and P7-P in Figure 17): the upper one, about 10-30 m deep, is relatively stable; the deeper (about 33-55 m deep, shows excursions of 3-7 m during rainy periods. This latter requires a very long time to be recharged (about 2-3 weeks after heavy rainfall).

Figure 18 shows the resistivity distribution obtained from the geophysical exploration along the line EP3 (ARPA Lombardia, 2007). A submerged zone characterized by a relatively high resistivity can be noted in the centre of the profile, and it may be justified by the presence of a

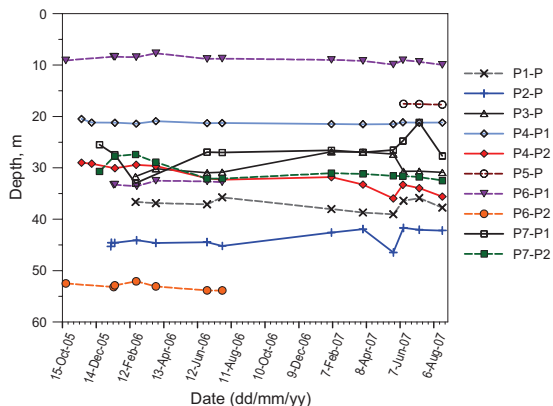


Fig. 17. Groundwater depth in piezometers.

less weathered rock mass or a core of unsaturated and impermeable soil. At ground level this core corresponds to the presence of a ridge which is lined up with the electrical power line crossing the area and behaves as a watershed dividing the slope in two hydraulic basins.

The movements (Figure 19 sketches the displacements recorded in the last year) are characterized by two directions forming around 30° angle with the longitudinal symmetry axis

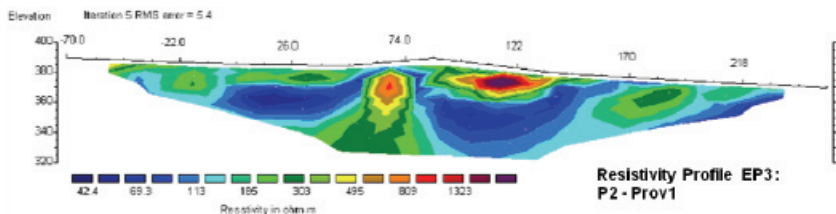


Fig. 18. Resistivity profile along line EP3 (line P2-Prov1).

thus dividing the mass into two turning out bodies. The rate of displacement is not constant over time, the mass generally accelerating in spring, two months after the wet period.

Unfortunately the corner reflectors were installed only at the end of spring 2007, so up to now data from SAR interferometry are not available.

Back-analysis of slope instability

To back-analyse the movements and individuate the most probable sliding surfaces, new stability analyses have been performed using the Clara software. According to the movements recorded up to now, 3D analyses were carried out examining two possible cinematic movements, respectively along the directions AA and BB of Figure 19. The minimum safety factor for elliptical sliding surfaces was searched with the automatic procedure based on the Janbu LE method.

The slope was considered as composed by a uniform soil with saturated unit weight $\gamma_{sat} = 18 \text{ kN/m}^3$, friction angle $\phi' = 25^\circ$ and cohesion $c' = 1 \text{ kPa}$.

Since the Clara software required the definition of all the 3D surfaces (i.e. water table, ground surface and interface layering, ect.) in a regular grid format, a careful input data preparation was necessary. The assigned 3D water pressure distribution was determined with a 3D function, that interpolates, by Kriging technique, the maximum water depths measured with the piezometers: the resulting surface is shown in Figure 20. The ground surface was obtained digitalizing the contour lines from an aerophoto-grammetrical map in 1:10000 scale, and interpolating the elevation at the nodes of the regular grid used by Clara.

Figure 21a-b shows the results of the LE method used to analyse the stability condition in AA direction. To note that the critical sliding surface is an ellipse with a ratio between the longitudinal and transversal axes of 0.70. Similar results were obtained for section BB.

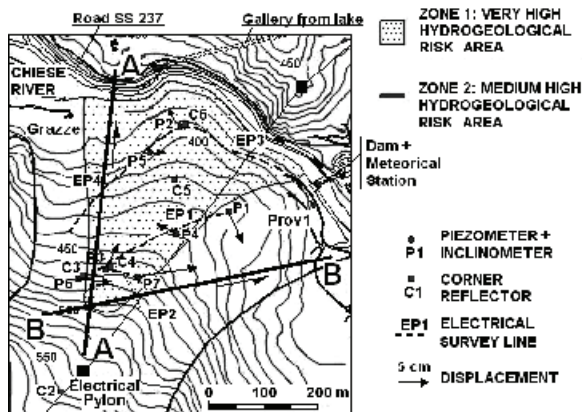


Fig. 19. Detailed map with displacement vectors recorded in 2007.

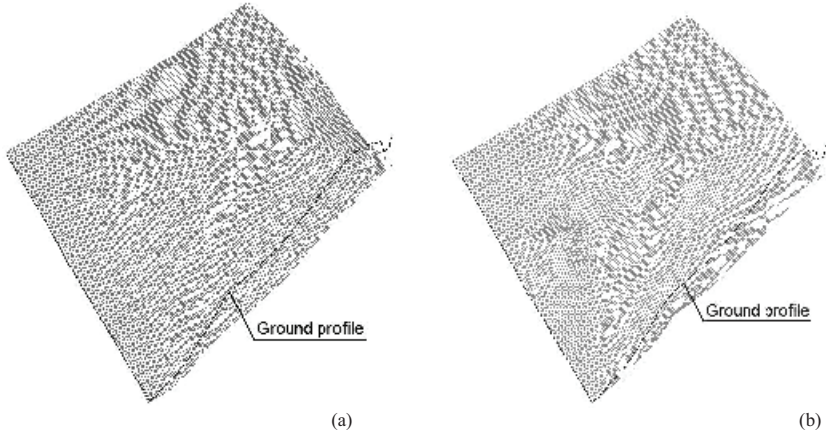


Fig. 20. 3D view of free water surface for analysis with Clara along AA direction: (a) undisturbed surface, (b) with a well installed.

Remedial works

The planned stabilization works consist of several large vertical drainage wells, with depth = 40 m and diameter = 8 m, located in the upper portion of the slope. In order to enlarge the soil volume drained by the large vertical wells, several 50 m long microdrains are drilled sub-horizontally from the shaft of each well into the ground.

The best location of wells was selected by using an optimization procedure relating the increase of safety factor, determined for the two critical sliding surfaces obtained in the previous back-analysis, to the effectiveness of drainage system. To this end, the effect of each deep vertical well with the surrounding sub-horizontal drains is schematized as a larger well, characterized by an influence radius given by the Sichardt equation:

$$R = C_w \sqrt{k} (H - h_o) \quad (9)$$

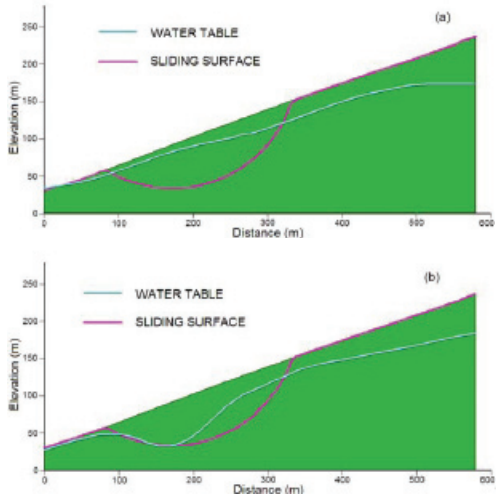


Fig. 21. Critical elliptical surface from 3D analysis performed along AA direction: (a) section, (b) map.

being C_w an experimental constant, k the permeability of soil and $H-h_o$ the reduction in water level imposed with the well. Assuming $k = 10^{-6}$ m/s, the coefficient $C_w = 3000$ (s/m)^{0.5} and $H-h_o = 15$ m, the influence radius turns out equal to 45 m. Figure 20 shows the modified surface corresponding to a vertical well located along the AA section, close to piezometer P4. According to this modified water pressure distribution the safety factor turns out 1.23.

To evaluate the effectiveness of the drainage system on the groundwater pressure and the reliability of calculation, the execution of a first deep well has been planned. The monitoring of soil response in terms of groundwater regime and slope displacements should provide information to design the final whole intervention.

CONCLUSIONS

On the basis of the analysis of two different interesting case histories, the paper discussed the importance of 3D stability analysis for the evaluation of landslide conditions to design the remedial stabilization intervention. The judgment on the relevance of 3D analysis with respect to the case under consideration is of course strongly dependent on the geometry of the landslide, soil and rock layering and on the groundwater regime. Since 3D approach requires much more information with respect to the classical 2D analysis, a careful geological and geotechnical investigation together with accurate surveying and site monitoring are of course necessary.

REFERENCES

- ARPA Lombardia, 2007. Rapporto preliminare sullo stato del monitoraggio sulla frana in sinistra idrografica del fiume Chiese – Comune di Idro. Milano, Italia (in Italian).
- Cola, S., Simonini, P., 2004. A two-phase model to describe the behaviour of saturated granular-cohesive soil mixtures. *Interpraevent* 2004. 24-28 Maggio. Vol. 2, 93-102. Riva del Garda, Trento, Italia.
- Hungr, O., 1987. An extension of Bishop's Simplified Method of slope stability analysis to three dimensions. *Géotechnique*, 37: 113-117.
- Provincia di Brescia, 1995. Studio Geofisico-Geotecnico del versante sinistro della Val Sabbia in comune di Idro, in corrispondenza delle paratoie di regimazione dell'omonimo lago. Brescia, Italia (in Italian).
- Simonini P., 2004. Interventi di stabilizzazione del versante del rio Vridel in prossimità della strada comunale Kamauz-Thingherlhof. Padova, Italia (in Italian).

THE SCASCOLI CASE STUDY (BOLOGNA – ITALY)

DESIGN AND SAFETY MEASURES OF A LARGE LANDSLIDE AREA

Giorgio Giacchetti¹, Gianfranco Marchi², Gianluca Benedetti³, Alberto Landuzzi²

SOMMARIO

Le gole di Scascoli sono chiuse tra pareti di arenarie e marne alte tra 40 e 80 m. Indagini geomeccaniche avviate nel 2002 hanno individuato, nel sito denominato “Mammellone 1”, una porzione di ammasso roccioso potenzialmente instabile. È stato quindi avviato il monitoraggio sulle discontinuità principali. Nel marzo 2005 dal sito “Mammellone 1” si è staccata una frana in roccia del volume di circa 30.000 m³. Sulla base dei dati di monitoraggio e dei rilievi, la stabilità è stata analizzata a ritroso con vari metodi (LEM, FEM, DEM), al fine di individuare poi, gli spostamenti critici durante i lavori. Nel tratto di valle interessato dal crollo del Mammellone, il ripristino definitivo della strada e la sistemazione del torrente Savena hanno richiesto soluzioni progettuali che tenessero conto sia del poco spazio disponibile per l'affiancamento della strada all'alveo fluviale, sia della potenziale pericolosità della grande frana di Scascoli, nel versante destro della valle. Tale frana, benché antica e complessivamente quiescente, fa registrare spostamenti dell'ordine di 1÷2 cm/anno in prossimità dell'unghia.

Parole chiave: frana, crollo, monitoraggio, analisi di stabilità

ABSTRACT

Landslide processes commonly occur on both sides of the Scascoli Gorge. The valley floor is flanked by vertical sandstone walls 40 to 80 m high, as well as steep slopes of heavily fractured and weathered rocks. The most important rockfalls known up to date occurred from the left valley side in 1992, 2002 and 2005, when a rock wedge called Mammellone 1, collapsed by a large and complex rockslide, with an estimated volume of 25000 m³. The collapse of the Mammellone 1 shifted the riverbed to the right valley side where, just a few weeks later, a roto-translational earth slide was triggered by that undermining process. In order to rehabilitate the local road, three safety interventions were planned in the following order: (a) reshaping the residual wall of the Mammellone 1; (b) removing the shallow earth slide from the right valley side, and consolidating its detachment zone; (c) carrying out training works on the riverbed and reconstructing the road embankment.

Keywords: rockfall, landslide, monitoring, numerical models

1 Officine Maccaferri S.p.A, Via degli Agresti, 640123 Bologna (tel: +39 051 6436000 fax: +39 051 23 65 07 e-mail: giorgio.giacchetti@maccaferri.com)

2 Università di Bologna, Dipartimento di Ingegneria (e-mail: alberto.landuzzi@mail.ing.unibo.it; gianfranco.marchi@mail.ing.unibo.it)

3 Enser srl, società d'ingegneria, Viale Baccarini 29, 48018 Faenza (RA). (Tel. +39 546 663423 e-mail: gianluca.benedetti@enser.it)

INTRODUZIONE

Le gole di Scascoli si trovano nella valle del Torrente Savena, nell'Appennino a sud di Bologna. Le gole sono chiuse tra pareti rocciose verticali alte tra 40 e 80 m. Il 12.03.05 dalla parete in sinistra idrografica denominata Mammellone 1 sono franati circa 30000 m³ di roccia, che hanno sbarrato il torrente e interrotto la strada di fondovalle. Alcune settimane dopo il crollo, l'erosione del torrente al piede del versante destro ha innescato in quest'ultimo uno scorrimento roto-traslativo di terra, del volume di oltre 8500 m³. I lavori di ripristino sono stati ostacolati principalmente dall'instabilità della parete rocciosa in sinistra idrografica, che incombeva su tutta l'area in dissesto. I lavori di bonifica sono stati perciò organizzati nelle fasi seguenti: (a) la riprofilatura e il monitoraggio della parete rocciosa in sinistra idrografica; (b) trattamento della frana in terra in destra idrografica; (c) sistemazione idraulica e ricostruzione della strada nel fondovalle.

Per verificare la stabilità del Mammellone 1 sono stati utilizzati modelli ad elementi distinti (DEM) e modelli ad elementi finiti (FEM), validati mediante back analysis. Tali modelli hanno permesso di identificare le fasi critiche di escavazione in termini di spostamenti significativi. Ciò ha permesso di mettere in sicurezza il cantiere sottostante, durante la sistemazione della frana di terra in destra idrografica ed il successivo ripristino stradale.

Il lavori sul versante destro della valle sono consistiti nella rimozione del corpo detritico instabile, nella parziale riprofilatura della nicchia di distacco e nel trattamento della stessa con un soil nailing leggero, mirato ad impedire il distacco di piccole masse superficiali, a controllare l'erosione per ruscellamento ed a favorire la ripresa della vegetazione.

Il ripristino del corpo stradale è stato condotto mediante la realizzazione di un rilevato permeabile e flessibile, capace di adattarsi alle deformazioni indotte dalla grande frana di Scascoli, che interessa un lungo tratto di valle in destra idrografica. Il rilevato è stato realizzato mediante scogliera rinforzata e Green Terramesh nel lato fiume e con gabbioni fondati su micropali per i muri di controripa.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Prima del crollo il Mammellone 1 era alto circa 70 m, e presentava un oggetto regolare di una decina di metri, causato dalla progressiva erosione del corso d'acqua al piede di un ammasso roccioso delimitato da faglie distensive. Come tutte le pareti in sinistra idrografica delle Gole di Scascoli, l'ammasso in questione è costituito da unità appartenenti al Gruppo di Bismantova (età Burdigaliano sup.- Serravalliano), con spessore locale da 200 a 250 m. Si tratta di arenarie ben cementate in strati e banchi, intervallate da arenarie finissime con matrice marnosa, mediamente cementate, in strati che compongono intervalli di diversi metri. Nella zona del Mammellone 1 gli strati immergono a reggipoggio, con scarsa inclinazione (Enser, 2000; Giacchetti G., 2004).

Il versante in destra idrografica delle Gole di Scascoli è interessato da deformazioni gravitative profonde che coinvolgono decine di milioni di metri cubi di terra e roccia. L'insieme di queste deformazioni è stato attribuito alla messa in posto di una grande e complessa frana per scivolamento, nota come "grande frana di Scascoli" (Landuzzi A. & Bernagozzi G., 1996). Nel fondovalle queste deformazioni si manifestano con movimenti misurati di alcuni centimetri all'anno, mentre nelle scarpate frontali, prospicienti la strada di fondovalle si osservano frequenti situazioni di marcata instabilità locale (Gottardi G. et alii, 2004). Tra queste ultime si segnalano distacchi di blocchi da ammassi rocciosi degradati, processi di creep accelerato e piccole frane rototraslazionali.

CROLLO DEL 12 MARZO 2005

Il Mammellone 1 è crollato il 12 marzo 2005 (fig. 1). Sul Torrente Savena si è formato un lago di sbarramento e la strada di fondovalle è stata completamente distrutta per un tratto di circa 100 m. La nicchia di distacco era un diedro con sviluppo verticale massimo di 60 m (fig. 2). La faccia di sinistra del diedro si è sviluppata sia su superfici di taglio preesistenti (superfici piane regolari, ossidate, di colore nocciola), sia su superfici di neo-formazione (superfici debolmente irregolari, grigie). La faccia destra del diedro corrisponde a una lunga discontinuità preesistente, con morfologia regolare, completamente ossidata.

Com'è stato evidenziato dalle osservazioni in sito e dalle analisi di stabilità, il corpo roccioso crollato, originariamente a sbalzo, ha prodotto sollecitazioni a trazione sui giunti di strato e su alcuni giunti minori trasversali alla stratificazione. Contemporaneamente, sulla faccia sinistra del diedro si sono manifestati processi di rottura progressiva della roccia, con estensione delle fratture preesistenti. Questi ultimi processi si sono sviluppati con velocità crescente fino al collasso. La massa instabile si è quindi mossa nei primi istanti con cinematismo di scivolamento sulla faccia destra e sulla metà inferiore di quella sinistra; dopo pochi metri il moto è divenuto di ribaltamento. Successivamente, durante la caduta, la massa si è scomposta in blocchi, alcuni dei quali con dimensione di migliaia di metri cubi, che sono rovinati in alveo e in parte sulla strada.

Le cause che hanno predisposto il crollo sono da ricercare principalmente nelle scadenti proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso, nei processi di rammollimento (softening) e nella morfologia aggettante della parete, prodotta dallo scalzamento al piede praticato nel tempo dal torrente Savena.



Fig. 1: Mammellone 1 prima del 12-03-2005

Fig. 1: Mammellone 1 before 12-03-2005



Fig. 2: Mammellone 1 dopo il 12-03-2005

Fig. 2: Mammellone 1 after 12-03-2005

Poco tempo dopo il crollo del 2005, le ispezioni in parete hanno evidenziato nella faccia destra del diedro residuo una serie di fratture per trazione, verticali a sviluppo plurimetrico, con apertura massima centimetrica e labbra segmentate, giustapposte. Tali fratture segnalavano la grave instabilità potenziale della parete, per uno spessore massimo di 8÷10 m. Il volume di roccia in pericolo di crollo imminente era stimabile in 13000 m³. Si è quindi deciso di riprofilare la parete, sulla base di un vecchio piano di demolizione opportunamente modificato.

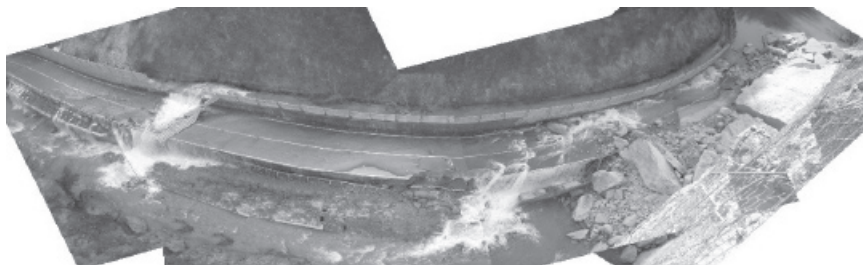


Fig. 3: vista della porzione di strada coinvolta dal crollo del Mammellone 1

Fig. 3: Mammellone 1 rockfall: view of damaged street

Nel frattempo il Torrente Savena si è in parte incanalato al piede del versante idrografico destro. Il nuovo tracciato del corso d'acqua si è sviluppato tra il pendio in terra e la barriera paramassi in acciaio, installata in testa al muro di controripa della strada. Lo scorrimento incontrollato delle acque ha rapidamente eroso la strada ed inciso il piede del versante detritico in destra idrografica. Dopo alcune settimane si è sviluppata una frana per scorrimento rototraslativo, su un fronte di un centinaio di metri e con un'altezza massima di 80 m circa. Gli spostamenti hanno raggiunto velocità massime di 3÷4 m/giorno, per poi ridursi progressivamente con il raggiungimento di una nuova condizione di equilibrio.



Fig. 4: Frana rototraslativa in destra Savena

Fig. 4: roto-translational earth slide



Fig. 5: Strada fondovalle Savena a ottobre 2005

Fig. 5: Savena valley road (october 2005)

INDAGINI GEOMECCANICHE PRECEDENTI IL CROLLO

La possibilità di crollo del Mammellone 1 era stata prevista grazie alla campagna di indagini geomeccaniche in sito ed alle successive analisi di stabilità. Gli studi sull'ammasso sono stati condotti per approssimazioni successive, reiterando le seguenti fasi: (a) rilievo geomeccanico; (b) prove di laboratorio e analisi dei dati; (c) modellazione; (d) verifica in sito. I rilievi geomeccanici sono stati eseguiti direttamente in parete, anche se il pericolo di crolli, gli oggetti ed il degrado superficiale della roccia hanno limitato gravemente il campo d'azione dei rocciatori.

Note le caratteristiche generali dell'ammasso roccioso, la scala del problema e l'incertezza dei modelli geomeccanici, le analisi sono state affrontate con i metodi LEM e FEM. In particolare, l'ammasso roccioso è stato trattato come mezzo pseudo-continuo nei modelli agli elementi finiti (FEM), e come mezzo giuntato nei modelli all'equilibrio limite per scivolamenti planari o a cuneo (LEM).

Metodo dell'equilibrio limite

La parete del Mammellone 1 era segnata da numerose discontinuità di lunghezza pluridecimetrica, che potevano influire sulla stabilità globale del fronte roccioso. Sulla base dei rilievi è stato realizzato un modello geometrico tridimensionale, per identificare i poliedri rocciosi che potevano formarsi. Il modello così ottenuto ha consentito anche di prevedere come si sarebbero presentate le discontinuità sul fronte di progetto. Il tipo di modellazione scelto si basa sull'ipotesi semplificativa che i giunti siano planari e continui. Nonostante le semplificazioni operate, il modello ottenuto è sufficiente a descrivere lo stato di suddivisione dell'ammasso.

Tab. 1 – Parametri d'ingresso per l'analisi LEM.

Tab. 1 – LEM analysis: input parameters

Criterio rottura	Param.	Valore attendibile	Valore utilizzato
Barton Bandis	JCS	30 - 50 MPa	45 MPa
	JRC	8 - 12	11
Mohr Coulomb	ϕ_b	29 - 31°	31°
	C	0.2 - 0.3 MPa	0.21 MPa
	ϕ	29 - 31°	31°

Poiché era oggettivamente impossibile misurare la resistenza di ciascun piano, è stata utilizzata la medesima resistenza per tutti i piani (tab. 1). La resistenza caratteristica è stata determinata integrando i dati di campagna con quelli di laboratorio di studi precedenti. I dati così ottenuti sono stati utilizzati per descrivere i piani, sia con il metodo dell'equilibrio limite per poliedri, sia con quello agli elementi finiti. Nei modelli è stato utilizzato il criterio di rottura di Mohr Coulomb, derivando i parametri da quello di Barton Bandis.

Le analisi hanno indicato che il fattore di sicurezza dei poliedri rocciosi era compreso tra 1.03 e 12.0. La situazione di minor stabilità ($F_s = 1.03$) è stata individuata nel blocco del Mammellone 1, identificato in grigio scuro nella fig.6.

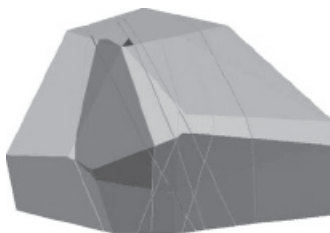


Fig. 6: Modello geometrico 3D della parete del Mammellone 1

Fig. 6: 3D LEM model

Metodo degli elementi finiti

Il comportamento delle arenarie è stato descritto con il criterio di rottura di Hoek & Brown, determinando i parametri a partire dall'indice GSI (Geological Strength Index) e dai parametri di resistenza della roccia ottenuti da prove di laboratorio (tabella 2).

Tab. 2 – Parametri d'ingresso per l'analisi FEM.

Tab. 2 – Parametri d'ingresso per l'analisi FEM.

σ_{ci}	90 MPa
GSI	63
m_b	2.23233
s	72E-3
a	0.5023
γ	23.5 kN/m ³
E_m	15.0 GPa

Per rendere più verosimile il modello, sono stati introdotti alcuni giunti discontinui a franapoggio, osservabili nel settore sinistro del Mammellone 1.

Il fattore di sicurezza relativo alla stabilità globale della parete è compreso tra 1.0 e 1.5, secondo l'estensione dei giunti introdotta nel calcolo. Il fattore di sicurezza, espresso come rapporto tra la tensione ammissibile della roccia e lo stato tensionale attivo

nell'ammasso, indica che la rottura può propagarsi nella parte profonda dell'ammasso roccioso anche in assenza di giunti preesistenti. Questo tipo di rottura era già stato osservato

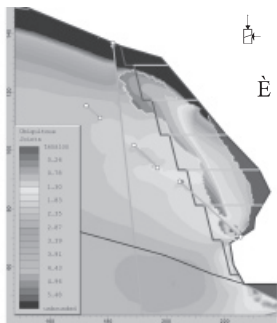


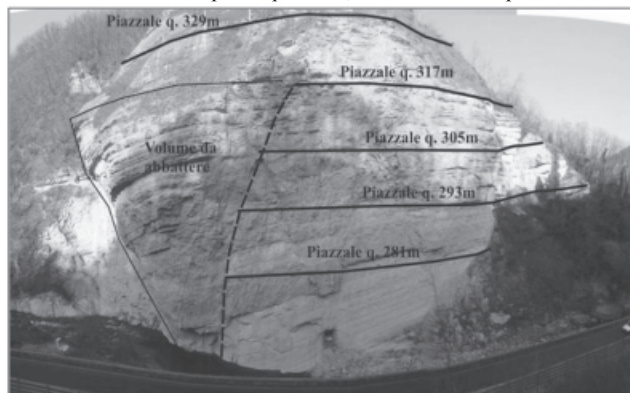
Fig. 7: Modello FEM del Mammellone 1
 Fig. 7: Mammellone 1 FEM model

in un grande crollo avvenuto nell'ottobre del 2002, in prossimità del Mammellone 1 (Gottardi G. et alii., 2004). È interessante notare come le tensioni raggiungano valori critici qualche decina di metri all'interno dell'ammasso, lasciando presagire l'andamento di una possibile linea di rottura. Si osserva inoltre come al piede della parete, soprattutto in corrispondenza dei giunti e dell'incavo dell'aggetto, si riscontrino le più alte concentrazioni di stress. E' quindi probabile che proprio dal piede della parete prenda l'avvio un processo di rottura che vinca la resistenza dei ponti di roccia.

Progetto di messa in sicurezza

Data la grande dimensione e la morfologia aggettante non era possibile consolidare la massa instabile del Mammellone 1. È stata quindi proposta la riprofilatura dell'intera parete, che comportava la demolizione di circa 50 000 m³ di roccia. La modellazione FEM della sequenza di scavo ha messo in evidenza come, una volta raggiunto il terzo gradone, vi fosse il concreto pericolo di un collasso dell'aggetto residuo della parete rocciosa (fig. 8). Per prevenire questo pericolo, il piano di abbattimento prevedeva lo scavo a gradoni fino al secondo piazzale, e poi l'abbattimento del grande cuneo a sinistra della gradinata. La riprofilatura sarebbe poi stata completata approfondendo i gradoni orizzontali del settore destro del fronte.

Avendo riconosciuto questo pericolo, ed in attesa di spostare il tracciato stradale sottostante,



sono stati installati estensimetri elettrici nelle principali fratture dell'ammasso roccioso. I sensori erano collegati mediante modem satellitare e gestiti in remoto.

Fig. 8: Progetto di riprofilatura della parete del Mammellone 1
 Fig. 8: Mammellone 1 reshaping design

In caso di emergenza, il controllo del traffico veicolare della strada sottostante sarebbe stato garantito da un impianto semaforico di allertamento. Purtroppo, il crollo del 12 marzo 2005 è avvenuto prima che i lavori di completamento dell'impianto di monitoraggio e allertamento fossero conclusi.

Misure di spostamento

Al momento del crollo il sistema di monitoraggio era in fase sperimentale, sia perché non ne era stata ancora completata l'installazione, sia perché era da poco iniziata la raccolta di dati.

Nei sistemi di monitoraggio, soprattutto se esposti a variazioni climatiche severe, è necessario assumere almeno un ciclo annuale completo di misure, per escludere variazioni correlate a escursioni termiche e cogliere il reale trend di spostamento. Nel presente caso, neppure i modelli FEM già elaborati sono stati d'aiuto per interpretare i dati dei sensori. Infatti, tali modelli non erano sufficientemente raffinati da fornire l'idea degli spostamenti necessari per arrivare alla soglia del collasso. In questa fase sperimentale, gli spostamenti registrati dai sensori (in alcuni casi piccoli e confondibili con l'errore strumentale), sono stati correlati alle variazioni termiche, perchè coerenti con le escursioni stagionali di temperatura rilevate nel periodo luglio 2004 – gennaio 2005. Anche se tra tali deformazioni vi fosse stata una componente profonda, legata ad eventuali movimenti precursori del crollo del marzo 2005, per la sua minima entità non sarebbe stato possibile discriminarla dagli effetti delle variazioni termiche. L'instabilità del Mammellone 1 è stata quindi ritenuta potenziale fino al momento del crollo.

Dopo il crollo del marzo 2005 le misure di spostamento sono state reinterpretate col "senno di poi" (fig. 9), anche se riferite ad un periodo di osservazione molto breve (da fine luglio 2004 a inizio gennaio 2005). A partire da metà agosto 2004 (ossia 7 mesi prima della frana del 12.03.05), il sensore 4 comincia a manifestare in modo incerto un trend di spostamento. Lungo quello che poi sarebbe diventato uno dei piani di rottura principale (sensori 5 e 6), si manifestano deformazioni crescenti verso il basso, con ampiezze massime attorno a 1 mm. Le fratture adiacenti (sensori 8, 9, 10) danno anch'esse spostamenti crescenti verso il basso, ma di ampiezza molto minore.



Fig. 9: Curva tempo - spostamento di 3 estensimetri installati sul Mammellone 1

Fig. 9: Mammellone 1 instruments. Time - displacement data

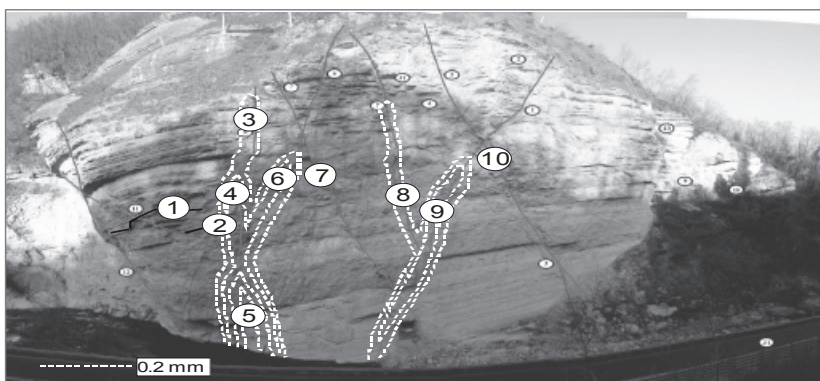


Fig. 10: Parete del Mammellone 1: ubicazione dei sensori

Fig. 10: Mammellone 1: instruments installed on main joints

La distribuzione delle deformazioni riprende abbastanza bene il comportamento previsto con i modelli FEM e LEM. Tuttavia è evidente che l'instabilità raggiunge il piede della parete e interessa un settore ben più ampio del semplice cuneo instabile ipotizzato. In altri termini, le dislocazioni a carico delle superfici di discontinuità analizzate si inseriscono in un più esteso processo di deformazione e rottura progressiva, che coinvolge anche le parti integre dell'ammasso roccioso.

INTERVENTI DI RIPRISTINO E CONSOLIDAMENTO

Difficoltà operative

Gli interventi sono apparsi molto problematici sin dalle prime fasi dell'emergenza, in quanto: (a) i tempi concessi per il ripristino della strada erano ristretti. Era perciò necessario eseguire contemporaneamente gli interventi di bonifica delle frane in destra e in sinistra idrografica, anche se la sistemazione di quella in sinistra (Mammellone 1) risultava prioritaria per eseguire in sicurezza il lavoro nel cantiere sottostante. (b) Gli interventi sui versanti, per quanto possibile, dovevano preservare il contesto paesaggistico. (c) Le opere per il ripristino idraulico del torrente e la ricostruzione del corpo stradale dovevano essere sufficientemente flessibili per compensare le deformazioni indotte dalla grande frana di Scascoli, che domina l'intero versante destro. (d) I costi dovevano essere ragionevolmente contenuti.

Interventi sul versante in sinistra idrografica

La stabilità della parete del Mammellone 1 è stata migliorata con la demolizione di parte dell'ammasso roccioso, secondo una variante opportunamente adeguata del piano già previsto prima del crollo del 12 marzo 2005. A causa della grave instabilità residua della parete rocciosa è stato però necessario monitorare le fasi di scavo più critiche. Ciò ha consentito di mettere in sicurezza i lavori in parete e l'area di cantiere di fondovalle. Per definire le soglie di spostamento critico è stata eseguita un'accurata analisi di stabilità, che si è avvalsa della ricostruzione in back analysis del crollo del 12 marzo 2005 (per i dettagli si rinvia ai capitoli successivi). Poiché anche al termine della profilatura alcune parti dell'ammasso roccioso restavano potenzialmente instabili, per prevenire le conseguenze di un eventuale distacco l'intervento è stato completato con le opere seguenti: (a) un piano basale sul settore sinistro della parete, per arrestare l'eventuale caduta di grandi masse residue non di-sgaggiabili. (b) Una barriera paramassi ad alto assorbimento d'energia tipo OM1000, della Officine Maccaferri. La barriera è stata posta a metà altezza nel settore destro della parete, con lo scopo di proteggere la strada di fondovalle dall'eventuale caduta di blocchi con dimensioni inferiori al metro cubo. (c) Il rivestimento della metà superiore della parete con rete metallica, al fine di controllare la velocità di caduta dei massi ed impedire la proiezione di schegge verso la strada. Allo scopo è stata utilizzata una rete tipo Steelgrid MO.

Interventi sul versante in destra idrografica

L'intervento sulla frana di detrito in destra idrografica ha comportato la rimozione del corpo instabile e il consolidamento della superficie di scivolamento, in corrispondenza della quale affioravano terreni sciolti e ammassi rocciosi degradati (fig. 12). Il consolidamento è stato conseguito mediante la realizzazione di un soil nailing leggero, con barre in acciaio 430 N/mm² di lunghezza 3.0÷6.0 m. La densità di questo intervento è di 1 ancoraggio ogni 12 m² di superficie. Nei settori in cui affiorava terra, il rivestimento è stato realizzato con rete a doppia torsione 8 x 10 cm, filo 3.0 mm, galvanizzata in Galfan; alla rete è stata associata una biostuoia, con lo scopo di impedire l'erosione per ruscellamento e favorire la ripresa della vegetazione e un reticolo romboidale di funi d'acciaio (fig. 11). Nei settori in cui affiorava roccia degradata ed alterata sono stati applicati pannelli di rete in fune d'acciaio, tipo HEA. L'abbinamento di due diverse tipologie di intervento ha consentito di posare di volta in volta

la rete adeguata al tipo di terreno affiorante, ottimizzando così le risorse economiche a disposizione.



Fig. 11: Consolidamento con soil nailing
Fig. 11: Soil nailing



Fig. 12: Intervento sulla frana in detrito
Fig. 12: Consolidation of roto-translational earth slide

Ripristino idraulico e ripristino del corpo stradale

Poiché il fondovalle è molto stretto, la sistemazione idraulica ed il ripristino stradale sono stati praticamente realizzati con lo stesso intervento (fig. 13). Per ottenere un risultato funzionale dal punto di vista idraulico e stradale, e contemporaneamente compatibile con gli aspetti ambientali, si è deciso di realizzare opere di sostegno a vista, tipo gabbioni e Green Terramesh. Per proteggere le fondazioni dallo scalzamento esercitato dal torrente e garantire la stabilità locale del piede dalla grande frana di Scascoli, tali opere sono state fondate su micropali (vedi sezione tipo in fig. 14).

Le fasi principali dell'intervento sono state le seguenti: (a) sistemazione della frana in detrito in destra idrografica; (b) costruzione del gabbione di monte della strada, fondato su micropali; (c) realizzazione del rilevato stradale, costituito da materiale opportunamente frantumato derivante dai blocchi crollati del Mammellone 1, compattato e rinforzato con reti delle Officine Maccaferri; (d) messa in opera della scogliera antiersiviva nel lato torrente, costituita da blocchi arenacei squadri e saturata con calcestruzzo magro; (e) completamento della porzione superiore del rilevato stradale con Green Terramesh; (f) altri interventi di completamento (posa dei neri e del manto di usura stradale, sagomatura della sezione di progetto dell'alveo, ecc).



Fig. 13: intervento di ripristino stradale
Fig. 13: reconstructed road embankment



Fig. 14: intervento di ripristino stradale (sezione tipo)
Fig. 14: road embankment: typical section

Le opere realizzate sono risultate soddisfacenti sia dal punto di vista estetico – funzionale, sia dal punto di vista geotecnico – strutturale. Gli interventi eseguiti ai fini del ripristino della funzionalità stradale ed idraulica sono tuttavia da considerarsi efficaci solamente a livello locale in quanto devono convivere con i movimenti legati alla grande frana di Scascoli (alcuni centimetri all'anno).

VALIDAZIONE DEI MODELLI

La stabilità del Mammellone 1 è stata esaminata per determinare le condizioni critiche delle fasi provvisionali ed il grado di equilibrio raggiunto a lavoro ultimato. I parametri utilizzati nelle modellazioni numeriche sono stati validati mediante la back analysis del crollo del 12 marzo 2005. Poiché il cinematismo di crollo era molto complesso, sono stati utilizzati sia metodi FEM (codice Phase2), sia metodi DEM (codice UDEC).

I dati d'ingresso dei due procedimenti di calcolo sono concettualmente e operativamente differenti. Per consentire la comparazione dei risultati, i dati d'ingresso sono stati resi omogenei. La taratura dei modelli geomeccanici è avvenuta: (a) tarando le proprietà geomeccaniche, fino ad ottenere una morfologia della nicchia di crollo compatibile con quella osservata in sito, nel caso delle modellazioni FEM; (b) riposizionando le discontinuità principali rilevate in parete dopo il crollo del marzo 2005, nel caso delle modellazioni DEM; (c) tarando le proprietà geomeccaniche, fino ad ottenere spostamenti aderenti a quelli misurati e congruenti tra i due approcci.

Analisi agli elementi finiti

Il comportamento delle arenarie di Bismantova è stato descritto con il criterio di rottura di Mohr Coulomb in campo plastico, con regola di flusso associata (dilatanza non nulla). L'analisi è iniziata considerando l'ammasso come se fosse omogeneo e privo di giunti; i parametri geotecnici sono stati tarati fino a che le direttrici di rottura indicate dalla concentrazione degli sforzi di taglio massimo sono risultate aderenti a quelle che si sono formate nella realtà. Il fattore di sicurezza è risultato 1.785. Il fattore di sicurezza si abbassa drammaticamente ($F_s = 1.055$) imponendo dei giunti discontinui, analoghi a quelli osservati nella nicchia di distacco. Gli sforzi di taglio massimo sui ponti di roccia determinano la propagazione dei giunti. A causa di ciò aumenta lo stress di taglio sui setti integri e quindi anche la velocità di propagazione dei giunti fino al collasso. Alle discontinuità sono stati attribuiti i parametri di rigidità e resistenza derivati dalle elaborazioni DEM (tabella 3). L'analisi è stata eseguita con una maglia ad elementi triangolari a sei nodi, nell'ipotesi di piccole deformazioni.

Tab. 3 – Parametri geomeccanici ottenuti con la back analysis FEM.

Tab. 3 – Geomechanical parameters derived from FEM back analysis

Peso unitario	0.0235 MN/m ³	Coesione di picco	0.75 MPa
Mod Young	12500 MPa	Angolo di dilatanza	14°
Rapporto di Poisson	0.3	Angolo d'attrito residuo	30°
Resistenza a trazione	0.3 MPa	Coesione residua	0.2 MPa
Angolo d'attrito di picco	54.5°		

Fermo restando che la morfologia aggettante si è sviluppata molto lentamente e quindi non entra come una variabile del sistema, il modello conferma come il collasso sia probabilmente avvenuto a causa del progressivo decadimento delle proprietà meccaniche dell'ammasso e della propagazione dei giunti preesistenti.

Secondo i risultati dell'analisi FEM, il Mammellone 1 ha manifestato condizioni di equilibrio critiche quando gli spostamenti totali hanno raggiunto l'ordine di grandezza di 1.1 cm. L'entità degli spostamenti concorda con quelli determinati negli scenari di rischio calcolati

con procedure DEM. Gli stress maggiori sono concentrati al piede della parete, concordemente ai dati del monitoraggio. Si osserva inoltre che il corpo di frana tende a frazionarsi in corpi secondari di grandi dimensioni, com'è stato effettivamente constatato nel macereto di frana.

Analisi agli elementi distinti

Il DEM considera l'ammasso come costituito da singoli blocchi, separati da giunti diversamente orientati (ammasso roccioso discontinuo, disomogeneo e anisotropo). Nel modello devono quindi essere introdotte le proprietà sia dei giunti, sia della roccia che costituisce il blocco. L'insieme delle proprietà di resistenza e rigidità dei giunti e della matrice roccia deve essere equivalente a quella dell'ammasso roccioso considerato con proprietà omogenee come le classificazioni RMR, GSI, RMI, Qindex ecc... Ciò significa che più è grande il blocco, più le sue proprietà divengono simili a quelle dell'ammasso giuntato descritto con il metodo FEM; viceversa, quando il blocco è molto piccolo presenta proprietà assimilabili a quelle della matrice roccia. Le proprietà delle discontinuità alla scala d'interesse sono state determinate secondo le procedure riportate nei manuali dei codici di calcolo. I parametri così ottenuti sono stati successivamente affinati fino a portare in condizioni di equilibrio limite l'ammasso. Analogamente all'analisi FEM, il metodo DEM dimostra che il crollo del Mammellone 1 è stato innescato dall'aumento di persistenza di una frattura a tergo, per propagazione di fratture tipo tension crack. Quando la deformazione dell'ammasso ha superato i 2 cm si è verificata l'accelerazione delle deformazioni e quindi il collasso.

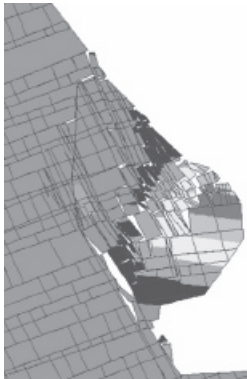


Fig. 16: Modello DEM

Fig. 16: DEM model

Le dislocazioni a taglio lungo le principali superfici di strato e le fratture subverticali raggiungono entità decimetrica, dopo di che comincia il cinematismo di ribaltamento. Si noti che nel DEM l'instabilità della parete aggettante è marcata, mentre nel FEM pur essendoci un'accentuata sollecitazione di taglio non c'è instabilità dell'aggetto. La simulazione evidenzia che i giunti inclinati 65° circa sono il principale indicatore di pericolo da monitorare.

CONCLUSIONI

Il caso in esame mostra i buoni risultati ottenuti con sistemi flessibili di consolidamento, apparentemente di difficile applicazione in un'area che richiedeva interventi rapidi, buon inserimento nel contesto del paesaggio ed un'accurata pianificazione della sicurezza del cantiere. In merito a quest'ultima necessità, sono stati raggiunti risultati soddisfacenti col supporto delle analisi numeriche, che hanno consentito di prevedere il comportamento delle masse rocciose in immediato pericolo di crollo. Le stesse analisi hanno inoltre messo in luce la complementarietà dei diversi metodi di calcolo, mostrando come per le verifiche di stabilità in situazioni complesse sia preferibile adottare più di una procedura. Il modello 3D LEM ha individuato il volume roccioso più critico, ma non è stato in grado di prevedere la rottura dell'ammasso roccioso fino al piede della parete, ossia fino allo spigolo inferiore del cuneo instabile. Il modello FEM ha abbozzato il comportamento dell'ammasso prima del crollo, e si è dimostrato particolarmente va-lido in back analysis, soprattutto perché ha evidenziato le zone dove potevano propagarsi nuovi giunti. Tuttavia, questo tipo di analisi ha richiesto che

fossero introdotti alcuni master joint per arrivare a rottura. Il modello DEM ha simulato in modo molto soddisfacente il cinematismo, localizzando anche i giunti “spia” utili per monitorare gli spostamenti durante gli scavi. In questo senso, il DEM sembra essere il metodo numerico più efficace per la modellazione dei crolli in roccia, anche se è molto più oneroso del FEM.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare l’Agenzia di Protezione Civile della Regione Emilia Romagna, la Provincia di Bologna, il Servizio Tecnico di Bacino Reno per i dati ed il supporto gentilmente forniti.

BIBLIOGRAFIA

- Benedetti G., Landuzzi A., Gualdrini M., Marchi G., Ferro S., Samori L., Giacchetti G. (2004) – Landslides in the Scascoli gorge (Bologna, Appennines, Italy): from reconnaissance to monitoring (part 2). 32nd International Geological Congress
- ENSER S.r.l. (2003, 2004, 2005, 2006) Studio geologico, geotecnico e degli interventi di sicurezza per la strada intercomunale fondovalle Savena – Studio non pubblicato - Provincia di Bologna.
- Ghirotti, M. & Genevois, R. 2007. A complex rock slope failure investigated by means of numerical modelling based on laser scanner technique. In E. Eberhardt et al. (eds) *Rock Mechanics, Meeting Society’s Challenges and Demands*. Taylor & Francis, 2: 917-924.
- Giacchetti G. (2004) Rilievi geomeccanici di dettaglio e analisi di stabilità dello stato di fatto e dell’ammasso riprofilato della zona del Mammellone 1 in località Gole di Scascoli – Strada Intercomunale di Fondo Valle Savena – studio non pubblicato Regione Emilia Romagna.
- Gottardi G., Marchi G., Landuzzi A., Benedetti G. - Sui complessi fenomeni di instabilità presso le Gole di Scascoli Appennino settentrionale, Bologna – 10^o Internationales Symposium INTERPRAEVENT 2004, Riva/Trento, Italia. 2(V): 25-36.
- Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. (2002) Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. Rocscience Inc. Toronto, 2002
- Hudson J.A., Harrison J.P., (1997) – *Engineering rock Mechanics – An introduction to the Principles* - Pregamon Press, London.
- Hudson J.A., Harrison J.P., (2000) – *Engineering rock Mechanics – Illustrative Worked Examples* - Pregamon Press, London.
- ITASCA Consulting Group (2004) – UDEC 4.00 Universal Distinct Elements Code – Manuals
- Landuzzi A., Benedetti G., Gualdrini M., Marchi G., Ferro S. (2004) – Landslides in the Scascoli gorge (Bologna, Appennines, Italy): from reconnaissance to monitoring (part 1). 32nd International Geological Congress.
- Landuzzi A. Bernagozzi G. (1996) - *Geologia e geomorfologia della frana di Scascoli (Appennino settentrionale, Bologna, Italia)*. V Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Cagliari, 1996.
- Rocscience (2005) – Phase2 6.00 - Manuals.

KLIMATISCHE UND METEOROLOGISCHE EINFLÜSSE AUF STURZPROZESSE

CLIMATIC AND METEOROLOGICAL INFLUENCES ON ROCKFALL AND ROCKSLIDES ("BERGSTURZ")

Ueli Gruner¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die klimatischen und meteorologischen Einflüsse auf Sturzprozesse werden einerseits aus historischer, andererseits aus felsmechanischer Sicht beleuchtet. Auswertungen von zahlreichen Sturzereignissen (kleinere Ereignisse bis zu Bergstürzen) ergaben, dass warme Klimaperioden weder zu einer Häufung von Bergstürzen noch zu einer Zunahme von kleineren Ereignissen führten. Bezüglich meteorologischen Einflüssen zeigt sich eine Häufung von kleineren bis mittleren Stürzen im Frühjahr im Zusammenhang mit Frost-Tau-Wechsel, Schneeschmelze und ersten Frühjahrsniederschlägen. Dieses Verhalten von Stürzen kann heute dank präziser automatischer Deformationsmessungen felsmechanisch plausibel erklärt werden: Danach führen kalte Temperaturen im Winter zu einer Entfestigung des Gebirges (Kluftöffnung infolge Gesteinskontraktion), welche bei einem intensiven Frost-Tau-Wechsel im Winter/Frühling noch verstärkt wird. Die Auslösung von Stürzen erfolgt jedoch vielfach erst bei Schneeschmelze bzw. bei den ersten Starkniederschlägen nach der Kälteperiode. Warme Zeiten, auch wenn sie mit Starkregen bzw. lang anhaltenden Niederschlägen verbunden sind, bewirken jedoch bei kleineren bis mittleren Felspartien keinen Bewegungsschub bzw. lösen nicht Sturzereignisse aus.

Keywords: Felssturz, Klimaerwärmung, Meteorologische Einflüsse, Frost-Tau-Wechsel

ABSTRACT

Climatic and meteorological influences on rockfall and rockslide events are treated from a historical and a rockmechanical view. The analysis of numerous events indicates, that warm periods do not induce an accumulation of events, neither of rockslides nor of rockfall. On the other hand, an accumulation of rockfall events during spring times seems to be influenced by meteorological conditions such as frequent freezing and thawing cycles, snowmelt and the first intensive precipitations. The historically documented triggering of rockfall and rockslide events is discussed from a rock-mechanical point of view. Due to accurate and automated measurement of displacements in different rock areas, a destabilization and decomposition of rock masses during cold periods can be identified. Warm periods, even if they are associated with intensive or rather extreme precipitation, do not induce displacements of smaller or median rock masses. Large rockfall and rockslide events (over 100'000m³) however are predominantly influenced by mountain water conditions and thus by precipitation.

Keywords: Rockfall, Meteorological Influences, Global Warming, Rockslide

¹ Geschäftsführer KELLERHALS + HAEFELI AG, Kapellenstrasse 22, CH-3011 Bern
(Tel. +41 31 381 90 07, Fax +41 31 381 92 75, E-Mail: ueli.gruner@k-h.ch)

EINLEITUNG

Meteorologische Faktoren und Klimaveränderungen beeinflussen verschiedene Bereiche unserer Umwelt wie z. B. Massenbewegungen. Im Folgenden wird deshalb aus zwei Blickwinkeln untersucht, wie sich diese Faktoren auf Stein- und Blockschläge sowie Fels- und Bergstürze auswirken: Einerseits aus historischer Sicht, indem die meteorologischen und klimatischen Randbedingungen von datierten Stürzen in der jüngeren Vergangenheit analysiert werden. Andererseits werden die felsmechanischen Aspekte der verschiedenen Sturzauslösungen beleuchtet, welche sich u. a. auch auf zahlreiche Messresultate der Praxis wie z. B. automatische Felsüberwachung im Rahmen einer Frühwarnanlage stützen.

BERGSTÜRZE SEIT DER LETZTEN EISZEIT

Klimatische Faktoren

Der Einfluss des Klimas auf die rund 230 bis heute bekannten Bergstürze ($> 1 \text{ Mio. m}^3$) in den Alpen wurden in Gruner (2006) eingehend beschrieben. Dabei wurde festgestellt, dass ungefähr die Hälfte dieser Stürze in der ersten Warmphase am Ende der letzten Eiszeit niedergegangen ist, als eine bedeutende Hangentlastung durch den Gletscherrückgang stattfand. Bei den 12 bisher datierten Bergstürzen des Postglazials zwischen 10'000 und 2'000 cal. yBP zeigt sich, dass diese bei unterschiedlichen Klimaverhältnissen stattfanden: Einige der Ereignisse, wie z. B. die Bergstürze von Flims und Kandersteg, ereigneten sich in einem frühen, postglazialen Klimaoptimum, andere dafür während der Kaltphase im Subboreal. Im bekannten Klimaoptimum des Mittelholozäns (Warmzeit) sind bisher jedoch keine Bergstürze datiert worden.

Bei der Analyse der rund 70 historisch bekannten Bergstürze seit 2'000 Jahren, v. a. aber seit dem 15. Jahrhundert, wurde festgestellt, dass während den drei Kaltzeiten der Kleinen Eiszeit zwischen ca. 1300 und 1850 die Sturzereignisse tendenziell etwas weniger häufig waren als in den übrigen Zeiten. Eine der bekanntesten Ausnahmen bildet der Bergsturz von Goldau (1806), der sich mitten in einer kalten Zeitperiode (letzter Gletschervorstoss in der Kleinen Eiszeit) ereignete. Die seit 1850 fortschreitende Erwärmung führte indes über den ganzen Zeitraum gesehen nicht zu einer Zunahme von Ereignissen. Eine unmittelbar nach Ende der Kleinen Eiszeit (ab ca. 1850) festgestellte zwischenzeitliche Zunahme von grossen Sturzereignissen dürfte u. a. auch auf die in diesem Zeitraum ausserordentlich intensiven Niederschläge zurückzuführen sein (Hegg, Vogt 2005).

Meteorologische Faktoren bei historischen Bergstürzen

Der Grund für die Auslösung der rund 70 historischen Bergstürze ist in vielen Fällen gut bekannt, da die Ereignisse von Zeitgenossen häufig detailliert beschrieben wurden. Rund die Hälfte der Bergstürze fand demzufolge nach intensiven bzw. lang anhaltenden Niederschlägen statt (Gruner 2006).

Jahreszeitliche Unterteilung historischer Bergstürze

Die Auswertung der Bergsturzdaten bezüglich der monatlichen Verteilung ergibt, dass in den Sommer- und Herbstmonaten, v. a. zwischen den Monaten Juli und Oktober, eine Häufung von grossen Stürzen stattfand (vgl. Abb.1). Dabei war der September der "bevorzugte" Monat. Das heisst, die Stürze fanden in einem Zeitraum statt, in welchem der Niederschlag in den

Alpen normalerweise als Regen fällt. Der damit verbundene erhöhte Bergwasserdruck wirkt sich destabilisierend auf den Felsverband aus.

STURZEREIGNISSE IN DER VERGANGENHEIT

Klimatische und meteorologische Faktoren

Eine Auswertung von rund 800 Sturzereignissen - die meisten tangierten Siedlungen oder Infrastrukturanlagen - von der Alpennordseite aus den letzten 500 Jahren (Gruner 2004), insbesondere aber aus dem 20. Jahrhundert, ergab, dass in kälteren Klimaperioden wie zum Beispiel zwischen 1950 und 1980 vermehrt Stürze im Winter und Frühjahr aufgetreten sind, während in der warmen Periode zwischen 1900 und 1950 und vor allem in der noch wärmeren Folgeperiode seit 1980 in erster Linie die Winterstürze anteilmässig geringer waren. Auf der andern Seite zeigten die Untersuchungen auch, dass der Anteil an Sturzereignissen in den Sommermonaten dieser rund 25 sehr warmen Jahren nicht grösser war als in der ebenfalls warmen Periode von 1900 bis 1950 und dass die Sturzaktivität in den wärmsten letzten 10 Jahren sogar zurückging. Bei den analysierten Ereignissen im Zeitraum zwischen 1500 und 1900 wurde zudem keine Korrelation zwischen bekannten Feucht- bzw. Warmperioden (gemäss Pfister 1999) und einer Häufung von Sturzereignissen festgestellt.

Jahreszeitliche Verteilung der Sturzprozesse

Beispiel Kanton Bern (Schweiz)

Es wurden alle zur Verfügung stehenden Sturzereignisse aus dem Kanton Bern zwischen 1980 und 2007 gesammelt und ausgewertet. Die insgesamt über 500 aktenkundigen Ereignisse stammen im Wesentlichen von Katastereinträgen der Abteilung Naturgefahren des Kantons Bern (StorMe-Daten) und der BLS AG (Eisenbahnlinie Lötschberg-Nordrampe) sowie aus Archiven privater Gutachterbüros. Die Ergebnisse dieser Auswertung sind in der Abb. 2 aufgeführt. Daraus geht folgendes hervor:

Auffallend ist eine Häufung der Ereignisse im Spätwinter (Februar) und in den ersten Frühjahrsmonaten (März, April). In diesem Zeitraum finden einerseits ausgeprägte Frost-Tau-Wechsel statt, andererseits bewirkt die Schneeschmelze einen grossen kontinuierlichen Wassereintrag vor allem im Gebirge. In vielen Sturzdokumenten wird auf diesen Faktor als Auslöser hingewiesen. Im Sommer wurde vor allem im August eine etwas erhöhte Sturzaktivität festgestellt. Ursachenanalysen wie auch felsmechanische Hinweise zeigen, dass nur in Ausnahmefällen ein Starkregen dafür verantwortlich war, sondern dass die Auslöser entweder starke Windböen waren, welche bei schweren Bäumen zu einer Entfestigung von Felspartien im Wurzelbereich führten, oder aber Kaltwettereinbrüche im Gebirge mit entsprechendem Frost-Tau-Wechsel. Im Herbst (September bis November) waren die Sturzereignisse vergleichsweise selten, selbst wenn der Herbst sehr nass war.

Beispiel Norwegen

Sandersen et al. (1995) haben die monatliche Verteilung von 235 Felsstürzen in Norwegen ausgewertet (Abb. 1 unten). Daraus geht hervor, dass in den Frühjahrsmonaten März, April und Mai eine erste, eindeutige Häufung auftritt, was auf die Schneeschmelze und auf Frost-Tau-Wechsel zurückgeführt wird. Die Häufung im Herbst (Oktober und November) hat ihre Ursache in den ersten Frost-Tau-Wechseln, welche mit der niederschlagsreicheren Jahreszeit verknüpft sind.

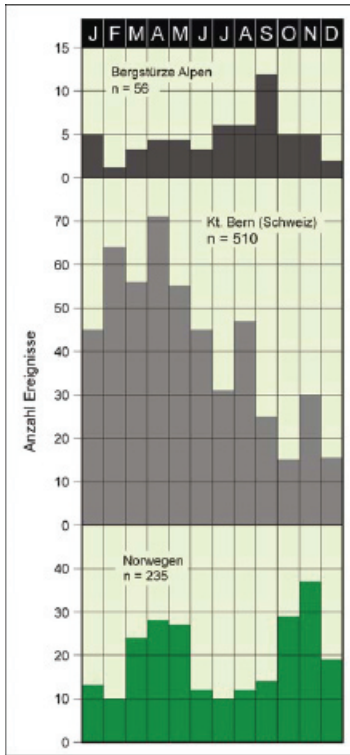


Abb. 1: Verteilung von Sturzereignissen pro Monat:
 Oben: Historische Bergstürze seit 2000 Jahren in den Alpen
 Mitte: Sturzereignisse im Kt. Bern (Schweiz) 1980 bis 2007
 Unten: Sturzereignisse in Norwegen (nach Sandersen et al. 1995)
Fig. 1: Monthly distribution of rockfall and rockslide events:
 Above: Rockslides over the last two milleniums in the Alps
 Middle: Rockfall events in the Canton of Berne (Switzerland) between 1980 and 2007
 Below: Rockfall events in Norway (after Sandersen et al. 1995)

Beispiele Täschgufer (Kt. Wallis, Schweiz) und Schwarzenberg (Kt. Bern, Schweiz)

Mittels dendrochronologischer Studien an Stammscheiben aus bewaldeten alpinen Hängen unterhalb von Felswänden wurde in den letzten Jahren versucht, auf Grund von Baumverletzungen durch Sturzkörper u. a. auch Angaben über den saisonalen Verlauf von Sturzaktivitäten zu erhalten. Das von Stoffel et al. (2005) untersuchte Ausbruchgebiet im Täschgufer (Kt. Wallis, Schweiz) liegt auf einer Höhe von über 2300 m ü. M. Es zeigte sich, dass 88 % der 115 in einem Zeitraum von 25 Jahren (1977 bis 2001) festgestellten Steinschläge in der winterlichen Wachstumsphase zwischen Oktober und Mai stattfanden, wobei der Schwerpunkt in den Monaten April und Mai lag. Die Untersuchung von Perret et al. (2006) am Schwarzenberg (Kt. Bern, Schweiz) ergab ähnliche Resultate: Die Hauptaktivität wurde ebenfalls während der winterlichen Wachstumsphase festgestellt (74%; ca. 300 Ereignisse in den letzten rund 280 Jahren). Der etwas niedrigere Prozentsatz gegenüber dem Täschgufer dürfte auf das mit 1250 bis 1650 m ü. M. deutlich tiefer gelegene und damit im Winter weniger kalte Ausbruchgebiet der Sturzaktivitäten zurückzuführen sein. Auch am Schwarzenberg lag der Schwerpunkt der Aktivität im Frühling. Erstaunlicherweise wurde die Steinschlagaktivität beider Gebiete weder durch starke Sommergewitter noch durch lang anhaltende Niederschläge im Herbst beeinflusst.

FAZIT DER HISTORISCHEN ANALYSE

Aus der historischen Analyse der Bergstürze und der übrigen, kleineren Sturzprozesse kann in Bezug auf die klimatischen und meteorologischen Einflüsse zusammenfassend folgendes Fazit gezogen werden:

Klima:

- Es besteht keine Korrelation zwischen warmen Klimaperioden und grossen Sturzereignissen wie Bergstürzen. Auch die seit 1850 fortschreitende Erwärmung lässt bis heute keine tendenzielle Zunahme von solchen Ereignissen erkennen.
- Kalte Klimaperioden bewirken vermehrt kleine bis mittlere Sturzereignissen im Winter und im Frühling. Warme Perioden hingegen zu keiner Häufung solcher Ereignisse.

Meteorologie:

- Kleinere bis mittlere Sturzereignisse finden zum grösseren Teil im Frühjahr statt. In einem Zeitraum also, in dem nach der kalten Zeit vermehrt Frost-Tau-Wechsel, Schneeschmelze und erste grössere Frühjahrsniederschläge auftreten. Im Herbst (v. a. im Oktober) sind solche Ereignisse hingegen eher selten.
- Im Gegensatz zu den kleineren bis mittleren Ereignissen treten grosse Sturzprozesse wie Bergstürze in den Herbstmonaten deutlich häufiger auf als im Frühling und sind verbunden mit starken bzw. lang anhaltenden Niederschlägen.

METEOROLOGIE UND AUSLÖSUNGSMECHANISMEN BEI STURZPROZESSEN

Der Einfluss der meteorologischen Verhältnisse auf die Auslösungsmechanismen bei Sturzprozessen wird anhand der folgenden Faktoren beschrieben:

- Temperatur
- Niederschlag
- Frost-Tau-Zyklen
- Weitere Faktoren (Winddruck, Permafrost)

Nicht näher eingegangen wird an dieser Stelle auf die verschiedenen denkbaren Ursachen von Stürzen (geologische oder geomorphologische Disposition etc.).



Abb. 2: Labile Felscheibe (rund 1'000 m³) am Brünigpass über der Nationalstrasse N 8 (Kt. Bern, Schweiz) mit Lage der automatischen Weggeber C5 und C6

Fig. 2: Unstable rock plate (about 1'000 m³) near the Brünig Pass above Swiss national road N 8 (canton of Berne, Switzerland) with situation of automatic deformations records of the points C5 and C6

Faktor Temperatur

Kleinere bis mittlere labile Felspartien

Der Mechanismus der Gebirgsentfestigung kann heute dank präziser automatischer Deformationsmessungen gut erfasst werden. Der Vergleich mit den entsprechenden Temperaturaufzeichnungen ergibt für kleinere bis mittlere labile Felspartien und gleichzeitig spröde Gebirgstypen, dass sich die Klüfte und Risse bei kalten Temperaturen infolge Gesteinskontraktion öffnen, während sie bei wärmeren Temperaturen stagnieren oder sich sogar wieder schliessen (vgl. auch Krähenbühl 2004). Je nach Form und Grösse der Felspartie können Tagesschwankungen von bis zu 1 mm auftreten: Als Beispiel dient die mit automatischen Weggebern ausgerüstete, rund 1'000 m³ grosse Felscheibe am Brünigpass oberhalb der Nationalstrasse N8 (Kt. Bern, Schweiz; Abb. 2). Die täglichen temperaturbedingten Deformationschwankungen betragen je nach Jahreszeit bis gegen 1 mm (Abb. 3); die jährlichen Differenzen liegen bei 3 mm (Abb. 4). Auch beim mit gegen 100'000 m³ bedeutend grösseren Felspaket am Gstryfet Birg über der Eisenbahnlinie Lötschberg-Nordrampe (Kt. Bern, Schweiz) wurden Jahresschwankungen von über 2 mm gemessen (Abb. 5 und 6).

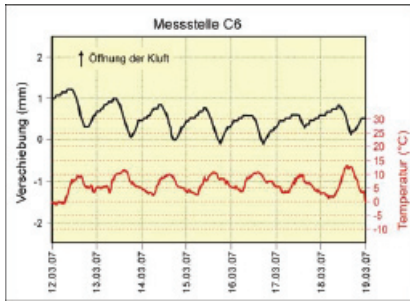


Abb. 3: Aufzeichnung des automatischen Weggebers C6 an einer offenen Kluft an der Felscheibe am Brünigpass Mitte März 2007. Die temperaturbedingte Tagesdeformation beträgt fast 1mm.

Fig. 3: Automatic deformation record of point C6 at the joint of the rock plate near the Brünig Pass. Deformation due to daily temperature change is almost 1 mm.

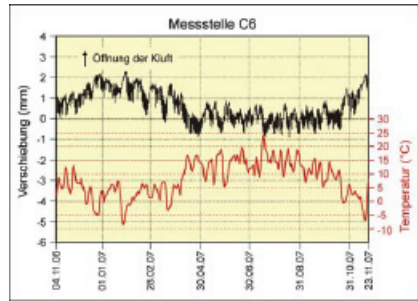


Abb. 4: Aufzeichnungen des automatischen Weggebers C6 an der Felscheibe am Brünigpass von 2006 bis 2007. Die jahreszeitlich bedingte Deformation beträgt fast 3 mm.

Fig. 4: Automated deformation record of point C6 at the joint of the rock plate near the Brünig Pass. Deformation due to of annual temperature change is almost 3 mm.



Abb. 5: Labiles Felspaket am Gstryfet Birg (ca. 100'000 m³) oberhalb der Eisenbahnlinie der BLS (Lötschberg-Nordrampe; Kt. Bern, Schweiz)

Fig. 5: Unstable rock mass at Gstryfet Birg (about 100'000 m³) above the railway line Lötschberg (nothern part; Canton of Berne, Switzerland)

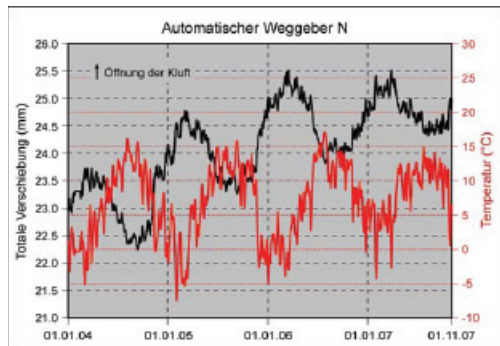


Abb. 6: Aufzeichnung des automatischen Weggebers N am labilen Felspaket vom Gstryfet Birg von 2003 bis 2007. Die jahreszeitlich bedingte Deformation beträgt ca. 2 mm.

Fig. 6: Automated deformation record at point N (unstable rock mass at Gstryfet Birg) between 2003 and 2007. Deformation due to annual temperature change is around 2 mm.

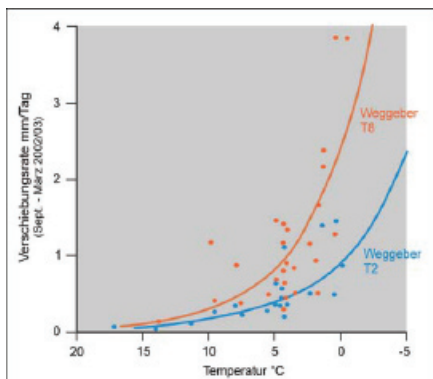


Abb. 7: Der Einfluss der Temperatur auf die Verschiebungsrates verläuft exponentiell (nach Krähenbühl 2004 aus einem Beispiel im Val Infern, Kt. Graubünden, Schweiz).

Fig. 7: The influence of absolute temperature on deformation rate appears to be exponential (after Krähenbühl 2004; example of the Val Infern, Canton of Graubünden, Switzerland)

zurück. Dies zeigte sich z. B. ausgeprägt bei der gegen 250'000 m³ grossen Felsmasse am Chapf bei Innertkirchen (Kt. Bern, Schweiz; Gruner, Ottiger 2001) oder in etwas weniger ausgeprägtem Ausmass bei der knapp 400'000 m³ umfassenden Felspartie am Grätli bei Interlaken (Kt. Bern, Schweiz; Keusen 2000). Heim (1932) bezeichnete dieses Verhalten als "Winterschlaf der Berge".

Faktor Wasser (Regen oder Schneeschmelze)

Kleinere bis mittlere labile Felspartien

Der Faktor Wasser spielt grundsätzlich eine wichtige Rolle beim Deformationsschub entlang einer Trennfläche. Allerdings ist hier eine differenzierte Betrachtung notwendig:

Schneeschmelze und die ersten intensiven Niederschläge führen in den Frühlingsmonaten zum Aufbau eines erhöhten Kluftwasserdruckes. Dadurch steigt der Druck auf die Kluft- bzw. auf die potenzielle Ablösefläche. Dies kann zu einem Abbau oder einer Zerstörung von rückhaltenden Kräften wie Gesteinsbrücken oder Verzahnungen führen. Felspartien, welche im Winterhalbjahr infolge kältebedingter Kluftöffnungen einen erhöhten "Reifegrad" bezüglich Absturzgefahr erreicht haben (vgl. oben), sind auf diese Prozesse speziell anfällig. Dies erklärt auch die in diesem Zeitraum stark erhöhte Stein- und Blockschlag- sowie Felssturzakktivität.

Ist dieser erste, ausserordentliche Eintrag von Wasser in das Gebirge ohne Sturzereignis überstanden, so können selbst Starkregen im gleichen Jahr vielfach keine Stürze mehr auslösen. Die Klüfte schliessen sich in der wärmeren Jahreszeit wieder; ein stark erhöhter Wasserdruck an der Kluftspitze ist nicht mehr möglich. Die auf den Abbildungen 8 und 9 gezeigten Beispiele vom Brünigpass bzw. vom Gstryfet Birg zeigen, dass selbst extreme Niederschlags-

Die Temperaturschwankungen sind somit für einen zyklischen Prozess verantwortlich, welcher mit z. T. täglich oder jährlich wiederkehrenden Deformationen (Last-Entlastungs-Zyklen) zu einer Zerstörung von Gesteinsbrücken, zu einer Zunahme der Klufttiefe und somit zu einer allmählichen Entfestigung des Gebirges führt. Gemäss Krähenbühl (2004) wird die Deformationsrate bei sinkenden Temperaturen sogar exponentiell grösser (vgl. Abb. 7). Das bedeutet generell, dass bei einer labilen Felspartie der hauptsächliche Bewegungsschub in erster Linie in der kalten Jahreszeit stattfindet. Damit wird der "Reifegrad" einer Felspartie für einen Absturz erhöht. Das Sturzereignis selbst findet jedoch vielfach erst im Frühjahr bei den ersten Wassereinträgen in das Gebirge statt (vgl. unten).

Grössere labile Felspartien

Bei grösseren labilen Felspartien (bis zu potenziellen Bergstürzen von > 1 Mio. m³) gehen die Deformationen im Winterhalbjahr

werte, wie sie anlässlich von Unwettern gemessen wurden (z. B. im August 2005 oder im August 2007), keinen Bewegungsschub auslösten. Die Auswertung der Unwetterstatistik vom August 2005 im Kanton Bern ergab zudem, dass trotz Rekordniederschlägen nur zwei Sturzereignisse (neben tausenden von Hangmuren und Rutschungen) bekannt sind. Im Jahresbericht der Unweterschäden in der Schweiz im Jahr 2005 fand sich für den August kein einziges Sturzereignis (Hilker et al. 2007).

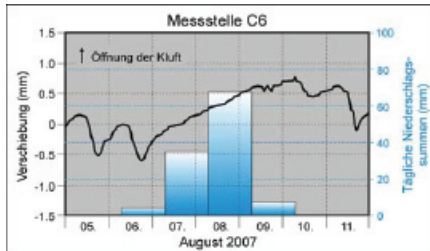


Abb. 8: Aufzeichnung des automatischen Weggebers C6 an der Felscheibe am Brünigpass im August 2007. Trotz der Niederschlagsrate von 67 mm/Tag (9. August) wurde keine Deformation festgestellt.

Fig. 8: Automated deformation record of point C6 (rock plate near the Brünig Pass), August 2007. In spite of a precipitation rate of 67 mm per day (9 August), any deformation was measured.

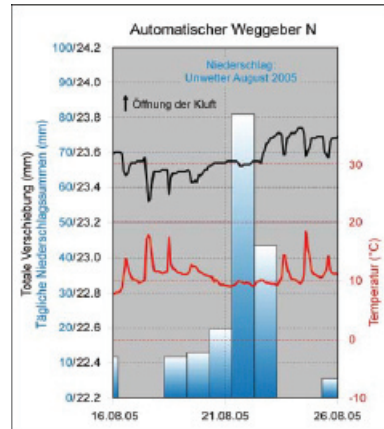


Abb. 9: Aufzeichnung des automatischen Weggebers N am labilen Felspaket am Gstryfet Birg im August 2005. Die extremen Niederschläge im Rahmen des Unwetters vom August 2005 wirkten sich nicht auf die Deformation aus.

Fig. 9: Automated deformation record of point N (unstable rock mass at Gstryfet Birg), August 2005. Even the extreme precipitation in this month did not cause any increased movements.

Grössere labile Felspartien

Die Analyse der historischen Bergstürze zeigt, dass rund die Hälfte der erfassten Ereignisse auf Niederschläge bzw. Nassperioden zurückzuführen waren (Gruner 2006). Dies weist bei vielen Felspartien auf einen behinderten Wasserabfluss im Berginnern hin. So dass sich ein hydrostatischer Druckaufbau aufbauen konnte. Neuere Beispiele dieses Verhaltens von grossen Felspartien werden in Keusen (2000) und Gruner (2004) beschrieben. Beim Teilabsturz von rund 450'000 m³ auf der Ostseite des Eigers (Kt. Bern, Schweiz) im Juli 2006 werden die extremen Niederschläge vom August 2005 als auslösender Faktor der Felsbewegung von insgesamt rund 2 Mio. m³ vermutet (Keusen et al. 2007). Die zu diesem Zeitpunkt festgestellten Geräusche und Mikrobeben in der nahen Umgebung deuten auf das Aufbrechen von Gesteinsbrücken als Folge hoher Wasserdrücke in Klüften hin. Ein weiteres Beispiel für die destabilisierende Wirkung bei einem erhöhten Wassereintrag bei grossen Felspartien liefert ein Wässerungsversuch an einem labilen, 250'000 m³ grossen Felspaket an der Grimselpasstrasse im Kt. Bern. Hier sollte mittels Einleitung von Fremdwasser in die Klüfte ein künstlicher Absturz ausgelöst werden. Auch wenn der Versuch (erfolglos) abgebrochen werden musste, zeigt doch die Erhöhung der Bewegungen innerhalb von wenigen Tagen von anfänglich ca. 1 mm/Tag auf gegen 8 cm/Tag eindrücklich die Wirkung des Bergwasserdruckes auf die Felsmasse (Gruner 2004).

Faktor Frost – Tau- Wechsel

Eine Kombination der beiden Faktoren Temperatur und Wasser ist der Frost-Tau-Wechsel, welcher ebenfalls zu einer fortlaufenden Entfestigung im Klufbereich von labilen Felspartien beitragen kann. Auch dieser häufig zyklische Prozess bewirkt infolge seiner deformationellen Wirkung eine Ermüdung von Gesteinsbrücken und ähnlichen rückhaltenden Kräften. Der Faktor Frost-Tau-Wechsel löst vor allem kleinvolumige Stürze aus (Steinschlag). Frostsprengung wirkt nur untergeordnet als Trigger, da die damit verbundenen Kräfte statisch und nicht dynamisch wirken. Die mittels dendrochronologischen Studien festgestellten Steinschlagaktivitäten im Winterhalbjahr und vor allem im Frühling sind massgeblich auf diesen Faktor zurückzuführen.

Weitere Faktoren

Winddruck

Erstaunlich häufig sind auch Sturzereignisse, welche im Zusammenhang mit Sturmböen (evtl. verbunden mit Starkniederschlägen) stehen. Dabei bewirkt der Winddruck im Wurzelbereich von schweren Bäumen eine Felsauflockerung. Auch hier dürfte es sich um eine dynamische Auflockerung durch die Wippbewegung der Bäume im Wind handeln.

Permafrost

Stürze, welche auf das Auftauen des Permafrosts zurückzuführen sind, haben vor allem in ausserordentlich heissen Sommermonaten (2003) eine Bedeutung und dann auch nur in den Nordwänden der Hochalpen. Zudem spielt der Permafrost in der Regel nur in Höhen von über 2500 m ü. M. eine Rolle, also in Gebieten, wo Siedlungen kaum gefährdet und höchstens exponierte Verkehrswege von Bedeutung sind.

Fazit

- Kalte Temperaturen bewirken eine dynamische Entfestigung bzw. eine Destabilisierung des Gebirges infolge von Gesteinskontraktionen, während sich bei wärmeren Temperaturen die Klüfte eher schliessen, was eine Stabilisierung zur Folge hat. Ein häufiger Wechsel von Gefrieren und Auftauen kann diesen destabilisierenden Prozess noch beschleunigen. Grosse Felsmassen mit tief liegenden Klüften bzw. Ablösungsflächen werden jedoch in ihrer Gesamtstabilität tendenziell nicht von Temperaturschwankungen beeinflusst.
- Wasser wirkt generell als treibender und auslösender Faktor: Bei grossen labilen Felsmassen von in der Regel deutlich über 100'000 m³ stehen die Bewegungen vielfach in direktem Zusammenhang mit dem Niederschlagsgeschehen. Bei kleineren und mittleren labilen Felspartien ist in erster Linie der erste bedeutende Wassereintrag im Frühjahr nach der kalten Zeit (evtl. zusammen mit der Schneeschmelze) der wichtigste Trigger. Die Sommer- und Herbstniederschläge spielen in diesem Fall für die Sturzaktivitäten nur eine vergleichsweise untergeordnete Rolle.
- Während Winddruck erstaunlich häufig Sturzereignisse auslöst, ist die Bedeutung der durch Permafrost bedingten Stürzen in abgelegenen Höhenlagen begrenzt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Beschreibung der historischen Erkenntnisse und des felsmechanischen Verhaltens des Gebirges erlaubt zusammenfassend die nachstehenden Schlussfolgerungen. Diese sind beispielsweise bei der Beurteilung einer potenziellen Felssturzgefahr oder bei einem Gefahrenmanagement von Bedeutung.

Ursachen und Auslösung von kleineren bis mittleren Sturzereignissen

- Kalte Temperaturen bzw. das Ausmass von Kaltzeiten (kalte Klimaperioden und kalte Winter) bilden - nebst der geologischen Disposition - die wichtigste Ursache von kleinen bis mittleren Sturzereignissen. Ergänzend dazu wirken häufige Frost-Tau-Wechsel z. B. bei Kälteeinbrüchen im Frühling oder auch im Sommer im Gebirge destabilisierend. Diese klimatischen und meteorologischen Einflüsse führen zu einer Entfestigung des Gebirges, indem die Klüfttiefe vergrössert und Gesteinsbrücken zerstört werden. Dadurch erhöht sich der "Reifegrad" eine Felspartie für einen Absturz (vgl. Abb. 10).

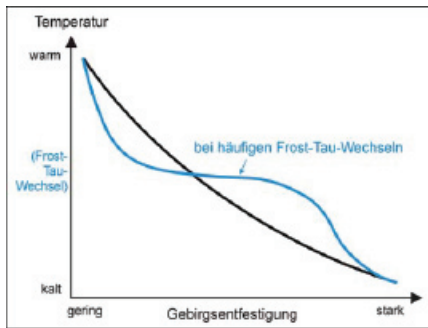


Abb. 10: Ausmass der Gebirgsentfestigung in Abhängigkeit der Temperatur

Fig. 10: Extent of dynamic fatigue of rock masses depending on temperature

- Ausgelöst werden kleinere bis mittlere Sturzereignisse häufig im Anschluss an eine Kaltzeit bzw. im Anschluss an Frost-Tau-Wechsel, sobald im Frühjahr das erste Mal bedeutende Niederschläge auftreten oder sobald es zur Schneeschmelze kommt.

- Warme Zeiten und vor allem auch warme Sommermonate bewirken hingegen eine Beruhigung der Fels- oder Gebirgsbewegungen, d. h. es sind generell weniger Sturzereignisse zu erwarten (Abb. 11). Eine Ausnahme bilden auf Winddruck zurückzuführende Felsstürze und durch Permafrost bedingte Ereignisse in heissen Sommermonaten in den Nordwänden der Hochalpen. Letztere tangieren den Siedlungsraum und die Infrastrukturanlagen jedoch kaum.

Ursachen und Auslösung von grösseren Sturzereignissen

- Die Ursache von grösseren Sturzereignissen ($>> 100'000 \text{ m}^3$ bis Bergsturz von $> 1 \text{ Mio. m}^3$) ist in erster Linie in der geologischen und hydrogeologischen Disposition des Gebirges zu suchen. Dazu gehören der Auflockerungsgrad, das Vorhandensein von Entlastungsklüftungen und Abscher- bzw. Gleithorizonten, die Hangentlastung nach dem Rückzug der Gletscher und der lithologische und tektonische Gebirgsaufbau. Letzterer kann die Voraussetzung bilden, damit der Aufbau eines hydrostatischen Druckes (Bergwasserdruck) infolge eines behinderten Wasserabflusses im Berginnern möglich ist.
- Ausgelöst werden solche Grossereignisse vielfach durch starke und lang anhaltende Niederschläge, welche zum Aufbau eines ausserordentlich hohen Bergwasserdruckes führen. Grosse Stürze sind in erster Linie im höher gelegenen Gebirge zu erwarten und treten daher tendenziell eher im Sommer und Herbst auf (Abb. 11).

- Die kalte Jahreszeit bewirkt tendenziell eher eine Beruhigung dieser grossen Felsmassen ("Winterschlaf").

AUSBLICK

Ursachen- und Ereignisanalysen von Sturzphänomenen und das felsmechanische Verhalten von labilen Gesteinskörpern lassen den Schluss zu, dass ein wärmeres Klima bisher nicht zu einer tendenziellen Zunahme von Sturzereignissen geführt hat - weder von kleinen noch von grossen - und dass auch in Zukunft nicht mit einer erkennbaren Häufung zu rechnen ist. Dies im Gegensatz zu den Äusserungen, wie sie in den letzten Jahren vielfach in den Medien zu finden waren, oder auch zum Bericht der OcCC/ProClim- (2007), welche in ihrer Studie zu den erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung in der Schweiz im Jahr 2050 u. a. eine Zunahme von grossen Stürzen im Hochgebirge befürchtet. Warme Sommermonate führen vielmehr zu einer Beruhigung des Gebirges (mit Ausnahme der steilen Nordflanken im Hochgebirge in sehr heissen Sommermonaten). Zukünftig wärmere Winter führen zudem zu einer geringeren Destabilisierung des Gebirges, da die Gesteinskontraktion bzw. die Kluftaufweitung weniger ausgeprägt ist als bei sehr kalten Temperaturen. Im Einzelfall können allerdings, in erster Linie in den Voralpen, häufige Frost-Tau-Wechsel und anschliessende Niederschläge den Entfestigungsprozess im Gebirge beschleunigen, d. h. den "Reifegrad" für einen Absturz erhöhen. Da die Klimaveränderung jedoch generell ein langsamer Prozess ist, wird sich die Anzahl von Sturzprozessen in Anbetracht dieses geologisch gesehen ebenfalls sehr langsam verlaufenden Entfestigungsprozesses des Gebirges auch in Zukunft nicht relevant verändern.

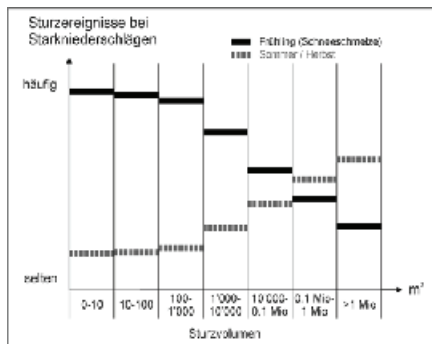


Abb. 11: Häufigkeit von Sturzereignissen bei Starkniederschlägen in Bezug auf das Sturzvolumen (für einzelne Volumenkategorien)

Fig. 11: Frequency of rockfall events as a function of the falling volume in case of intense precipitation (for single size categories)

LITERATUR

- Gruner U. (2004): "Klima und Sturzereignisse in Vergangenheit und Zukunft." Bull. angew. Geol., Vol. 9/2; 23-37.
- Gruner U. (2006): "Bergstürze und Klima in den Alpen - gibt es Zusammenhänge?" Bull. angew. Geol., Vol. 11/2; 25-34.
- Gruner, U., Ottiger, R. (2001): "Chronik eines anzukündigenden Felssturzes." 13. Nat. Ing. Geol., Karlsruhe. Sonderband Geotechnik; 11-16. Verlag Glückauf GmbH, Essen.
- Hegg, C., Vogt, S. (2005): "Häufigkeit und Trends von Starkniederschlägen in der Schweiz im Zeitraum 1864 - 2002." Wasser, Energie, Luft, Vol. 97, 7/8; 209-212.
- Heim, A. (1932): "Bergsturz und Menschenleben." Vjschr. Natf. Ges. Zürich, 20.
- Hilker, N., Jesy, M., Badoux, A., Hegg, C. (2007): "Unwetterschäden in der Schweiz im Jahre 2005." Wasser, Energie, Luft, Vol. 99,1; 31-41.

- Keusen, H.R. (2000): "Schynige Platte, Jungfraugebiet - Langzeitbeobachtungen an einer grossen Felsbewegung." Felsbau, Vol. 18/3; 56-62.
- Keusen, H.R., Oppikofer, T., Jaboyedoff, M. (2007): "Bergsturz am Eiger: Überwachung der Felsbewegungen mittels 3D Laserscanning." Geoscience Actuel (Platform of the Swiss Academy of Sciences) 2/2007; 28-32.
- Krähenbühl, R. (2004): "Temperatur und Kluftwasser als Ursache von Felssturz." Bull. angew. Geol., Vol. 9/1; 19-35.
- OcCC / ProClim- (2007): "Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft." OcCC / ProClim (Forum for Climate and Global Change), Bern.
- Perret, S., Stoffel, M., Kienholz, H. (2006): "Spatial and temporal rockfall activity in a forest stand in the Swiss Prealps - a dendrogeomorphological case study." Geomorphology, vol. 74; 219-231.
- Pfister, C. (2003): "Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen 1496-1995." Haupt Verlag Bern.
- Sandersen, F., Bakkehoi, S., Hestnes, E., Lied, K. (1995): "The influence of meteorological factors on the initiation of debris flows, rockfalls, rockslides and rockmass stability." Senneset (ed.): Landslides 1996; 97-113 Balkema, Rotterdam.
- Stoffel, M., Lièvre, I., Monbaron, M., Perret, S. (2005): "Seasonal timing of rockfall activity on a forest slope at Täschgufer (Swiss Alps) - a dendrochronological approach." Z. Geomorph., Vol. 49; 89-106.

DER EINSATZ VERSCHIEDENER KLASSIFIKATOREN ZUR ERKENNUNG FLACHSCHALIGER RUTSCHUNGEN

MODELLGEBIET SACHSELN / SCHWEIZ

IMPLEMENTATION OF DIFFERENT CLASSIFICATION METHODS FOR DETECTING SOIL SLIPS

MODEL AREA SACHSELN / SWITZERLAND

Maik Hamberger¹, Michael Moser²

ZUSAMMENFASSUNG

Am 15. August 1997 verursachten Starkniederschläge mit einer Intensität von 150 mm in zwei Stunden mehr als 700 kleinflächige und flachschalige Rutschungen, die zu großen Vermurungen in den Talbereichen in der Umgebung von Sachseln und des Melchtales in der Schweiz führten. In den Folgejahren wurden im Rahmen verschiedener Projekte umfangreiche Aufnahmen durchgeführt, um den Einfluss verschiedener Parameter auf die Rutschaktivität eines Hanges zu ermitteln. Die Ergebnisse dieser ersten Evaluierung zeigten, dass die Rutschungen nicht durch einen Parameter - morphologischer, geotechnischer, geologischer, hydrologischer oder vegetationskundlicher Art -, sondern eine Kombination vieler Faktoren ausgelöst wurden. Mit drei unterschiedlichen Klassifikationsverfahren, der linearen Diskriminanzanalyse, den Support Vector Machines und den Klassifikationsbäumen, wurde versucht, Parameterkonstellationen zu finden, die effizient zwischen Rutschungsbereichen und Nichtrutschungsbereichen unterscheiden. Die Ergebnisse der durchgeführten Klassifikationen belegen, dass es zum einen möglich ist, einen Großteil (81 %) der Rutschungen mit verschiedenen Modellen zu erkennen, zum anderen aber auch die Möglichkeit besteht, nicht nur ca. 74 % der Rutschungen sondern ebensoviel Nichtrutschungen richtig zu klassifizieren.

Keywords: Hangbewegungen, Rutschungserkennung, GIS, lineare Diskriminanzanalyse, Support Vector Machines, Klassifikationsbäume

ABSTRACT

On August 15th, 1997 a thunderstorm, which had a total rainfall of 150 mm over a two hour period, was recorded in Central Switzerland and resulted in more than 700 soil slips and huge

¹ Dipl.-Geol., Trumer Schutzbauten GmbH, Weißenbach 106, 5431 Kuchl, Österreich (Tel.: +43-6244-20325; Fax: +43-6244-20325-11; email: m.hamberger@trumerschutzbauten.com)

² Prof. Dr., Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Schlossgarten 5, 91054 Erlangen, Deutschland (Tel.: +49-9131-85-22697; Fax: +49-9131-85-29294; email: moser@geol.uni-erlangen.de)

damages in the valleys of Sachseln and Melchtal. These soil slips were evaluated and analysed in the following years. The first results of the analysed soil slips highlighted that morphological, geotechnical, geological, hydrological and botanical factors have a crucial influence on the slope stability. Thus it was determined that the occurrence of a soil slip is not reliant on a single parameter, but rather on a set of parameters. Using three different classification methods - linear discriminant analysis, support vector machines and classification trees - the set of parameters that best separate soil slips areas from non-soil-slip areas were investigated, while at the same time attempting to find the simplest combination thereof. The results of the soil slip recognition demonstrate that it is possible to recognize, on the one hand, most of the soil slips (81 %) using different models and, on the other hand, up to 74 % of both soil slip cells and non-soil-slip cells (an important difference).

Keywords: Soil slips, soil slips recognition, GIS, linear discriminant analysis, support vector machines, classification trees

EINLEITUNG

Naturgefahren haben schon immer die oft sehr begrenzten Siedlungsräume in den Tälern der Alpen bedroht. Naturkatastrophen, bei denen eine Vielzahl von Menschen sowie menschliche Güter betroffen sind, sind in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen. Betrachtet man alleine den Zeitraum seit 1970, so hat sich die Zahl der weltweit erfassten Naturkatastrophen mehr als vervierfacht (Zanetti et al., 2004). In der Schweiz wurden die schwerwiegendsten Naturkatastrophen durch Massenbewegungen und Lawinen ausgelöst. Bei den zehn schwersten Naturkatastrophen der Schweiz der letzten 50 Jahre wurden bei insgesamt sieben Ereignissen 273 Menschen durch Massenbewegungen und Lawinen getötet. Die Zahl der durch diese Katastrophen betroffenen Personen lag bei über 3500 (CRED, 2004). Seit 1972 werden in der Schweiz unterschiedliche Naturgefahren in Karten erfasst, um gefährdete Gebiete nicht für die Überbauung und Besiedelung freizugeben. Mitte der 70er Jahre entwirft Kienholz (1977) einen Leitfaden für die Aufnahme von Naturgefahren und deren Darstellung in geomorphologischen Karten.

Obwohl seit nunmehr über 30 Jahren Verordnungen zur Erhebung von Naturgefahren existieren, gibt es auch 2007 noch viele Bereiche im Alpenraum, in denen noch keine Naturgefahrenbeurteilung vorgenommen wurde. Dazu zählen auch Gebiete, die eine dichte Besiedelung aufweisen. Das Problem der flächendeckenden Gefahrenbeurteilung liegt im damit verbundenen hohen Zeitaufwand und der Komplexität verschiedener Naturgefahren, die

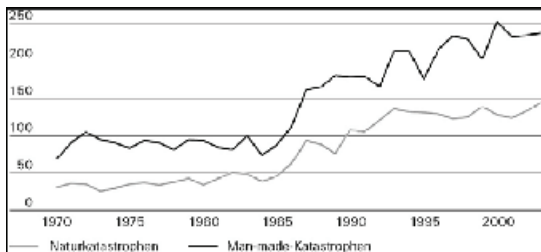


Abb. 1: Anzahl der weltweit erfassten Naturkatastrophen und Man-made-Katastrophen seit 1970 (Zanetti et al., 2004).

Fig. 1: Worldwide number of natural disasters and Man-made-catastrophes since 1970 (Zanetti et al., 2004).

durch unterschiedliche Faktoren ausgelöst werden können. Die Veränderungen an alpinen Hängen im Laufe der Zeit erfordern es, Gefahrenkarten nach einigen Jahren neu zu überarbeiten und zu verifizieren - was ebenfalls sehr zeitaufwendig ist.

Zudem zeigt eine Literaturrecherche der letzten Jahre, dass das Interesse immer größer wird, ein Verfahren zu entwickeln, welches mit einem

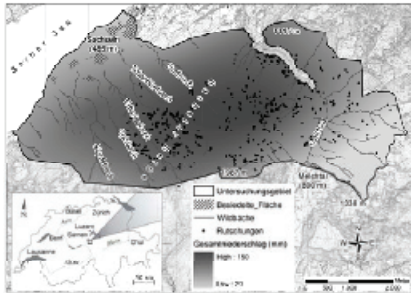


Abb. 2: Verteilung der Niederschläge und Rutschungen im Modellgebiet.

Fig. 2: Distribution of precipitation and soil slips of the model area.



Abb. 3: Rutschungen vom 15.08.1997 in Sachseln/Schweiz.

Fig. 3: Soil slips of Sachseln/Switzerland from August 15th, 1997.

möglichst geringen Aufwand effizient auf die einzelnen Typen von Naturgefahren hinweist. Dazu werden vermehrt Methoden aus dem Bereich der Statistik und Mustererkennung herangezogen.

Am Beispiel Sachseln/Schweiz wird dargestellt, wie mit Klassifikationssystemen flachschalige Rutschungen erkannt werden können, die durch Starkniederschläge ausgelöst wurden. Das Projekt wurde in einer interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Mustererkennung der Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt.

Im Raum Sachseln hat sich am 15. August 1997 eine extrem stationäre Gewitterzelle entladen, in deren Folge über 700 meist kleinflächige und flachschalige Rutschungen entstanden sind. Der Großteil des Anbruchsmaterials wurde über die Gerinne in die Täler hinab transportiert und lagerte sich in den Ortschaften der Tallagen ab. In den Orten Sachseln und Melchtal waren erhebliche Sachschäden zu verzeichnen. Der Gesamtschaden des nur zwei Stunden anhaltenden Starkniederschlags lag bei ca. 100 Mio. CHF; Menschenleben forderte dieses Ereignis glücklicherweise nicht.

GRUNDLAGEN

Evaluierung

Nach den Starkniederschlägen wurden die Schäden im Raum Sachseln und Melchtal nur wenige Tage später erhoben. Intensive Untersuchungen wurden in den nachfolgenden Jahren durch folgende Institutionen durchgeführt:

- 1997 - 1998 Ereignisdokumentation Sachseln (BWW (Bundesamt für Wasserwirtschaft), 1998): Beschreibung der Hydrometeorologie, Spitzenabflüsse und Feststoffbilanzen, der Massenbewegungen und Schäden im Raum Sachseln
- 1998 - 2000 Diplomarbeit an der Universität Erlangen (Hamberger, 2000): Evaluierung der Rutschungen und geotechnische Kartierung im südlichen Melchtal
- 1998 - 2001 Diplomarbeit an der Universität Erlangen (Werner, 2001): Evaluierung der Rutschungen und geotechnische Kartierung im nördlichen Melchtal

- 1998 - 2001 Projekt "Vegetationswirkungen und Rutschungen" der Eidgenössischen Forschungsanstalt WSL: Untersuchungen zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse (Rickli, 2001)
- 1998 - 2000 Diplomarbeit an der ETH-Zürich: Geologische Aufnahmen im Bereich der Sachsler Berge
- 2001 - 2003 Geotechnische Erhebungen für Dissertation an der Universität Erlangen: Geotechnische Kartierung im Bereich der Sachsler Berge

Ergebnisse der Evaluierung

Im Rahmen dieser Arbeiten wurden flächendeckend die Parameter erhoben und analysiert, die sich am 15. August 1997 eventuell negativ bzw. rutschungsfördernd auf die Stabilität ausgewirkt haben. Die Auswertung der Evaluationen von insgesamt 553 Rutschungen führte u.a. zu folgenden Ergebnissen:

- Nach dem Klassifikationsschema von Cruden & Varnes (1996) entstanden neben *translational slides* (60 %) und *rotational slides* (20 %) auch *compound slides* (20 %).
- Die größtenteils oberflächlichen Rutschungen waren im Durchschnitt 18 m lang, 13 m breit und 0,9 m tief. Der Durchschnittswert der Anbruchflächen lag bei 191 m², der Wert der Anbruchsvolumina bei 115 m³.
- Rutschungen traten bei Hangneigungen zwischen 17 und 55° auf, wobei die höchsten Rutschaktivitäten (Rutschungen/ha) zwischen 33° und 44° ermittelt wurden.
- Die Auswertung der Hangmorphologie im Rutschungsbereich zeigt, dass 41 % der Rutschungen an ungliederten Hängen, 21 % in Muldenzonen und ca. 15 % in unmittelbarer Nähe von Hangkanten auftraten. Weitere Rutschungen konnte man im Bereich von Hangrücken und an Kombinationen wiederfinden.
- Die stratigraphischen Einheiten mit einer kalkig-mergeligen Ausbildung (Diphyoideskalk /-mergel, Kieselkalk, Drusbergsschichten) wiesen die höchsten Rutschungsaktivitäten auf.
- Obwohl sich im Höhenspektrum zwischen 1200 m ü. NN und 1700 m ü. NN überdurchschnittlich viel Rutschungen ereignet haben, kann man aufgrund der Niederschlagsverteilung nicht davon ausgehen, dass dieser Bereich generell gefährdeter ist als andere Höhenbereiche. Es ist demnach fraglich, ob die Höhenlage alleine die Rutschaktivität beeinträchtigt hat, oder nur in Kombination mit einem weiteren Faktor als rutschungsrelevant angesehen werden kann. Die Auswertung der Höhenlagen der Rutschungen über der lokalen Erosionsbasis des S' Melchtales zeigte, dass etwa 90 % der Rutschungen maximal 150 m entfernt lagen.
- Die Schutzwirkung des Waldes konnte bei der Auswertung der Vegetationsverhältnisse bestätigt werden, wobei diese bei anderen Ereignissen viel ausgeprägter war. Während die Rutschaktivität in den Sachsler Bergen im Wald knapp über der im Freiland lag, wurden im Melchtal wesentlich mehr Rutschungen im Wald als im Freiland registriert. Die im Wald betroffenen Rutschhänge wiesen im Durchschnitt rund 2,5° steilere Neigungen auf. Daraus kann gefolgert werden, dass die Schutzwirkung des Waldes mit ansteigender Hangneigung abnimmt. Die Berücksichtigung der Waldzustandsbeurteilung von 1987 zeigt eindeutig auf, dass im gesunden Wald weitaus weniger Rutschungen auftraten als in schwach- und mittelstark geschädigten Beständen.
- Mit einfachen bodenmechanischen Betrachtungen, bei denen die Kohäsion nicht berücksichtigt wird, lassen sich die Stabilitätsverhältnisse, wie sie während der Starkniederschläge geherrscht haben, nicht simulieren. Die Böschungsbruchberechnungen nach Janbu führten zu dem Ergebnis, dass für ein labiles Gleichgewicht ($\eta=1$) die

Sickerwasserlinie an der Geländeoberfläche liegen muss und die Kohäsionen der betroffenen Lockergesteine nicht zu hoch angesetzt werden dürfen. Jedoch ist es mit diesem Verfahren nicht möglich, flächendeckend die Stabilitätsverhältnisse des Niederschlagsereignisses zu modellieren.

Basierend auf diesen Ergebnissen konnte gefolgert werden, dass die Rutschungen vom 15. August 1997 nicht durch einen Parameter, sondern eine Kombination mehrerer Parameter ausgelöst wurden.

Klassifikationssysteme

Die Rutschungserkennung wurde mit drei unterschiedlichen Klassifikatoren – lineare Diskriminanzanalyse, Klassifikationsbäume und Support Vector Machines - durchgeführt, wobei bei allen Methoden versucht wurde, Konstellationen von rutschungsrelevanten Parametern zu finden, die auf Rutschungen hinweisen.

Die **lineare Diskriminanzanalyse (LDA)** ist ein klassisches Verfahren im Bereich der multivariaten Datenanalyse, das bereits seit Jahrzehnten in vielen Bereichen Anwendung findet. Bei der linearen Diskriminanzanalyse werden die optimalen Linearkombinationen der eingehenden Merkmale x_1 bis x_n gesucht, indem die Objekte auf gut separierbare Bereiche in einem eindimensionalen Raum abgebildet werden. Während der Zuweisung werden, im Gegensatz zu anderen Klassifikatoren, alle Merkmale gleichzeitig verwendet. Die bei der Klassifikation erzeugte Diskriminanzfunktion d entsteht durch die Gewichtung der Merkmale und ist folgendermaßen festgelegt:

$$d = \left(\sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i \right) + a$$

Dabei sind x_1 bis x_n der input (rutschungsrelevante Parameter) und b_1 bis b_n sowie die Konstante a die von der Analyse abzuschätzenden Koeffizienten. Ziel der Diskriminanzanalyse ist es b_1 bis b_n , die häufig auch als Gewichte bezeichnet werden, und a so zu optimieren, dass die gegebenen Klassen nach der Transformation der Daten maximal getrennt erscheinen.

Klassifikationsbäume wurden erstmals Anfang der sechziger Jahre in den Sozialwissenschaften eingesetzt. Die Terminologie eines Entscheidungsbaumes kann als graphisch beschrieben werden. Der Entscheidungsbaum besitzt als obersten Knoten die Wurzel und setzt sich in seiner graphischen Darstellung nach unten fort. Während die Knoten (Verzweigungspunkte und Blätter) mit den Merkmalen des Datensatzes assoziiert sind, sind die Kanten (Äste) des Baumes mit den möglichen Werten der Merkmale belegt (Abb. 4). Ein Klassifikationsbaum trennt den

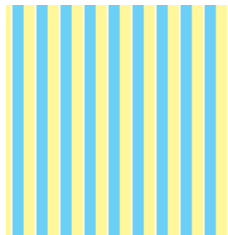


Abb. 4: Arbeitsweise eines vereinfachten Klassifikationsbaumes am Beispiel der Rutschungserkennung.

Fig. 4: Structure of a simplified classification tree for soil slip recognition.

Merkmalsraum in Unterräume, indem jedes Objekt entlang der Kanten bis zu den Blättern klassifiziert wird. Somit verläuft im Gegensatz zur LDA die Zuordnung zu einer Klasse sequentiell. Bei diesen Untersuchungen wurde der C5.0-Algorithmus verwendet, der auf dem 1993 entwickelten ID3-Algorithmus basiert.

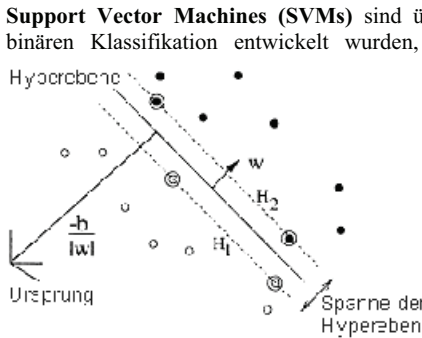


Abb. 5: Lösung eines Zwei-Klassenproblems in einem höherdimensionalen Raum mit Support Vector Machines.

Fig. 5: Solution of a two-classes-problem in a higher dimensional space using support vector machines.

Support Vector Machines (SVMs) sind überwachte maschinelle Lernverfahren, die zur binären Klassifikation entwickelt wurden, mittlerweile aber auch multiclass-Aufgaben übernehmen. Bei der Anwendung von Support Vector Machines zur Lösung eines Klassenproblems wird versucht, Muster effektiv in einem hochdimensionalen Raum abzubilden. Dabei wird eine passende nichtlineare Funktion konstruiert, die mit Hilfe einer optimal trennenden Hyperebene, in einem typischerweise wesentlich höherdimensionalen Raum als der ursprüngliche Merkmalsraum, eine Separation der beiden Klassen vornimmt (Abb. 5). Potenziell besitzt der erzeugte hochdimensionale Merkmalsraum unendlich viele Dimensionen.

RUTSCHUNGSERKENNUNG

Das Ziel der Untersuchungen lag darin, Modelle zu entwickeln, die basierend auf den Aufnahmen der Rutschungsergebnisse in Sachseln und Melchtal zwischen Rutschungen und Nichtrutschungen unterscheiden können. Diese Modellentwicklung bedarf zahlreiche Teilschritte, die den folgenden Arbeitsbereichen zuzuordnen sind (Abb. 6):

- Vorverarbeitung (Preprocessing)
- Analyse (Analyse)
- Nachbearbeitung (Postprocessing)

Preprocessing

Innerhalb des Preprocessings werden all die Schritte vereinigt, die erforderlich sind, um die Analyse im Rahmen der Rutschungserkennung einzuleiten. Hierfür wurden die im Gelände erhobenen Daten und weitere Daten in ein Format gebracht, das von den verwendeten Klassifikationssystemen während der Analyse verarbeitet werden kann.

Ein Großteil der Arbeiten wurde mit dem Geographischen Informationssystem ArcGIS durchgeführt. ArcGIS diente hierbei nicht nur als visuelle Datenbank, in der die Geländedaten digitalisiert und verwaltet wurden, sondern auch als tool, mit dem neue Daten generiert werden konnten. Alle morphologischen Parameter basieren auf einem abflussgerechten digitalen Geländemodell (DGM), das mit der topogrid-Funktion in ArcGIS entwickelt und anhand der aufgenommenen Rutschungsdaten mit Hilfe einer Abweichungsanalyse verifiziert wurde. Die Rasterzellengröße des verwendeten DGM lag nach einer Vergrößerung (anfangs 2 x 2 m) bei 5 x 5 m. Mit der flowaccumulation-Funktion wurde ebenfalls in ArcGIS ein

Parameter erzeugt, der die Anzahl der Zellen angibt, welche eine Zelle durchfließen. Die Parameter, die in GIS verwaltet wurden und bei der Rutschungserkennung zum Einsatz kamen, werden in Tab. 1 aufgeführt. Jede Zelle hat somit immer den gleichen Parametersatz.

Nach dem Export der Daten wurde mit einem Perl-Skript die Rutschungsumgebung einer Auswahl von Parametern miteinbezogen, um deren Einfluss auf die Rutschungsanfälligkeit zu ermitteln. Mit diesem Skript war es nicht nur möglich, die Morphologie in der Umgebung einer Zelle zu berücksichtigen, sondern es konnte zudem die Änderung eines jeden Parameters in der Nachbarschaft berücksichtigt werden. Die Parameter der Nachbarschaft wurden sodann als zusätzliche Parameter in die Rutschungserkennung miteinbezogen.

Tab. 1: Parameter bei der Rutschungserkennung.
Tab. 1: Parameters of soil slip recognition.

Parameter	Einheit	Datentyp	Codierung	Wertebereich
Absolute Höhenlage	[m NN]	metrisch	keine	[469; 1987]
Exposition (2 Parameter)	[°]	metrisch	sin, binär	{0; 1}, {0; 1}
Hangneigung	[°]	metrisch	keine	{0; 90}
Abstand zu Bächen	[m]	metrisch	keine	{0; 2843}
Flowaccumulation	-	metrisch	keine	{0; 577414}
Geologie	-	nominal	binär	{1; 2; ...21}
Lockergesteinsart	-	nominal	binär	{1; 2; ...12}
Lockergesteinsmächtigkeit	[m]	ordinal	binär	{1; 2; 3}
Niederschlagsmenge	[mm]	metrisch	keine	{21; 148}
Verteilung Wald-/Freifläche	-	metrisch	binär	{0; 1}
Waldzustand	-	ordinal	binär	{1; 2; ...6}
Lage gegenüber Bauwerken	-	nominal	binär	{1; 2; 3; 4}
Lage gegenüber Bächen	-	nominal	binär	{1; 2; ...6}

Mit diesem Skript konnte die Nachbarschaft einer Zelle auf zwei Arten erzeugt werden. Zum einen konnten die Zellen, die sich in einer quadratischen Nachbarschaft um eine Ausgangszelle befinden, erfasst werden. Hier war es möglich, einen oder mehrere Parameter der 9er-, 25er- oder 49er-Nachbarschaften (3 x 3, 5 x 5, 9 x 9 Zellen inklusive Ausgangszelle) in die Rutschungserkennung einfließen zu lassen. Zum anderen konnten aber auch die Werte der Zellen entlang des steilsten Gradienten in hangaufwärtiger oder hangabwärtiger Richtung als zusätzliche Parameter erzeugt werden. Die Generierung der Parameter der Nachbarschaft entlang des Gradienten erfolgte unter Verwendung der unterschiedlichen statistischen Funktionen: Maximum, Minimum, Durchschnitt, Varianz. Größere Nachbarschaften als 9er-Nachbarschaften wurden nicht verwendet, da dadurch für jeden Datensatz zu viele Parameter erzeugt worden wären.

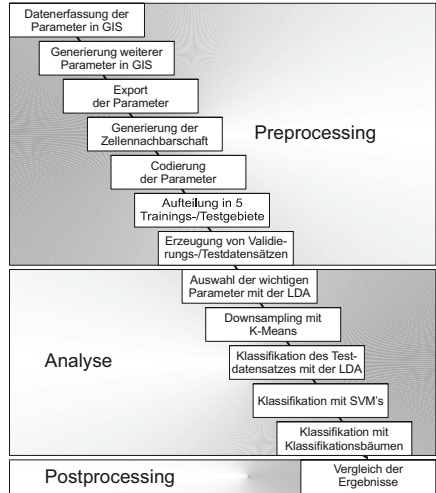


Abb. 6: Arbeitsschritte der Rutschungserkennung mit unterschiedlichen Klassifikationssystemen. Das downsampling mit K-Means wird hier nicht beschrieben.
Fig. 6: Procedure of soil slip recognition using different classification methods (ignoring downsampling with K-Means).

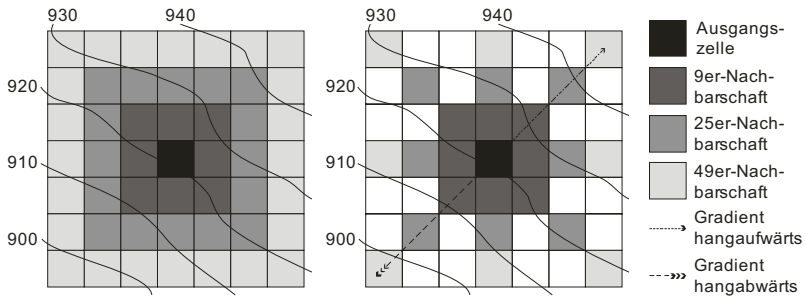


Abb. 7: Erzeugung der Zellennachbarschaft; links: ringförmige Nachbarschaften; rechts: Nachbarschaften entlang des steilsten Gradienten.

Fig. 7: Generation of associated cells within the surrounding neighbourhood. Left: circular neighbourhood; right: neighbourhood along the steepest path.

Am Ende des Preprocessings wurde das gesamte Untersuchungsgebiet in 5 Teilgebiete aufgeteilt sowie die Validierungs- und Testdatensätze erzeugt. Bei der Aufteilung des Modellgebietes wurden drei unterschiedliche Aufteilungsvarianten getestet. Bei der ersten Methode „Einzug“ erfolgte eine Aufteilung nach den Einzugsgebieten der Wildbäche. Bei der zweiten Methode „Alle Höhen“ wurden E-W-ausgerichtete Gebiete erzeugt, die jeweils Flächen aus den Sachser Bergen sowie den orographisch linken und rechten Hängen des Melchtales enthielten. Bei der dritten Variante „Statist“ wurde das Modellgebiet in ein Raster mit 141 Zellen (500 m²) zerlegt, die anschließend mit einem Zufallsgenerator 5 Klassen zugeordnet wurden (=“Statist“). Dadurch wurden in jedem Trainings-/Testgebiet mehr Informationen aus unterschiedlichen Regionen des gesamten Modellgebietes bei der Analyse herangezogen.

Analyse

Die einzelnen Teilschritte der Analyse werden ebenfalls in Abb. 6 wiedergegeben. Der erste Schritt – die Auswahl der Parameter bzw. die Validierung – wurde mit der LDA durchgeführt und erforderte sehr viel Zeit und Rechenleistung. Vor dem eigentlichen Test mit den unterschiedlichen Klassifikatoren wurde zudem ein downsampling mit K-Means getestet, das keine zufriedenstellenden Ergebnisse lieferte und hier nicht weiter beschrieben wird. Bei der Analyse wurde mit Hilfe der unterschiedlichen Klassifikationsmethoden versucht, ein Zwei- bzw. Drei-Klassenproblem bestmöglich zu lösen. Die folgenden drei Probleme wurden klassifiziert:

- Zwei-Klassenproblem „Kante-Nichtrutschung“:
Nur die oberen Rutschungskanten, die als Auslöser der Rutschung angesehen werden, sowie die Zellen, die nicht von der Rutschung betroffen waren (Nichtrutschungen), wurden klassifiziert.
- Drei-Klassenproblem „Kante-Fläche-Nichtrutschung“:
Neben den oberen Rutschungskanten wurden auch die unterhalb liegenden Rutschungsflächen und die Nichtrutschungen klassifiziert.
- Zwei-Klassenproblem „Rutschung-Nichtrutschung“:
Die Rutschungskanten und Rutschungsflächen sind zusammen in einer Klasse. In der anderen Klasse befinden sich die Nichtrutschungen.

Es wurden zwei Validierungsphasen mit unterschiedlichen Datensätzen durchgeführt, wobei in der Validierungsphase 1 das Verhältnis der verwendeten Klassenstärken (z.B. Kante : Nichtrutschung = 1 : 10) unausgeglichene war. Jeder Validierungsdurchlauf bestand aus 5 Einzeltests, wobei jeweils in vier der fünf Gebieten der Klassifikator trainiert und im fünften getestet wurde. Tab 2. gibt das Ergebnis der ersten Validierungsphase mit unterschiedlichen Parameterkonstellationen wieder, bei der das Zwei-Klassenproblem „Kante-Nichtrutschung“ untersucht wurde.

Tab. 2: Erkennungsraten bei der Parameteridentifikation mit der LDA in der Validierungsphase 1 zur Lösung des Zwei-Klassenproblems *Kante-Nichtrutschung* (Verhältnis Kanten : Nichtrutschungen = 1:10).

Tab. 2: Results of validation of phase 1 for two-cases-problem *upper-edge/non-soil-slip* using LDA (ratio *upper-edge : non-soil-slip* = 1 : 10).

Modell		Erkennungsraten (%)			
Gebietsaufteilung	Anzahl Parameter	gesamt	klassenweise gemittelt	Kanten	Nichtrutschungen
<i>Einzug</i>	58	74,3	65,1	60,7	69,4
<i>Einzug</i>	962	79,9	64,6	50,4	78,7
<i>Einzug</i>	1200	80,6	65,1	50,6	79,6
<i>Einzug</i>	3200	82,7	62,9	42,1	83,6
<i>Alle Höhen</i>	58	71,1	70,9	70,7	71,0
<i>Alle Höhen</i>	962	77,9	70,5	61,7	79,2
<i>Alle Höhen</i>	1200	78,6	70,6	61,1	80,1
<i>Alle Höhen</i>	3200	78,9	70,0	59,2	80,7
<i>Statist</i>	58	69,8	71,1	73,1	69,1
<i>Statist</i>	962	77,9	69,4	63,1	75,9
<i>Statist</i>	1200	78,5	72,8	66,0	79,6
<i>Statist</i>	3200	79,4	72,5	60,6	84,4

Neben den in Tab. 2 dargestellten Ergebnissen der Validierungsphase 1 wurden auch das Drei-Klassenproblem „Kante-Fläche-Nichtrutschung“ und das Zwei-Klassenproblem „Rutschung-Nichtrutschung“ klassifiziert. Zusammenfassend konnten aus diesen Validierungsergebnissen folgende Erkenntnisse gewonnen werden:

- Die Güte des Ergebnisses ist stark von der Gebietsaufteilung abhängig. Bei der Variante *Einzug* findet ein overfitting beim Training statt, was schlechte Ergebnisse während des Tests nach sich zieht. Die mit dem Gebietsaufteilungstyp *Statist* entwickelten Modelle lösen alle drei Klassifikationsprobleme am besten. Der Grund hierfür liegt bei der besseren Generalisierungsfähigkeit der Modelle.
- Die Tests des Drei-Klassenproblems haben gezeigt, dass eine Unterscheidung der Rutschungsklassen in Rutschungsflächen und Rutschungskanten zu keinen besseren Ergebnissen führt. Speziell bei den Flächen der Rutschungen wurden extrem niedrige Erkennungsraten erzielt. Es kann daher angenommen werden, dass die Objekte der Kantenklasse und der Flächenklasse sich sehr ähnlich sind, da Falschzuordnungen zwischen den beiden Klassen häufig auftreten.
- Bei der Lösung eines Zwei-Klassenproblems mit einer übergewichtigen Klasse bevorzugt der Klassifikator bei der Steigerung der Komplexität (mehr Parameter) eine Zuordnung zur übergewichtigen Klasse. Würde man daher das Verhältnis der Objekte der beiden Klassen noch weiter reduzieren - z.B. von 1:10 auf 1:100 - würden noch höhere Gesamterkennungsraten erzielt werden können, die jedoch nicht aussagekräftig wären, da das Zwei-Klassenproblem nicht besser gelöst werden würde, sondern nur die stark übergewichtige Klasse höhere Erkennungsraten aufweisen würde.

Aus diesen Erkenntnissen wurden in der Validierungsphase 2 nur noch die Zwei-Klassenprobleme mit Datensätze klassifiziert, die nach dem Gebietsaufteilungstyp *Statist* aufgeteilt wurden und ausgeglichene Klassenstärken auswiesen. Zudem wurde das Verfahren der Parameterauswahl verändert. Während in der Phase 1 eine ständige Reduktion der Parameter vorgenommen wurde, wurde in der Phase 2 die minimale Parameteranzahl gesucht, mit der eine maximale Erkennungsrate erzielt werden kann.

Das beste Modell (*Val-326*) zur Lösung des Zwei-Klassenproblems *Kante-Nichtrutschung* berücksichtigt folgende Parameter:

- Minimale Hangneigung entlang des Gradienten in hangaufwärtiger Richtung im Bereich von 50 m
- Minimale Hangneigung entlang des Gradienten in hangabwärtiger Richtung im Bereich von 50 m
- Abstand zu Bächen
- Niederschlagsmenge
- Geologie entlang des Gradienten in hangaufwärtiger Richtung im Bereich von 40 m
- Lockergesteinsart in der 9er-Nachbarschaft
- Lockergesteinsmächtigkeit in der 9er-Nachbarschaft
- Waldschaden entlang des Gradienten in hangaufwärtiger Richtung im Bereich von 40 m
- Waldschaden entlang des Gradienten in hangabwärtiger Richtung im Bereich von 20 m

Für die Lösung des Zwei-Klassenproblems *Rutschung-Nichtrutschung* verwendet das beste Modell (*Val-401*) folgende Parameter:

- Minimale Hangneigung entlang des Gradienten in hangaufwärtiger Richtung im Bereich von 45 und 50 m
- Minimale Hangneigung entlang des Gradienten in hangabwärtiger Richtung im Bereich von 50 m
- Abstand zu Bächen
- Niederschlagsmenge in der 9er-Nachbarschaft
- Geologie entlang des Gradienten in hangaufwärtiger Richtung im Bereich von 40 m
- Lockergesteinsart in der 9er-Nachbarschaft
- Lockergesteinsart entlang des Gradienten in hangaufwärtiger Richtung im Bereich von 20 m
- Lockergesteinsmächtigkeit in der 9er-Nachbarschaft
- Waldschaden entlang des Gradienten in hangaufwärtiger Richtung im Bereich von 40 m
- Waldschaden entlang des Gradienten in hangabwärtiger Richtung im Bereich von 20 m

Auf die einzelnen Ergebnisse der Tests mit den unterschiedlichen Klassifikatoren wird hier nicht weiter eingegangen; eine Gegenüberstellung liefert jedoch das Postprocessing.

Postprocessing

In Tab. 3 wird eine Zusammenfassung der bei den Testreihen erzielten Ergebnisse zur Lösung des Zwei-Klassenproblems *Kante-Nichtrutschung* wiedergegeben, bei denen die unterschiedlichen Klassifikatoren mit Modellen getestet wurden, die während der Parameteridentifikation bzw. Validierung mit der LDA entwickelt wurden.

Die dargestellte Tab. 3. verdeutlicht vor allem, dass kein großer Unterschied bei den Gesamterkennungsraten zwischen den einzelnen Modellen, die mit den unterschiedlichen

Klassifikatoren getestet wurden, besteht. Die höchsten Gesamterkennungsraten (74,4 %) wurden mit den Modellen erreicht, die mit den Klassifikationsbäumen getestet wurden und nur eine geringe Parameteranzahl verwenden. Etwas geringere Gesamterkennungsraten wurden mit Modellen erzielt, die wesentlich mehr Parameter berücksichtigen und mit der LDA oder den SVMs getestet wurden.

Tab. 3: Vergleich der Erkennungsraten der Testdurchläufe mit verschiedenen Klassifikatoren zur Lösung des Zwei-Klassenproblems *Kante-Nichtrutschung* (* KA = Kante, NR = Nichtrutschungen).

Tab. 3: Recognition rates of test phase for two-cases-problem *upper-edge/non-soil-slip* using different classification methods (* KA = upper edge, NR = non-soil-slip).

Modell		Erkennungsraten(%)					
Name	Anzahl Param.	LDA		SVM		Klassifikationsbäume	
		gesamt	KA/NR*	gesamt	KA/NR*	gesamt	KA/NR*
<i>Val-34</i>	34	73,0	78,5 / 64,3	-	- / -	74,3	77,9 / 69,0
<i>Val-58</i>	58	73,1	78,2 / 64,1	70,9	78,5 / 61,2	74,3	74,2 / 73,1
<i>Val-326</i>	326	74,0	79,0 / 65,8	71,8	80,0 / 61,0	74,4	74,3 / 72,3
<i>Val-339</i>	339	73,8	78,2 / 65,9	-	- / -	73,7	75,5 / 70,5
<i>Val-391</i>	391	74,0	79,0 / 65,8	-	- / -	73,5	75,3 / 69,9
<i>Val-962</i>	962	73,7	79,8 / 65,8	73,9	77,9 / 66,2	73,7	75,0 / 71,5
<i>Val-1200</i>	1200	71,1	74,0 / 65,4	73,7	80,7 / 63,7	74,1	69,7 / 76,1
<i>Val-3200</i>	3200	70,7	72,5 / 66,8	71,8	79,2 / 61,8	73,1	71,2 / 73,4

Tab. 4: Vergleich der Erkennungsraten der Testdurchläufe mit verschiedenen Klassifikatoren zur Lösung des Zwei-Klassenproblems *Rutschung-Nichtrutschung* (* KA = Kante, NR = Nichtrutschungen).

Tab. 4: Recognition rates of test phase for two-cases-problem *soil-slip/non-soil-slip* using different classification methods (* RU = upper edge, NR = non-soil-slip).

Modell		Erkennungsraten(%)					
Name	Anzahl Param.	LDA		SVM		Klassifikationsbäume	
		gesamt	RU/NR*	gesamt	RU/NR*	gesamt	RU/NR*
<i>Val-58</i>	58	72,9	79,5 / 63,8	71,2	78,1 / 62,8	72,1	58,8 / 83,3
<i>Val-326</i>	326	74,8	80,9 / 67,0	70,7	73,4 / 64,3	67,2	58,2 / 73,7
<i>Val-391</i>	391	75,2	81,1 / 67,7	71,7	80,5 / 60,4	66,3	57,2 / 73,3
<i>Val-401</i>	401	75,4	81,0 / 68,1	72,1	78,8 / 62,6	71,4	59,2 / 81,7
<i>Val-962</i>	962	74,4	77,1 / 69,7	73,5	79,9 / 64,3	72,9	61,8 / 81,6
<i>Val-1200</i>	1200	73,6	76,0 / 69,5	73,0	79,5 / 63,6	71,5	57,9 / 82,5

Ein Vergleich der erzielten Ergebnisse zur Lösung des Zwei-Klassenproblems *Rutschung-Nichtrutschung* wird in Tab. 4 dargestellt. Gegenüber der Lösung des Zwei-Klassenproblems *Kante-Nichtrutschung* wurde z.T. eine Verbesserung bei den Gesamterkennungsraten erreicht. Zudem zeigte sich, dass bei der Lösung des Zwei-Klassenproblems *Rutschung-Nichtrutschung* die Unterschiede zwischen den einzelnen Klassifikatoren viel stärker ausgeprägt sind. Während mit den schlechtesten Modellen nur knapp zwei Drittel der Zellen richtig zugeordnet wurden, erfolgte bei den besten Modellen eine richtige Zuordnung bei über drei Viertel der untersuchten Zellen. Die besten Ergebnisse bei den Gesamterkennungsraten (75,4 %) liefern hier die Testdurchläufe, die mit der LDA vollzogen wurden.

Zusammenfassend belegen die Ergebnisse der Klassifikationen, dass es möglich ist, gute Lösungen für die zwei untersuchten Zwei-Klassenprobleme *Kante-Nichtrutschung* und *Rutschung-Nichtrutschung* zu finden. Es sollte jedoch generell darauf geachtet werden, mit welcher Fragestellung das Ziel der Untersuchungen am besten erreicht werden kann. Hierzu hat es sich empfohlen, Verwechslungsmatrizen (%-Satz richtig und falsch erkannt) bei der Analyse aufzuzeichnen und anschließend auszuwerten. Sind möglichst hohe Erkennungsraten

in der Rutschungsklasse (über 80 %) sowie hohe Gesamterkennungsraten das primäre Ziel, so sollte eher das Zwei-Klassenproblem *Rutschung-Nichtrutschung* mit einem Modell mit der LDA klassifiziert werden, welches auch Parameter aus der Zellenumgebung berücksichtigt.

Will man dagegen nicht nur die Rutschungskanten, sondern auch die Nichtrutschungen gut erkennen, liefern die Klassifikationsbäume die besten Ergebnisse. Hier werden die beiden Klassen, ohne Berücksichtigung der Zellenumgebung, nahezu gleich gut erkannt. Die Gesamterkennungsraten liegen jedoch mit 74,3 % etwa 1 % unter der Erkennungsraten der Linearen Diskriminanzanalyse für die Lösung des Zwei-Klassenproblems *Rutschung-Nichtrutschung*.

Der Vergleich dieser Ergebnisse mit den Modellierungsergebnissen von Liener (2000) unter Verwendung des SLIDISP-Modells zeigt auf, dass nicht hohe Erkennungsraten die Güte eines Modells bestimmen, sondern die Anwendung des Modells zur Naturgefahrenbeurteilung stets ein wichtiger Aspekt sein sollte. Hier sollte bedacht werden, dass eine Falschzuordnung einer Zelle, egal ob Rutschungs- oder Nichtrutschungszelle, zu einem materiellen oder wirtschaftlichen Schaden führen kann, oder im Extremfall einen Personenschaden nach sich zieht.

Die Verwendung der sehr komplexen und zeitaufwendigen SVMs führte zu keinen besseren Ergebnissen. Dies liegt eventuell daran, dass die Auswahl der Parameter mit der LDA erfolgte und die Tests mit diesen Parameterkombinationen durchgeführt wurden.

In vielen Fällen hat sich gezeigt, dass eine hohe Anzahl von verwendeten Parametern nicht automatisch zu besseren Ergebnissen führt; dies hat lediglich eine Überanpassung des Systems im Training und schlechte Erkennungsraten bei den Tests zur Folge.

LITERATUR

- BWW (Bundesamt für Wasserwirtschaft) (1998): Ereignisdokumentation Sachseln - Unwetter vom 15. August 1997. Studienbericht 8, Bundesamt für Wasserwirtschaft, Bern.
- Cruden, D., Varnes, D. (1996): Landslide Types and Processes. In Turner, A. and Schuster, R., editors, Landslides: Investigation and mitigation, number 247, pages 36–75. National Research Council, Transportation Research Board, Washington, D.C.
- Fernandez-Steeger, T. (2002): Erkennung von Hangrutschsystemen mit Neuronalen Netzen als Grundlage für Georisikoanalysen. Dissertation, Universität Karlsruhe, Karlsruhe.
- Hamberger, M. (2000): Geologisch-geotechnische Untersuchungen und Analyse von Hangbewegungen anlässlich von Starkniederschlägen im Melchtal/Schweiz. Unveröffentlichte Diplomarbeit, Lehrstuhl für Angewandte Geologie, Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen.
- Kienholz, H. (1977): Kombinierte geomorphologische Gefahrenkarte 1:10.000 von Grindelwald. Geographica Bernensia, G4, Bern.
- Liener, S. (2000): Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Geographica Bernensia, G64, Bern.
- Moser, M. (1980): Zur Analyse von Hangbewegungen in schwachbindigen bis rolligen Lockergesteinen im alpinen Raum anlässlich von Starkniederschlägen. In Internationales Symposium Interpraevent 1980 - Bad Ischl, volume 1, pages 121–148.
- Rickli, C. (2001): Vegetationswirkungen und Rutschungen - Untersuchungen zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Technical report, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL und Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Zanetti, A., Enz, R., Heck, P., Green, J., Suter, S. (2004): Sigma – Natur- und Man-made-Katastrophen im Jahr 2003. Ausgabe 1/2004, Swiss Re, Zürich.

BEURTEILUNG GEOGENER GEFAHREN IN HINBLICK AUF EINE RISIKOMINDERUNG IN DER GDE. SIBRATSGFÄLL (ÖSTERREICH)

LANDSLIDE HAZARD ASSESSMENT GDE. SIBRATSGFÄLL (AUSTRIA)

Wolfgang Jaritz¹, Robert Supper², Margarete Wöhrer-Alge³

ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit werden die Untersuchungsergebnisse zu Großhangbewegungen im Gemeindegebiet von Sibratsgfall (Österreich) vorgestellt. Mit Hilfe interdisziplinärer Untersuchungsmethoden (geologische, hydrogeologische und geotechnische Kartierung, Aufnahme von künstlichen und natürlichen Bodenaufschlüssen, geophysikalische Untersuchungen mittels Aeorogeophysik und Multielektrodengeoelektrik, bodenphysikalische Untersuchungen an ausgewählten Bodenproben, geodätisches Bewegungsmonitoring - tachymetrische Vermessung und GPS-Vermessung, Photogrammetrie, C-14 Datierung, kinematische und numerische Berechnungen) konnte die Ursache der Bodenbewegungen sowie deren Ausdehnung, Tiefe und Mechanik festgestellt werden.

Da der überwiegende Teil des Hauptsiedlungsgebietes auf Eisrandsedimenten liegt, welche von Bewegungen betroffen sind, sollte ein Bewertungsschlüssel erarbeitet werden, der eine Selektion dieser Fläche in „für die Bebauung ungeeignet“ bis „für die Bebauung mit Auflagen geeignet“ ermöglicht. Dazu wurden Erhebungen an der bestehenden Verbauung hinsichtlich Bauschäden durchgeführt und eine Beurteilung ob anthropogen oder geogen verursacht vorgenommen. Zudem wurde versucht, die Geländeänderungen – sowohl anthropogener als auch geogener Natur – mittels photogrammetrischer Verfahren zu quantifizieren. In Zusammenschau aller gewonnenen Daten wurden Gefährdungsflächen ausgewiesen und auf einer Karte im Maßstab 1:2000 dargestellt. Auf Basis des entworfenen geologischen Modells wurden Entwässerungsmaßnahmen vorgeschlagen, welche die Versickerung anfallender Oberflächenwässer sowie seicht liegender Hangwässer in den für Wasser sensiblen Untergrund verhindern sollen.

Keywords: Großhangbewegung, interdisziplinäre Untersuchungsmethoden, Gefahrenbeurteilung, Risikoarten

¹ ZT-Büro Moser/Jaritz, Bachwinkl 126 5, 5760 Saalfelden, (Tel.: +43-6582 74 494; email: w.jaritz@moser-jaritz.at)

² Geological Survey of Austria, Neulinggasse 38, 1030 Vienna, Austria (Tel.: +43-1 7125674 380; email: Robert.supper@geologie.ac.at)

³ Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Sektion Vorarlberg, Rheinstraße 32/5, 6900 Bregenz, Austria (Tel.: +43-5574 74995 416; Fax: +43-5574 74995 6; email: margarete.woehrer@die-wildbach.at)

ABSTRACT

The present paper outlines the results of an interdisciplinary study concerning land slides in the municipality of Sibratsgfall/Austria. Interdisciplinary research methods (geological surveying and mapping methods, exploratory work like prospect wells, drilling holes and probes, geophysical surveying methods like aero-geophysics, borehole geophysics and multi-electrode geoelectrics, analysis of selected soil samples, geodetic monitoring - tachymetry and GPS - of movement rates, photogrammetry, radiocarbon dating, kinematic and numerical calculations) gave information about the cause of the mass movements as well as its spatial extent, its depth and its mechanism.

As the predominant part of the main settlement area is located on stillwater glacial sediments which are involved in the mass movements, an evaluation key should be compiled that allows a selection of areas ranging from “*being qualified for construction work*” to “*being suited for construction work only with special requirements*”. For this purpose enquiries concerning structural damages on existing buildings and the cause of the damages (anthropogenic or geogenic) were carried out. In addition an attempt was made to quantify terrain changes of anthropogenic as well as geogenic origin. For this purpose photogrammetric techniques were applied to compare the first aerial photographs made in 1950 with the recent aerial survey results. Using all the obtained data, hazardous areas were identified and plotted on a map in the scale of 1:2000.

On the basis of the constructed geological scheme, measures to prevent an infiltration of arising surface waters into the water-sensitive subsoil were proposed.

Keywords: Landslides, hazard mapping, mitigation strategy, geophysics, monitoring

EINLEITUNG

Die ausgedehnten Bodenunruhen im Hauptsiedlungsraum von Sibratsgfall in Vorarlberg (Österreich) und die Sensibilisierung der Bevölkerung nach der massiven Beschleunigung eines ca. 1,5 ha großen Rutschhanges am nahe gelegenen Rindberg im Jahr 1999 veranlassten den Forsttechnischen Dienst für Wildbach und Lawinenverbauung dazu, geologische Untersuchungen in Auftrag zu geben um folgende Fragen zu klären:

- Was sind die Ursachen der ausgedehnten Bodenunruhen im Hauptsiedlungsraum von Sibratsgfall?
- Welches Ausmaß haben die Bodenunruhen im Hauptsiedlungsraum und wie tief reichen die Bewegungshorizonte in den Untergrund?
- Welches Gefahrenpotential geht von den Bewegungen aus und kann der Verlauf der weiteren Entwicklung prognostiziert werden?
- Besteht im Hauptsiedlungsraum von Sibratsgfall ein vergleichbares Gefahrenpotential wie am Rindberg?

Da großräumige Areale im Untersuchungsgebiet im braunen Hinweisbereich „Rutschung“ des gültigen Gefahrenzonenplanes liegen, sollten im Zuge dessen Überarbeitung diese braunen Hinweisbereiche modifiziert werden. Mit einer vorzulegenden Karte der wildbachrelevanten und geogenen Gefahrenpotentiale im Untersuchungsgebiet sollte der Gemeinde sowie der Raumordnung ein Instrumentarium für die Überarbeitung des Flächenwidmungsplanes bzw. für die weitere Ortsentwicklung zur Verfügung gestellt werden. Diese Unterlagen sollen es der Gemeinde ermöglichen, die Bebauung in weniger stark gefährdete Bereiche zu lenken und damit das Risiko zukünftiger Schäden zu vermindern.

Zudem sollte beurteilt werden, welche technischen Maßnahmen eine Verbesserung der Ist-Situation bewirken, bzw. welche Maßnahmen ergriffen werden können, um eine Beschleunigung bzw. Weiterentwicklung der Bewegungen zu verhindern.

Grundlage der weiterführenden Analysen war eine geologische Detailkartierung im Maßstab 1:2.500 mit Schwerpunkt auf den quartären Lockersedimenten und auf Hangbewegungen. Zum Erreichen des Arbeitszieles wurden zudem zahlreiche interdisziplinäre Untersuchungsmethoden angewandt. Dazu zählen:

- Hydrogeologische Kartierung, geotechnische Kartierung
- Aufnahme von künstlichen und natürlichen Bodenaufschlüssen
- Geophysikalische Untersuchungen mittels Aerogeophysik und Multielektrodengeoelektrik
- Bodenphysikalische Untersuchungen an ausgewählten Bodenproben,
- Tachymetrische Vermessung
- GPS-Vermessung
- Photogrammetrie, Luftbildauswertung
- C-14 Datierung
- Kinematische und numerische Berechnungen

GEOLOGISCHER RAHMEN

Im Becken von Sibratsgfall werden die Festgesteine (Rhenodanubischer Flysch, Feuerstätter Decke) von mächtigen eiszeitlichen Ablagerungen überdeckt. Dabei bauen Eissee-Sedimente, d.h. Ablagerungen die im direkten Zusammenhang mit einem eiszeitlichen Seestadium stehen, den Großteil der Talfüllung auf.

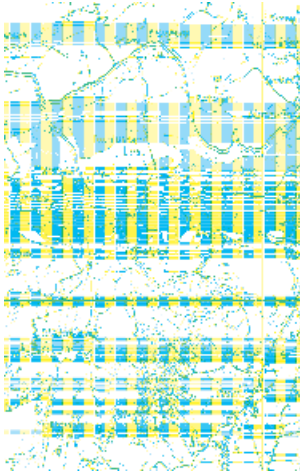


Abb1: Ausschnitt aus der Geologisch-tektonischen Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200.000 (OBERHAUSER & RATAY 1998: türkis: Helvetikum; orange: Feuerstätter Decke; braun: Rhenodanubischer Flysch; grün: Liebensteiner Decke; ocker: Molasse; gelb: Quartär)

Fig1: Detail from the geological map of Vorarlberg 1:200.000 (OBERHAUSER & RATAY 1998: green: Helvetikum; orange: Feuerstätter nap; brown: Rhenodanubischer Flysch; olive-green: Liebensteiner nap; ochre: Molasse; yellow: Quartär)

Es wurden unsortierte, matrixreiche Ablagerungen mit einem Matrixanteil (Ton-Schluff-Feinsand Fraktion) > 60 Vol% mit gekritzten drop stones (Eisdriftgeschiebe) in nahezu allen Aufschlusspunkten aufgefunden. Am Beckenrand sind Eisrandsedimente vorhanden, die den Übergang von bewegtem zu unbewegtem Untergrund markieren. Alle eiszeitlichen Ablagerungen im Untersuchungsgebiet sind Spätglazialabfolge Bildungen die mit dem Abschmelzen der Gletscher aus den Haupttälern in Zusammenhang stehen. Die dabei vorgenommene Unterteilung in Spätglazialabfolgen von I bis V sind als relative Zeitabfolgen des örtlichen Sedimentationsgeschehens anzusehen und repräsentieren keine Rückzugstände wie sie für den Bodenseeraum postuliert wurden.

HANGBEWEGUNGEN

Das morphologische Inventar im Sibratsgfäller Becken ist das Resultat unterschiedlichster, zu verschiedenen Zeitpunkten abgelaufener, zum Teil sich überlagernder Hangabtragsprozesse (Erosion und Hangbewegungen). Hangbewegungen waren und sind dabei die maßgeblichen landschaftsgestaltenden Faktoren. Folgende Phasen, die schlussendlich zu dem heutigen Landschaftsbild führten, können auf Basis der vorhandenen Untersuchungsergebnisse rekonstruiert werden:

- EROSION - Nach dem späteiszeitlichen Eisseestadium und nach der Verlandung des Sees floss die Subersach aus dem Sibratsgfäller Becken Richtung Westen ab. Dabei begann sich der Fluss in den im Zuge des Seestadiums entstandenen Talboden einzuschneiden. Im Zuge des Einschneidens entstanden Erosionskanten, die den Höhenschichtlinien mit einem flachen Abfall nach Westen mehr oder weniger folgen. Zeugen dieser Entwicklungsphase sind die heute noch zum Teil erkennbaren ursprünglich langgestreckten Geländestufen des mittleren Beckenbereiches.
- GLEITUNGEN - Durch das Einschneiden der Subersach und ihrer Seitenbäche in den ehemaligen Talboden wurde die Böschung mehr und mehr übersteilt. Die sich aufbauenden Spannungszustände wurden schlussendlich mit Ausgleichsbewegungen abgebaut. Das Resultat sind Gleitungen, d.h. Hangbewegungsformen, an denen die aufgebaute Spannung entlang einer oder einiger weniger Bewegungsflächen abgebaut wird. Dabei traten überwiegend Rotationsgleitungen auf. Daraus resultiert ein getreptes bis gestuftes Hangprofil.
- FLIEßEN/KRIECHEN - Durch die Gleitungen wurde das Sedimentgefüge weiträumig aufgelockert. Entlang der Bewegungsflächen und dem zum Teil neu entstandenen Trennflächengefüge wird dem Wasser der Zutritt in tiefere Bodenhorizonte ermöglicht. Die von den Bewegungen betroffenen Sedimente (Eissee-Sedimente i.w.S.) sind wasserempfindlich und reagieren auf Wasserzutritt mit Konsistenzverringering. Das Ergebnis sind schneller ablaufende Hangbewegungen vom Typ Erd-/Schuttstrom. Dieser Hangbewegungstyp überprägt die bereits vorhandene, durch Treppen und Stufen dominierte Morphologie. Im Untersuchungsgebiet können verschiedene Entwicklungsstadien beobachtet werden:
 - Rasch ablaufende Systeme (Fließen; Bewegungsgeschwindigkeiten von rd. 0,5 – 1 m/a) mit deutlich ausgebildeten seitlichen Begrenzungen (Scherbahnen) aber meist unendlich entwickelten bzw. anthropogen überprägten Anbruchgebieten.
 - Hangabschnitte, in denen halbkreisförmig angelegte Geländekanten Hangareale mit getrepter Geländemorphologie überprägen und weiträumig umspannen, die als Vorphase schneller ablaufender Bewegungsformen interpretiert werden.

BETROFFENE FLÄCHE / TIEFGANG / BEWEGUNGSGESCHWINDIGKEIT

Die Eingrenzung der von den Hangbewegungen betroffenen Flächen erfolgte auf Basis folgender Faktoren:

- Geländebefund – Da der Eisrandstaukörper der Spätglazialabfolge III morphologisch keinerlei Anzeichen von Bewegungen oder Verstellungen aufweist, wurde die Grenze bewegt / unbewegt am talseitigen Rand dieser Eisrandterrasse festgelegt. Demnach sind von den Bewegungen ausschließlich Sedimente der so bezeichneten Spätglazialabfolge V, d.h. Eisse-Sedimente i.w.S. betroffen
- Schäden an Infrastruktur und Gebäuden – Die geographisch am weitesten bergwärts festgestellten Schäden befinden sich alle am Fuß der Eisrandterrasse der Spätglazialabfolge III.
- Vermessung – Das geodätische Überwachungsnetz 2001 wurde knapp außerhalb und knapp innerhalb des vermuteten bewegten Bereiches installiert. Nach Vorliegen der nun 5 Folgemessungen konnte das geologische Modell diesbezüglich bestätigt werden

Entsprechend den oben angeführten Argumenten umfasst das von der Hangbewegung betroffene Areal eine Fläche von rd. 1,8 km².

Aussagen über den Tiefgang der Bewegungen ermöglichen nur die Bohrkern- und die Inclinometermessungen. In den Inclinometerdaten wurde im Bereich Mähmoos ein eindeutiger Bewegungshorizont in rd. 10 – 12 m Tiefe unter jeweiliger GOK bei den Aufschlüssen SI-KB 3/01, 4/01 und 16/03 festgestellt. Im Bereich der SI-KB 17/03 liegt der oberste Bewegungshorizont in rd. 15 m unter GOK. Eine weitere Bewegungsfläche ist in rd. 31 m Tiefe entwickelt. In 55 m Tiefe deutet sich eine Bewegungsfläche an, die Bewegungsraten sind jedoch (noch) zu gering, um gesicherte Aussagen über eine mögliche Verschiebung in den angegebenen Tiefen zu treffen.

Innerhalb des Hangbewegungsareals wurden unterschiedlich schnell ablaufende Bewegungen festgestellt. Grundsätzlich ist eine Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit vom Hangfuß Richtung höherer Hangareale festzustellen. Oberhalb der Eisrandterrasse der Spätglazialabfolge III werden keine Bewegungen gemessen. Dies deckt sich mit dem geologischen Modell, dem nach von der Hangbewegung ausschließlich Eisse-Sedimente i.w.S. betroffen sind. Die größten Bewegungsraten wurden dort festgestellt, wo Erd-/Schuttströme den Massenabtrag dominieren. Davon ist vor allem das unterste Hangdrittel zwischen der Subersach und rd. 900 m ü.A. betroffen.

In den alten, seit 1995 beobachteten Vermessungspunkten verläuft der Trend der Bewegungsgeschwindigkeit annähernd linear. Im Katastrophenjahr 1999 bis 2000 ist ein leichter Anstieg in der Bewegungsgeschwindigkeit festzustellen. Im Messzeitraum August 2001 bis August 2002, sowie im Messzeitraum August 2003 bis August 2004 wurde eine geringfügige Abnahme der Bewegungsgeschwindigkeit beobachtet.

Die Bewegungsrichtung der Vermessungspunkte ist einheitlich Richtung Subersach bzw. Richtung Rubach, d.h. in Falllinie des Hanges orientiert. Wie die Vermessungsdaten belegen, ist derzeit kein Trend hin zu einer beschleunigenden Bewegung messbar, sieht man vom Vermessungspunkt VP 16 ab. Die Messergebnisse weisen auf Phasen schnellerer und langsamerer Bewegung während des Beobachtungszeitraumes hin.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Grundlagen

Die Beurteilung der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Naturgefahren erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Welche geogene Gefahren sind im Gemeindegebiet vorhanden?
- Welche Gefährdungen gehen von diesen geogenen Gefahrenquellen aus?
- Was sind die Ursachen der geogenen Gefahren bzw. die Ursache der Bodenunruhen im Gemeindegebiet von Sibratsgfall?
- Welches Ausmaß haben die Bodenunruhen und wie tief reichen die Bewegungshorizonte in den Untergrund?

Die Ergebnisse werden für die Gefahrenbeurteilung nachfolgend interpretiert, wobei folgende Ergebnisse der Interpretation wie folgt dargestellt werden:

- Gefahrenerkennung → Gefahrenhinweiskarte
- Gefahrenbeurteilung → Gefahrenkarte
- Maßnahmen → Vorschlag für die weitere Vorgehensweise

Gefahrenhinweiskarte Gemeinde Sibratsgfall

Die vorgelegte Karte „Gefahrenhinweiskarte Sibratsgfall“ stellt flächig die Gefährdungssituation in Hinblick auf Hangbewegungen im Gemeindegebiet im Maßstab 1: 5.000 dar. Neben der Klassifizierung der Bewegungsart (Gleitung, Kriechen, Fließen, etc.) wurde folgende Differenzierung vorgenommen:

- Sind die Bewegungen aktiv?
- Sind die Bewegungen derzeit inaktiv?

Ob eine Bewegung gesichert aktiv ist, wurde neben dem Geländebefund aufgrund der Vermessungsdaten, der Inklinometermessungen und möglicher vorhandener Gebäude- oder Infrastrukturschäden beurteilt. Dort, wo keine vertieften Informationen zum Geländebefund vorlagen, wurde die Hangbewegung als vermutlich aktiv ausgewiesen.

Als inaktive Hangbewegungen wurden jene Flächen ausgewiesen, die aufgrund der Geländemorphologie auf alte Bewegungen rückschließen lassen, wo aber aufgrund von vorhandenen Zusatzinformationen von derzeit ruhigen Bodenverhältnissen ausgegangen werden konnte.

Als potentielle Hangbewegungsflächen wurden jene Bereiche dargestellt, die aufgrund ihrer geologischen Grunddisposition als grundsätzlich zu Hangbewegungen neigend eingestuft wurden, wo aber morphologische Anzeichen oder weitere Zusatzinformationen über bereits vorangegangene Ereignisse fehlen.

Legende

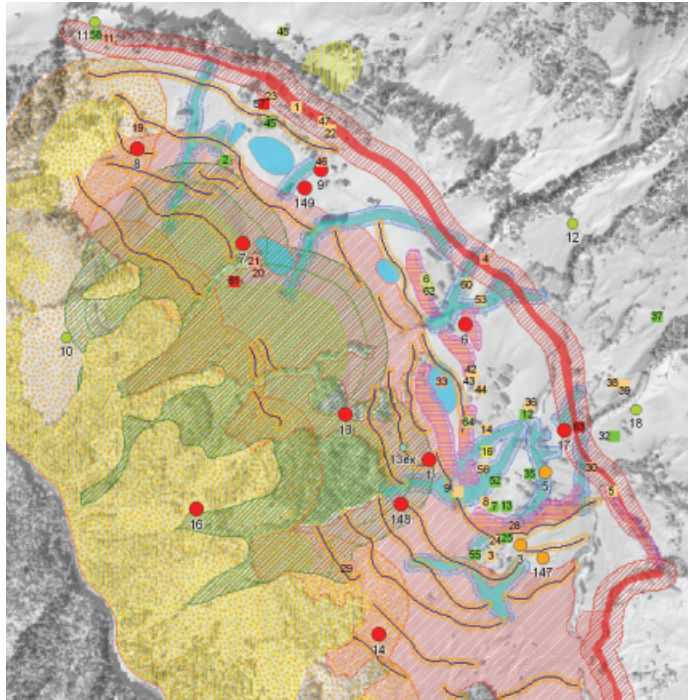


Abb2: Gefahrenhinweiskarte
Fig:2: Danger reference map

Gefahrenkarte Gemeinde Sibratsgfall

Basierend auf der Gefahrenhinweiskarte sowie den vorliegenden Untersuchungsergebnissen erfolgt die Gefährdungsabschätzung in Hinblick auf geogene Gefahren für den raumrelevanten Bereich. Das Ergebnis der Gefahrenbeurteilung wurde in Form einer Gefahrenkarte vorgelegt. Auf der Gefahrenkarte ist dargestellt, durch welche Massenbewegungen und in welchem Ausmaß (Ausdehnung, Intensität, Wahrscheinlichkeit) eine bestimmte Fläche bedroht ist. Dazu wurden alle zur Verfügung stehenden Informationen gewichtet und bewertet. Der Grad der Gefährdung, sowie die daraus abgeleiteten raumrelevanten Maßnahmen werden durch Gefahrenstufen festgelegt. Es wurden vier Gefahrenstufen unterschieden. Folgende Kriterien zur Gefahreinstufung wurden vorgenommen:

- Roter Gefahrenbereich: Im roten Gefahrenbereich besteht eine erhebliche Gefährdung. Gebäude und Infrastruktureinrichtungen werden durch die starken Geländeänderungen völlig zerstört bzw. substantiell so beschädigt, dass eine weitere Nutzung unmöglich ist. Infolge von Rissen in statisch tragenden Gebäudeteilen, durch absitzen und kippen ist ein partieller oder totaler Einsturz wahrscheinlich. Bei Einsturz besteht Lebensgefahr. Der rote Gefahrenbereich ist ein Verbotsbereich.

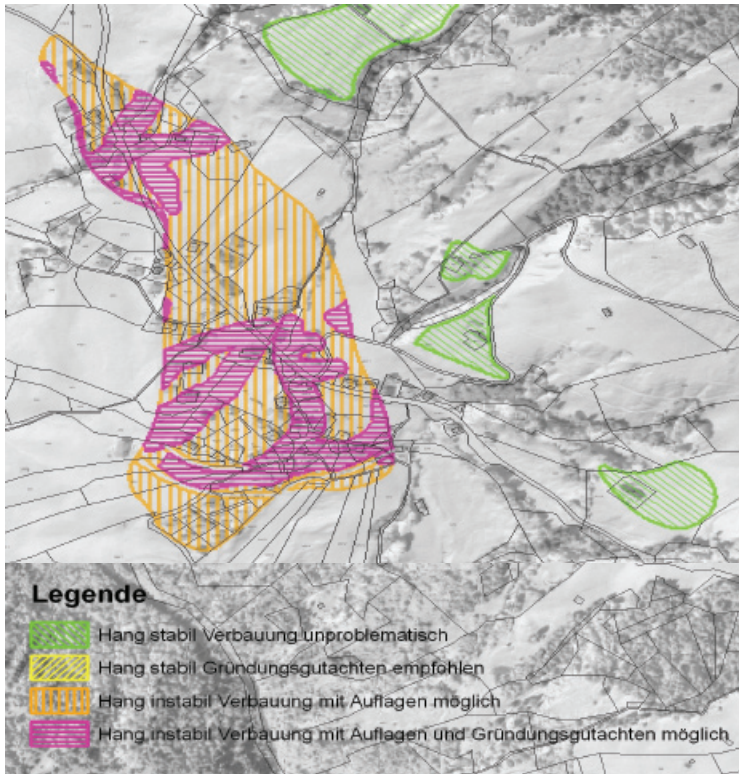


Abb3: Gefahrenkarte
Fig3: hazard map

- Eine Fläche wurde als roter Gefahrenbereich ausgewiesen wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Die Bewegung bewegt sich mit mehr als 0,05 m /Jahr.
 - Episodisch schneller ablaufende Bewegungen (Übergang vom Kriechen zum Fließen) sind vorhanden oder mit hoher Wahrscheinlichkeit zu erwarten.
 - Eine Beschleunigung der Bewegung ist grundsätzlich möglich.
 - Im Gelände sind Anzeichen von sich ausbildenden schnelleren Bereichen erkennbar

- Innerhalb der Bewegung sind stark unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten und generell differentielle Bewegungsformen vorhanden oder wahrscheinlich
 - Die Fläche liegt im Nahbereich einer Bewegungsfuge und/oder im Nahbereich von sich unterschiedlich schnell bewegenden Teilschollen. Wenn die Bewegungsfuge nicht exakt lokalisierbar ist, wird eine Sicherheitsstreifen von mindestens 10 m im Bereich der vermuteten Bewegungsbahn ausgewiesen. Eine Vergrößerung des Sicherheitsstreifen wird dort vorgenommen, wo aufgrund der Untergrundverhältnisse mit einem raschen Ausgreifen der Bewegung gerechnet wird oder wo aufgrund der örtlichen Gegebenheiten die potentielle Bewegungsfläche nur sehr vage eingegrenzt werden kann
 - Das Gebiet befindet sich im potentiellen Ablagerungsgebiet von sich schnell bewegenden Hangbewegungsformen (Typ Erd-/Schuttstrom, Mure oder Gleitung)
- Oranger Gefahrenbereich - Im orangen Gefahrenbereich besteht eine mittlere Gefährdung. Der Hang befindet sich in einer langsamen kriechenden Bewegung. Durch die langsame Kriechbewegung werden Gebäude und Infrastruktureinrichtungen beschädigt. Es entstehen Risse, die jedoch an strukturellen Elementen, welche die Gebäudestabilität gewährleisten, keine Auswirkungen haben. Reparaturen sind im Allgemeinen mit „verhältnismäßigem“⁴ Aufwand durchführbar. Es besteht keine unmittelbare Einsturzgefahr. Bei Infrastrukturanlagen treten Beeinträchtigungen auf (Deformationen, Risse, etc.). Durch entsprechende konstruktive und andere Maßnahmen können Schäden an zu errichtenden Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen minimiert oder verhindert werden. Der orange Gefahrenbereich ist ein Gebotsbereich.
 - Eine Fläche wurde als oranger Gefahrenbereich ausgewiesen, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Der Hang bewegt sich kontinuierlich mit weniger als 0,05 m / Jahr.
 - Episodisch schneller ablaufende Bewegungen (Übergang vom Kriechen zum Fließen) sind zu erwarten.
 - Eine Beschleunigung der Bewegung ist unwahrscheinlich.
 - Im Gelände sowie in den vorliegenden Untersuchungsergebnissen sind Anzeichen auf sich ausbildende schnellere Teilsysteme nicht erkennbar.
 - Innerhalb der Bewegung sind stark unterschiedliche Bewegungsgeschwindigkeiten und generell differentielle Bewegungsformen derzeit nicht vorhanden und auch für die nähere Zukunft nicht zu erwarten
 - Die Fläche liegt nicht im Nahbereich einer Bewegungsfuge und/oder im Nahbereich von sich unterschiedlich schnell bewegenden Teilschollen.
 - Das Gebiet befindet sich nicht im potentiellen Ablagerungsgebiet von sich schnell bewegenden Hangbewegungsformen (Typ Erd-/Schuttstrom, Mure oder Gleitung)
 - Gelber Gefahrenbereich - Im gelben Gefahrenbereich besteht eine geringe Gefährdung. Bauflächen im gelben Gefahrenbereich sind grundsätzlich stabil. Aufgrund herrschender oder vermuteter schlechter Untergrundverhältnisse wird die Durchführung von Bodenaufschlüssen und die Erstellung eines Gründungsgutachtens empfohlen um zukünftig Gebäudeschäden zu verhindern. Der gelbe Gefahrenbereich ist ein Hinweisbereich.

⁴ im Vergleich zu Baukosten

- Eine Fläche wurde als gelber Gefahrenbereich ausgewiesen, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Vorhandene oder vermutete ungünstige Untergrundbeschaffenheit (setzungsempfindliche Böden, Böden mit hohem organischem Anteil, etc.)
 - Hänge die im Zuge von baulichen Maßnahmen zu Instabilitäten neigen können. Auslöser sind jedoch Bodeneingriffe und nicht a priori vorhandene Bodenunruhen
- Graue Hinweisfläche - Für graue Hinweisflächen besteht eine angenommene, mäßige Gefährdung. Bauflächen im grauen Hinweisbereich sind aus derzeitiger Sicht vermutlich stabil. Hangbewegungen sind inaktiv oder sehr langsam ablaufend (Bewegungsgeschwindigkeit < 0,03 m / Jahr). Eine Reaktivierung bzw. Beschleunigung ist nicht zu erwarten. Graue Hinweisbereiche trennen meist Flächen mit Baulandeignung (orange, gelbe und weiße Flächen; s.u.) von Verbotsflächen (rote Flächen). Zur Eingrenzung der ausgewiesenen Sicherheitsstreifen zum Verbotsbereich sind jedoch Untergrundaufschlüsse erforderlich. Gleiches gilt für Bereiche die aufgrund fehlender oder mangelnder Untergrundinformation einer vertiefenden Bodenansprache zur Festlegung allfälliger Gründungsmaßnahmen bedürfen.
- Eine Fläche wurde als grauer Hinweisbereich ausgewiesen, wenn eines der folgenden Kriterien erfüllt war:
 - Untergrundaufschlüsse sind erforderlich, da das exakte Ausmaß von potentiellen Weiterentwicklungen angrenzender Bewegungsflächen derzeit nicht genau bestimmt werden kann
 - Untergrundaufschlüsse sind erforderlich, da die Fläche im Bereich einer möglichen Grabenverfüllung und/oder im Bereich einer vermuteten oder bekannten Anschüttung liegt
- Weiße Hinweisflächen - Auf weiß ausgewiesenen Flächen besteht keine oder eine vernachlässigbare Gefährdung. In den als weiß ausgewiesenen Flächen ist aus derzeitiger Sicht keine oder eine vernachlässigbare Gefahr hinsichtlich Baugrundrisiko vorhanden. Die Tiefenlage des tragfähigen Untergrundes wird in geringer Tiefe erwartet (< 5 m unter derzeitiger GOK). Zur Verifizierung dieser Annahme wird die Durchführung entsprechender Baugrunderkundungsmaßnahmen bei einem konkreten Projekt vorgeschlagen.

Auf den Karten wurde flächig für jeden Teilabschnitt eine Einteilung in Gefahrenbereich rot, oder Gefahrenbereich orange, oder Gefahrenbereich gelb vorgenommen. Flächen die keine geogene Gefahren aufweisen wurden weiß dargestellt. Grau gestreifte Flächen sind Bereiche die eine verbesserte Untergrunderkundung erfordern um eine exaktere Grenzziehung vornehmen zu können. Bei Flächen die von mehreren geogen bedingten Gefahren betroffen sind, wurde jene Gefahr dargestellt die ein höheres Schadenspotential beinhaltet. Nachfolgend werden exemplarisch die Ergebnisse der Gefahrenbeurteilung tabellarisch dargestellt und begründet.

Nr.	Gefahrenbereich		Begründung
Si 15	rot		Hangbewegung in der Lockergesteinsüberlagerung; Nischenanbruch mehr oder weniger entleert, Tiefenerstreckung zw. 5 – 10 m, vermutlich inaktivaktiv, Nachbrüche bergwärts und seitlich möglich
Si 16	rot		potentieller Nachbruchbereich von Hangbewegung in der Lockergesteinsüberlagerung (Nischenanbruch mehr oder weniger entleert, Tiefenerstreckung zw. 5 – 10m, vermutlich inaktivaktiv, Sicherheitsstreifen von 30 m
Si 18	weiß		Eisrandterrasse, seit rd. 18.000 BP unverändert, daher stabil, Versickerung oder freies Ableiten von Oberflächenwässer untersagt
Si 19	gelb	grau	mächtige, zum Teil Feinkorn dominierte Hangumlagerungssedimente über Grundmoräne, vermutlich stabil, Gründungsgutachten und Untergroundaufschlüsse erforderlich
Si 32	orange	grau	Untersuchungstreifen von möglichen Grabenverfüllungen bzw. Anschüttung; Hangwasserzüge entlang der überschütteten Areale möglich, setzungempfindliche Böden zu erwarten, Untergroundaufschlüsse und Gründungsgutachten aufgrund der nicht exakten Lage der Grabenverfüllung erforderlich, Differentielle Bewegungen zwischen verfüllten und gewachsenen Boden möglich, Versickerung oder freies Ableiten von Oberflächenwässer untersagt
Si 33	rot		Verbotzone bergwärts und seitlich einer Anschüttung, Nachbrüche vergleichbar Si 29 möglich, derzeit keine Anzeichen für aktive Bewegungen erkennbar

Abb4: Gefahrenbeurteilung

Fig4: evaluation of natural hazards

Einbezug der Gefahrenkarten in die Raumplanung

Die Darstellung der Gefährdung allein ändert jedoch an der Gefahrensituation nichts. Erst die Umsetzung in konkrete Maßnahmen beeinflusst die Häufigkeit und Höhe eines Schadens. Mit den oben dargestellten Ergebnissen wird nunmehr ein Instrument zur Verfügung gestellt, welches die Gemeinde und die Raumplanungsbehörde in die Lage versetzt, die Erkenntnisse wirksam umzusetzen, die Flächenwidmung entsprechend anzupassen und die Bebauung in nicht oder weniger stark gefährdete Bereiche zu lenken. Gleichzeitig bieten die Untersuchungsergebnisse die Möglichkeit, in weniger stark gefährdeten Bereichen durch Vorschreibung von Objektschutzmaßnahmen die Bebauung der Gefährdungssituation anzupassen und damit langfristig das Risiko von Schäden zu vermindern.

LITERATUR

- BUWAL (1997): Naturgefahren Empfehlungen - Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bern
- BUNZA, G. - Systematik und Analyse alpiner Massenbewegungen. in: Geologisch - morphologische Grundlagen der Wildbachkunde - Schriftenreihe der ehem. Bayr. Landesstelle für Gewässerkunde, Heft 17, 1-84, München 1982.
- OBERHAUSER, R. & RATAJ, W.: Geologisch-tektonische Übersichtskarte von Vorarlberg 1:200.000.- Geologische Bundesanstalt, Wien 1998
- PIRKL, H., JARITZ, W. & MARKAT, G. (2002). Einsatz von Hubschrauber-geophysik bei der Naturraumanalyse – Beispielmessgebiete Sibratsgfall, Doren, Langen und Schesatobel.- Unveröff. Bericht.
- SIMET, Ch. (1985): Zur Geologie in der Umgebung von Sibratsgfall (Vorarlberg, Österreich). - Unv. Dipl. Arbeit. Uni. München.
- SUPPER, R. et al (2007).: Softwareentwicklung für ein optimiertes Geoelektrisches Monitoring der Hangrutschung Rindberg, Endbericht“.- Unveröffentl. Bericht Geol. Bundesanstalt, Wien 2007
- THOM, P. (1986): Zur Geologie der Berge zwischen Balderschwang und Sibratsgfall. - Unv. Dipl. Arbeit. Uni. München.
- ZT-BÜRO MOSER/JARITZ (2007): Gde. Sibratsgfall – Georisiko Gde. Sibratsgfall – Geologisch-, geotechnische Beurteilung,- Unv. Bericht GZ 070433.
- WÖHRER-ALGE ET.AL. (2002): Geomonitoring Rindberg – Rutschungsüberwachung und Methodenentwicklung.- WL V Sektion Vorarlberg, Jahresbericht 2001, Bregenz 2002.

HYDROLOGICAL PATTERNS AND PROCESSES OF A DEEP SEATED CREEPING SLOPE AT EBNI, VORARLBERG

Falk Lindenmaier^{1,2}, Erwin Zehe¹, Jan Wienhöfer¹, Jürgen Ihringer²

ZUSAMMENFASSUNG

Massenbewegungen werden häufig durch Niederschlag ausgelöst, dabei spielt einerseits die Infiltration in die ungesättigte Bodenzone eine Rolle, andererseits können Änderungen des Grundwasserspiegels zum Versagen führen. Um den Auslöser von Bewegungen besser verstehen zu können, müssen die hydrologischen und hydraulischen Flüsse besser verstanden werden, die eine Massenbewegung dominieren. Bereits abgegangene Rutschungen verhindern in der Regel die detaillierte, prozeßbasierte Untersuchung hydrologischer Prozesse. Die untersuchte Massenbewegung liegt in den Vorarlberger Alpen und wird durch ein extremes hydrologisches Regime beeinflusst. Eine detaillierte Identifikation hydrologischer Prozesse sowie eine physikalisch basierte hydrologische Modellierung werden hier vorgestellt. Die Felduntersuchungen zeigen, dass die Massenbewegung durch Oberflächenabfluss dominiert ist, eine Tiefenversickerung dahingegen ist unwahrscheinlich. Benachbarte Bereiche zeigen eine schnelle Infiltration und wirken durch eine laterale Druckweitergabe auf das Grundwassersystem der Massenbewegung.

Keywords: prozeßbasierte Hydrologie, Hangrutschung, Kriechen, hydrologische Modelle, Vorarlberg

ABSTRACT

Many mass movements are driven hydrologically through precipitation and infiltration in unsaturated soils and subsequent groundwater fluctuations. For understanding the role of flow paths and flow dynamics of infiltrating water in the subsurface, hydrological active structures are considered responsible for fast preferential flow and transport. In mountainous regions, high relief gradients are an additional factor driving fast hydrological processes. It is also of great importance to understand dominating hydrological thresholds to appropriately account for critical trigger situations, e.g. certain climatic conditions. The mass movement investigated in this study is of a slow creeping type. It is located in the Vorarlberg Alps where high precipitation depths govern surface and subsurface hydraulics. The research is aimed to better understand hydrological processes and triggers of mass movements. The approach is a detailed field investigation coupled with the use of physically based hydrological models. The field investigation, including a geobotanical determination of hydrotopes, revealed that the mass movement body is dominated by surface runoff generation and that seepage to groundwater is inhibited. The reason for fast changes of the groundwater level is found in adjacent areas with high infiltration capacities and a fast pressure propagation towards the mass movement's groundwater system.

Keywords: process based hydrology, landslide, creep, hydrological modelling, Vorarlberg

¹ Institut für Geoökologie, Universität Potsdam, Karl Liebknecht Str. 24-25, Germany, lindenmaier@iwg.uka.de

² Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Universität Karlsruhe (TH), 76128 Karlsruhe, Germany

INTRODUCTION

Many mass movements are related to extreme hydrological events, for instance think of the Rufi-landslide which failed in May 1999 (Eberhardt *et al.*, 2005) or the August 2005 events in Austria (BMLUFW, 2006) and Switzerland (MeteoSchweiz, 2006). Investigation of the triggering hydrological event and a related landslide mostly starts *ex post*, i.e. after the landslide event. This hampers of course our understanding of the most important hydrological and geological control mechanisms and how the system evolved to this critical state. Additionally, many studies are hampered through the lack of sufficient hydrological data sets which are needed to close the water balance of the investigated site.

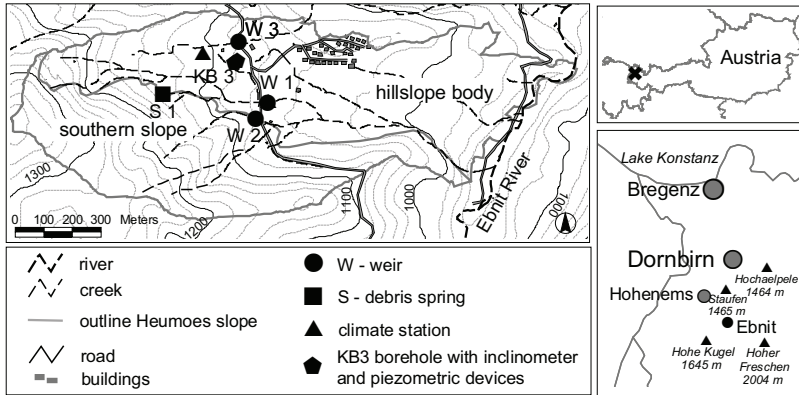


Fig. 1: Location and measurement set-up of the Heumös slope south of Ebnit village. A hydrometeorological station, three discharge weirs, one spring discharge weir as well as boreholes equipped with inclinometers and piezometers are located on the slope and in adjacent areas. A small holiday village is located on the Heumös slope as well.

Deep seated landslides are often considered to be triggered by groundwater level changes which are induced by long lasting wet periods over several months (Schuster & Wieczorek, 2002; van Asch *et al.*, 1999). This might be true for the majority of systems, but might also be an effect of observation inter-vals ignoring fast processes.

The objective of our study is to provide insights on how slow geo-mechanical processes are affected by relatively fast hydrological and geo - hydrological processes that could lead to a critical system state. We employ a twofold study approach:

- Set-up of a nested observation network to observe hydro-meteorological key variables, geological setting, and identify patterns of key parameters in the subsurface. Additionally, the movement was and is monitored at the surface and subsurface. The field investigations started with mapping of areas with specific hydrological dominant characteristics (hydrotope delineation) and were followed by detailed plot-scale investigations.
- Combine these data with process model studies to shed light on the spatial patterns of key processes such as infiltration and subsurface flow dynamics. The application of a physically based hydrological model (CATFLOW, Zehe *et al.* (2001)) helps to understand the dominating processes and to close the water balance of the subsurface system.

This case study will show that detailed hydrological investigation of deep seated landslides is needed to understand the fast hydrological processes which might be the mechanism that

switches the slow shear zone development of an unstable hillslope into the fast failure process of a catastrophic landslide.

STUDY SITE

The study site is located in the western Vorarlberg Alps at Ebnit village near Dornbirn, Austria (fig. 1). The so called “Heumös slope” extends from 960 to 1360 m above Adria; it is about 1800 m long and up to 500 m wide. The slope can be parted into two major areas: the 7° “southern slope” has very steep angles, rock outcrops and otherwise a thin soil cover. It belongs to the hydrological catchment area of the Heumös slope but is not the major moving part. The actually eastwards moving part is located north of the southern slope. This area is called the “hillslope body”. It is less steep and exhibits a thick sediment cover of up to 30 m.

Geological setting

The geological setting favours the development of mass movements. Cretaceous marlstones and limestones surround the Ebnit area and the Heumös slope (fig. 2). Glaciation left several meters of subglacial till in different states of compaction and stability. Post-glacial development means erosion through the Ebnit River and the removal of the counter bearing of the slope in the east. It also means accumulation of debris material on top of the subglacial till and bedrock. These post-glacial sediments have their origin in the steep slopes of marlstones and calcareous marlstones of the Amden and Wang formations, which are exposed in rock scarps in the south of the hillslope body. It is the composition of the marlstones and their high susceptibility to physical and chemical weathering which helps to develop a critical composition of the post-glacial sediments that makes it prone for movement.

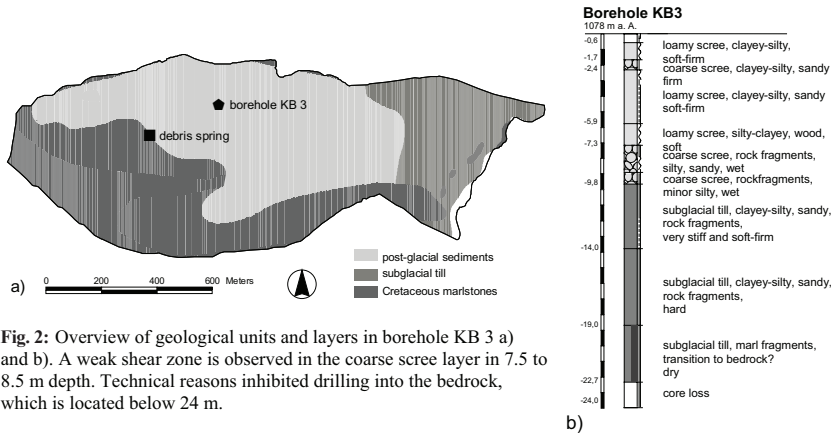


Fig. 2: Overview of geological units and layers in borehole KB 3 a) and b). A weak shear zone is observed in the coarse scree layer in 7.5 to 8.5 m depth. Technical reasons inhibited drilling into the bedrock, which is located below 24 m.

Several processes led to a very heterogeneous build up of the post-glacial sediments during the last 10000 years: accumulation of debris from the adjacent hillslopes (e.g., rock fall, mud flows), erosion by creeks or small scale slides and different weathering conditions over time (e.g., freezing or soil development). Basically, coarse scree material was deposited in earlier times and then soil development lead to the development of loam in more temperate climate. The post-glacial sediment composition is very heterogeneous and can be best described with two end members concerning grain size distribution: on the one side, there is a coarse scree consisting of sub angular marlstone clasts. On the other side, there is a gravel free loam, comprised of silty clay. The clay sized material consists mainly of clay minerals (illite, kaolinite, smectite), carbonates (30-40 %) and quartz. Stronger weathered samples have a

higher smectite content. Soft or stiff clay layers might be underlain by very soft clay layers which enhances the susceptibility for movement (Lindenmaier, submitted).

Hydrological environment

The nearby Ebnit climate station (Hydrographischer Dienst Vorarlberg, Austria) records an average yearly precipitation depth of 2100 mm. The data shows the influence of the westwards opening Vorarlberg Alps which enhance precipitation through orographic lifting. The Bodensee (Lake Constance) further enhances convective storm events, which is reflected in higher precipitation depths in the months April-September with average monthly depths of 150-250 mm. October-March have average monthly depths of less than 150 mm. Storm events in summer have a high precipitation intensity and a considerable precipitation depth. Events with 30-40 mm of precipitation in less than 12 hours are common. On the other side of extremes there are long lasting events with high precipitation depths, e.g. the May 1999 events with two times more than 210 mm in 3 to 5 days (10.05.1999 and 20.05.1999). The long lasting events readily lead to the development of small scale and shallow slides and small scale mudflows in the Ebnit river area. Considerable movement at the deep seated shear zone could not be observed during or after such events, but this is also in relation to observation intervals of movement. We rather think that a succession of small high intensity events do have a larger effect on deep seated movement than long lasting precipitation periods or a snow cover.

Movement characteristics

Surface deformation was measured during three campaigns each year (Depenthal & Schmitt, 2003) with GPS equipment from 1995-2001. Measurement intervals gap between 3 and 6 months (May, August, November). About 25 points were marked and measured with GPS equipment on the meadows and 15 points were marked in the forested eastern part for terrestrial measurement. Surface movement is about 10 cm per year west of the borehole KB 3 (fig. 1). In the mid part, near the holiday village, movement is less with 0 to 5 cm per year. The terrestrial points east of this village show higher yearly movement rates of more than 10 cm. Lateral movement is more pronounced than vertical movement. For several points, a periodicity with maximum movement rates per day peaks in November and is at minimum in August. A relation to long term hydrological signals cannot be established as these are on faster process scales.

Subsurface movement was measured with an inclinometer device in KB 3 and is approximately 0.7 cm a year in 7.5 to 8.5 m depth (Schneider, 1999, fig. 2b). This is the transition between post-glacial sediments and subglacial till. A second shear zone is assumed to be at the transition between subglacial till and bedrock, but technical reasons inhibited measurement there. This will be overcome with recently drilled boreholes equipped with inclinometer and piezometer devices. A relation between surface and subsurface movement could not be established yet as data sets are not exhaustive enough. But likely, different processes lead to movement at different locations.

OBSERVATION NETWORK AND FIELD METHODS

A hydro-meteorological observation system has been established in 1998 (Lindenmaier *et al.*, 2005). Besides climatological variables and precipitation, soil moisture in several depths as well as creek discharge and spring discharge are observed (fig. 1). Debris transport and clogging of the weirs of the three observed creeks (W 1-3) often hampers exact discharge measurements due to changing rating curves. Nevertheless, by excavating the weirs regularly, time periods with good quality observation could be achieved.

Groundwater level changes were recorded with piezometer devices in 1998 in borehole KB 3, which is located on the central hillslope body, in about 280 m distance from the debris spring S 1 (fig. 1). Piezometers are set in 5.5 m and 12 m depth. The devices failed in September of 1998. Unfortunately, surface runoff recording in the three weirs (fig. 1) and the debris spring started just afterwards. Overlapping time series are almost non-existing, due to the early failure of the piezometer devices.



Fig. 3: Map of ecological moisture index. Hydrotopes 1-4 were delineated with the help of topography, ecological moisture index and soil type definition.

plants after Ellenberg (1996) and an ecological moisture index was calculated for vegetation patches. The vegetation distribution and soil definition was used to develop an ecological moisture index map (fig. 3).

Soil hydraulic conductivity was determined with constant head permeameter tests after a method of Amoozegar (1989) in 12, 20 and 50 cm depth. Two key areas, one in the forested southern slope and one on the hillslope body which is mainly covered by meadows were chosen. Additionally, hood infiltrometer tests were conducted on the surface to get information about the infiltrability on the surface. The hood infiltrometer device (UGT, Germany) is designed to allow infiltration on the undisturbed soil surface with zero tension (Zimmermann *et al.*, 2006). A saturated hydraulic conductivity of the surface layer is measured. Slug tests (Butler, 1998) were conducted in 1-2 m depth in window sampling holes.

To better understand small scale flow behaviour we stained soil patches with a dye tracer (Brilliant Blue FCF) and removed the stained soil layers in 5 cm steps to visualize flow paths in the soil column (Flury & Flühler, 1995; Zehe & Flühler, 2001). On the hillslope body, 30 litres of stained water were applied on a steep grass covered plot (1 m²). On the southern slope the same amount of stained water was applied on a 1 m² plot of forest floor.

IDENTIFICATION OF DOMINATING PATTERNS AND PROCESSES

Soil and vegetation distribution

The Heumös slope catchments are covered with meadows and mixed forests of spruce and alder. Soil identification revealed stagnic and gleyic gleysols on the hillslope body and clay-rich leptosols on the steep southern slopes. The dominance of clay bearing fast weathering source rocks means that all soils have a more or less similar grain size distribution. This complicates the identification of dominating hydrological processes of specific soil systems on the slope as grain size distribution is classically used to determine heterogeneity of an area. This is why a key role in process identification was given to a combined soil and vegetation analysis. A moisture index which describes the water demand of a specific plant was used (Ellenberg, 1996). The ecological moisture index represents the long term water budget of the root zone in a single value, and thus allows for comparison of different ecohydrological regimes (fig. 3). Vegetation patches with dry ecological moisture indicate fast preferential infiltration, e.g., on steep slopes. Patches with wet ecological moisture distribution indicate soils with stagnic properties where surface runoff generation is dominating.

With the help of the ecological moisture distribution combined with topography, four hydrotopes with specific characteristics could be identified (fig. 3). Focus here will be on hydrotope #1 and #2. Hydrotope #1 is dominated by leptosols, rock outcrops and is very steep. Hydrotope #2 is the upper part of the moving hillslope body which features stanic gleysols on a less steep surface and which has significantly higher ecological moisture values than hydrotope #1. The different moisture distribution in hydrotope #1 and #2 show that there must be also different hydrological processes dominating the soils, as soil texture is quite similar for all soils.

Variability of hydraulic conductivity

The sampling number for the hydraulic conductivity (K_{sat}) measurements is not high enough to conduct geostatistical analysis, but some major findings can be concluded from the measurements (fig.4). 1) The surface infiltrability is high on the meadow: an average of $9 \cdot 10^{-3}$ m/s indicates a high conductivity layer in the uppermost soil surface. Observation verifies

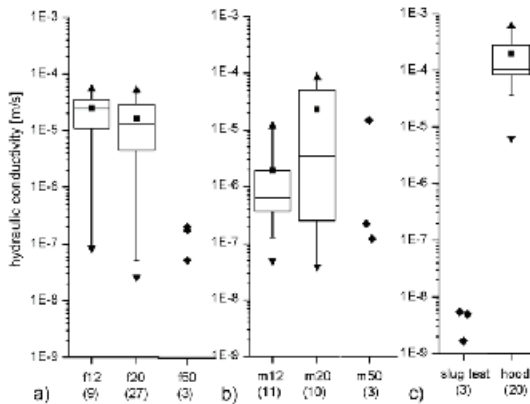


Fig. 4: Soil hydraulic conductivity (K_{sat}) and infiltrability in box plot display: a) K_{sat} of constant head permeameter measurements in the forest in 12, 20 and 50 cm depth; b) K_{sat} of constant head permeameter measurements on the meadow in 12, 20 and 50 cm depth; c) K_{sat} of slug tests in 1-2 m depth and hood infiltrability values at the soil surface. Number of samples in brackets.

Box plots present essential aspects of a sample distribution. The box shows the spread of the central 50 % of a distribution, where the lower limit is the first quartile and its upper limit the third quartile. The middle bar represents the median. The square represents the average of the sample distribution. The whiskers are the 5 and 95 percentiles. The box plots also show the 1 and 99 percentile, represented by triangles. There are no outliers.

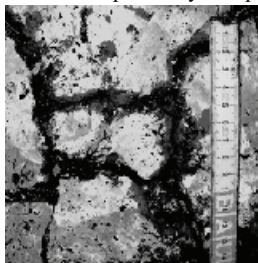
Observation of flow patterns

Figure 5 shows pictures of stained plots. In hydrotope #1 the water flew in a distinct network of shrinkage cracks and seeped between soil column and bedrock. The preceding dry weather resulted in shrinkage cracks with an aperture of more than 1 cm in 25 to 50 cm depth. In wet conditions, these cracks are more closed but still function as a hydraulic active fissure system. In addition, macropores and soil pipes with diameters of up to 10 cm enhance fast infiltration and preferential flow there. In hydrotope #2, all stain stayed in the upper 10 cm at the vegetation /soil transition. Here, the upper organic and vegetation layer functions as the most

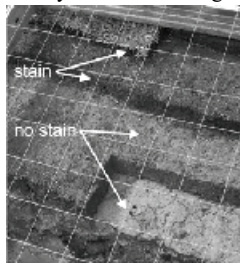
this finding as a thin organic layer functions as a very shallow interflow layer there (see next section). 2) Towards depth, the hydraulic conductivity decreases. The constant head permeameter values indicate this. Very low conductivities of $1 \cdot 10^{-9}$ m/s are found in 1-2 m depth. 3) The variability of the hydraulic conductivity is large, it can range over 4 orders of magnitudes (forest, 12 cm; fig. 4). This high variability is in contrast to the clay rich soils encountered both in hydrotope #1 and #2. It shows that these soils must be dominated by preferential flow paths, and that matrix water flow is only of secondary importance. A closer look on the soil structures will be taken in the following to get a better idea of water flow in these clay rich soils.

dominant flow path for water, although cracks, macropores and soil pipes were found readily on the meadows as well, yet in smaller quantities than in hydrotope #1.

Shrinkage cracks do play a major role in subsurface flow despite high precipitation values on the Heumös slope. Many soil patches are fully saturated throughout the year. But dry periods



a)



b)

Fig. 5: Dye tracer experiments, a) shows stained plot in forest, which is dominated by shrinkage cracks in 25 cm depth. Black and dark grey are stained; b) shows stained plot on the meadow, only the uppermost vegetation-soil layer is stained.

lead to soil moisture decrease, which then easily leads to the evolution of shrinkage cracks due to volume change of pores in the clay soils (Chertkov, 2003; Wilding & Tessier, 1988). Shrinkage cracks enhance drying of the soil column on the one hand but also

function as a fast flow pathway with the onset of precipitation. Macropores and cracks can be washed out and might form soil pipes which are hydraulic active during precipitation events.

Groundwater, spring discharge and surface runoff generation

The piezometer in 5.5 m depth shows a pressure high stand during winter and spring months (fig. 6a). This is followed by groundwater level changes reacting to precipitation events. A relatively quick rise of the groundwater level in the 5.5 m device can be observed about 6 hours after the start of a certain precipitation event, followed by a long tailing afterwards. Not all precipitation events lead to a pressure rise. The deeper device shows a more damped reaction. The debris spring S 1 is located at the transition of the southern slopes towards the hillslope body, namely at the border of hydrotope #1 to hydrotope #2. It shows a quick reaction to precipitation events, within the first 15-30 minutes after precipitation started (fig. 6b). The reaction time is soil moisture dependent (Lindenmaier, submitted), according to the dependence of the aperture of shrinkage cracks to the soil moisture state. It is remarkably that a long tailing of discharge prevails after the fast first reaction ceded. This tailing is very similar to the piezometer reactions in 280 m distance.

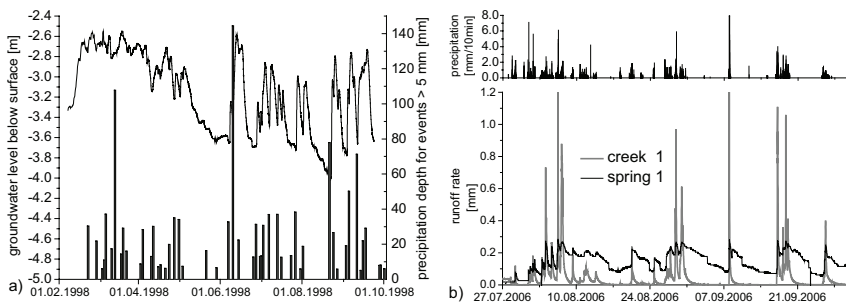


Fig. 6: a) Piezometer time series in 1998 and cumulative precipitation depth of selected events show that a certain threshold of precipitation is needed to trigger piezometer level rise. The piezometer is installed in 5.5m depth. b) Comparison of spring and creek discharge in 2006, note the tailing of spring discharge. Creek 1 catchment has a size of 209,000 m², the spring catchment has an approximate size of 1100 m².

In contrast, the discharge in the creek gauges shows a fast reaction to precipitation events but also a fast decline after maximum discharge (fig. 6b). This is in accordance with the overall wet soil moisture regime on the hillslope body. During rainfall events, a connection of saturated and nearly saturated patches is quickly established to the creek channels. Retention in the uppermost soil zone is low. It can be stated that the hillslope body is dominated by surface runoff generation. Fast, shallow interflow plays a major role during precipitation-runoff events, while deeper interflow or groundwater discharge is negligible. These two process types also influence baseflow in precipitation free periods.

Soil moisture

Soil moisture observation with time domain reflectometry (TDR-rods) in a profile show that the soil moisture is dominated by evapotranspiration. In winter and wet periods, soil moisture

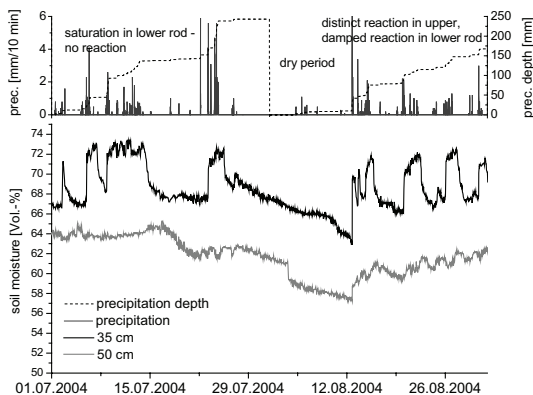


Fig. 7: Soil moisture variation during summer 2004. The lower rod shows saturated condition, whereas the upper one is driven by evapotranspiration. During winter, soil moisture is at saturation. TDR-rods do not give plausible measurements in high saturation conditions in such clay-rich soils. For a yearly record, see also Figure 9.

is at saturation, and precipitation events do not result in soil moisture changes. Only after long dry periods, the soil moisture drops to values below saturation (fig. 7). A precipitation event then can lead to a fast rise of soil moisture, even in the deeper soil column. This is an indication for preferential infiltration through shrinkage cracks. The saturated conditions throughout most times indicate that deep infiltration is not a major process on the hillslope body.

MODEL APPLICATION TO ENHANCE HYDROLOGICAL PROCESS UNDERSTANDING

The model CATFLOW is designed to use the pressure based form of the Richards equation (Richards, 1931; Zehe *et al.*, 2001) and is equipped with an extended soil-vegetation-atmosphere-transport module (SVAT). It is build up on a quasi 2½-dimensional network of surface runoff channels and connected hillslopes. The hillslopes are represented by a single line for surface processes but is extended into the depth to present the soil profile. This has the advantage that surface runoff processes as well as subsurface hydraulics can be represented. In this paper, we want to present a model for the weir 3 catchment with a size of 0.05 km². It lies completely on the hillslope body (fig. 1). A simple soil catena was taken which is supposed to represent a two layered gleysol with higher conductivities at the top and lower conductivities at the bottom. The soils are parameterised as a silty clay after Carsel & Parrish (1988) with conductivities of $6.40 \cdot 10^{-07}$ m/s (top) and $1.70 \cdot 10^{-07}$ m/s (bottom). To decide whether deep infiltration is a considerable process on the hillslope body or not, the lower boundary condition was either chosen to be of a no-flow or a gravity-flow.

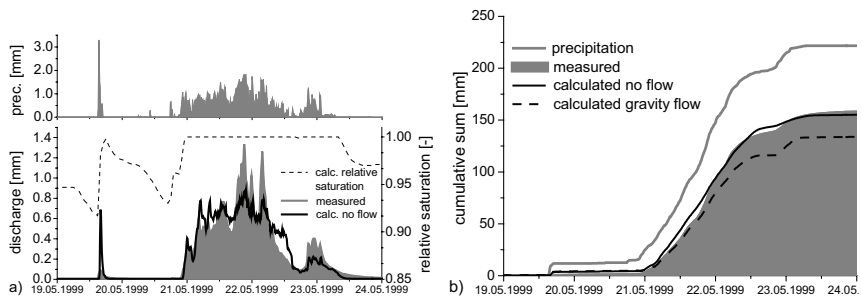


Fig. 8: Precipitation event in May 1999 with a sum of 210 mm. High initial saturation leads to a high runoff coefficient (>0.7). The overestimation of the small first precipitation peak (a) results from low hydraulic conductivities in the uppermost soil column of the model and so to infiltration excess runoff generation in contrast to reality. The cumulative sum (b) shows that the gravity flow boundary condition has a higher bias than the no flow boundary condition.

Long lasting precipitation events combined with wet soil moisture condition give good quality simulations (fig. 8a). High intensity precipitation events are overestimated, the reason is a missing implementation of shrinkage crack behaviour in the model. Figure 8b shows that the no-flow boundary condition results in a better water balance for this event. This is similar for long term studies as well, as CATFLOW runs on a time continuous base. To underline the results shown in figure 8, the measured soil moisture is compared to the calculated soil moisture at the same spot in the model. Figure 9 shows a good relation of soil moisture changes in the field and in the model for the summer period.

The no-flow boundary condition inhibits water seeping from the lower boundary, so that the water in the hillslope can only be removed through return flow into the creek or lost to evapotranspiration. The significant soil moisture changes in the summer indicate that evapotranspiration is the major process which dominates the soil moisture state. The model application shows that deep infiltration on the hillslope body is not a dominating process and so cannot contribute to the fast groundwater level changes.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

Both a detailed field observation of hydrological measures and processes as well as the application of a highly distributed physically based hydrological model show that fast hydrological processes dominate the surface as well as subsurface hydraulic system of the mass movement. The similar behaviour of the debris spring and the piezometer rise the question whether a lateral pressure propagation can function as trigger for the movement. Deep percolation of water is not a favoured process on the hillslope body, where sediments with low hydraulic conductivities mean a surface runoff dominated hydrological system. Saturation excess runoff generation is considered the dominating process on the hillslope body. On steeper meadows, the uppermost soil column functions as a fast preferential runoff system. But the lower soil column, especially on flatter areas, is water saturated most of the year.

This is different on the steep southern slope (hydrotope #1). Pronounced shrinkage cracks and macropores dominate the hydrological system through preferential infiltration and flow. This also indicates the dry ecological soil moisture index. The debris springs fast reaction and long tailing are similar to the groundwater level changes. This is why a hydraulic connection from the southern slope towards a confined groundwater system of the hillslope body is considered

the most plausible trigger for groundwater level rises, which, in turn, might be responsible for movement. As deep infiltration of water or vertical pressure propagation in the soil column is not plausible due to soil characteristics, a complex three dimensional pressure propagation has to be considered responsible for groundwater changes in the hillslope body. It is clear that such a system responds on a faster process scale than it is usually found and suggested for deep seated mass movements (Schuster & Wieczorek, 2002; van Asch *et al.*, 1999).

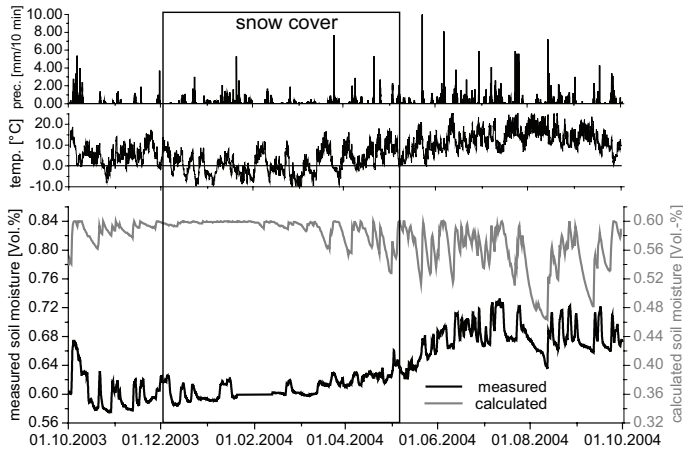


Fig. 9: Soil moisture time series for 2004. From top to bottom: precipitation in 10 min time interval; average daily temperature to estimate temperature-influenced measured soil moisture (soil moisture values drop due to lower soil temperature); a good relation for model vs. measured is met in summer. The soil moisture values differ a little for the measured and calculated time series, which is a matter of chosen maximum porosity for the calculated time series and possible influence of charged clay minerals on the measured signal.

Up to now, the slope movement was monitored in intervals of several months. These do not correspond to the time scale of relevant hydrological processes in this case. The observed hillslope creep with time steps of 3-6 months rather belongs to a series of small jerky movements than a continuous creep (Lindenmaier, submitted; Walter, 2006). These could likely be induced by the fast groundwater level changes in summer time rather than by continuous high groundwater levels in winter.

Process based hydrology in landslide research needs further attention as mass movements have an especially complex hydrological and hydrogeological system as similar studies show (Bonomi & Cavallin, 1999; Malet *et al.*, 2003; Malet *et al.*, 2005). Process identification and understanding the heterogeneity of structures is necessary to understand the dominant processes of unstable hillslopes. In our view, a closed water balance is one of the important issues which still need more attention in landslide hydrology (Bogaard *et al.*, 2007).

During our research, it was especially astounding to find a preferential flow system of shrinkage cracks in the clay rich soils. Clay soils, especially in very wet conditions are supposed to have low hydraulic conductivities, but the opposite is the case as shrinkage cracks and macropores, as well as soil pipes dominate the subsurface hydraulics. Soil pipes might function as trigger for movement as well (Uchida *et al.*, 2001). Shrinkage cracks are supposed to have a threshold character for hydrological processes (Zehe *et al.*, 2007). Representing preferential flow in cracks and other macropores is one of the key efforts which will be followed in ongoing research. In addition to movement measurements with higher measurement frequencies and new methods (Singer *et al.*, 2006; Wust-Bloch & Joswig,

2006), the coupling of surface and subsurface hydraulics with movement processes (Hinkelmann & Zehe, 2007) is part of our research effort as well.

ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank the people of Ebnet for their magnificent support. We would also like to thank the Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Vorarlberg, the City of Dornbirn authorities and the Hydrographischer Dienst Vorarlberg for support and data. The research is funded through a research group of the Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG).

REFERENCES

- AG Boden, 1996. *Bodenkundliche Kartieranleitung*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Hannover. 392 pp.
- Amoozegar, A., 1989. A compact constant-head permeameter for measuring saturated hydraulic conductivity of the vadose zone. *Soil Science Society of America Journal*, 53: 1356-1361.
- BMLUFW, 2006 a. Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation, Teilbericht des Hydrographischen Dienstes. 30.
- Bogaard, T., Guglielmi, Y., Marc, V., Emblanch, C., Bertrand, C. and Mudry, J., 2007. Hydrogeochemistry in landslide research: a review. *Bulletin de la Societe Geologique de France*, 178(2): 113-126.
- Bonomi, T. and Cavallin, A., 1999. Three-dimensional hydrogeological modelling application to the Alverà mudslide (Cortina D'Ampezzo, Italy). *Geomorphology*, 30: 189-199.
- Butler, J.J., 1998. The design, performance and analysis of slug tests. Lewis Publishers, Boca Raton, 1-56670-230-5. 251 pp.
- Carsel, R.F. and Parrish, R.S., 1988. Development of joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resources Research*, 24: 755-796.
- Chertkov, V.Y., 2003. Modeling the shrinkage curve of soil clay pastes. *Geoderma*, 112: 71-95.
- Depenthal, C. and Schmitt, G., 2003. Monitoring of a landslide in Vorarlberg / Austria. In: Stiros, S., Pytharouli, S. (Editor), *Proceedings 11th International FIG Symposium on Deformation Measurements*, May 25-28 2003, Santorini (Thera) Island, Greece, pp. 289-295.
- Eberhardt, E., Thuro, K. and Luigenbuehl, M., 2005. Slope instability mechanisms in dipping interbedded conglomerates and weathered marls - the 1999 Ruffi landslide, Switzerland. *Engineering geology*, 77: 35-56.
- Ellenberg, H., 1996. *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen - in ökologischer, dynamischer und historischer Sicht*, Stuttgart.
- Flury, M. and Flüeler, H., 1995. Tracer characteristics of brilliant blue FCF. *Soil Science Society of America Journal*, 59(1): 22-57.
- Hinkelmann, R. and Zehe, E., 2007. Kopplung von Strömungs- und Transportprozessen für die Modellierung von Großhangbewegungen. *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung*(1): 51-54.
- Hydrographischer Dienst Vorarlberg, Austria. Landhaus, A-6901 Bregenz, <http://vorarlberg.at>.
- Lindenmaier, F., submitted Ph.D. thesis. Hydrology of a large unstable hillslope at Ebnet, Vorarlberg - Identifying dominating processes and structures, Universität Potsdam, Potsdam. 147 pp.

- Lindenmaier, F., Zehe, E., Dittfurth, A. and Ihringer, J., 2005. Process identification on a slow moving landslide. *Hydrological Processes*, 19: 1635-1651.
- Malet, J.-P., Auzet, A.-V., Maquaire, O., Ambroise, B., Descroix, L., Esteves, M., Vandervaere, J.-P. and Truchet, E., 2003. Soil surface characteristics influence on infiltration in black marls: Application to the Super-Sauze earthflow (Southern Alps, France). *Earth Surface Processes and Landforms*, 28: 547-564.
- Malet, J.-P., van Asch, T.W.J., van Beck, R. and Maquaire, O., 2005. Forecasting the behaviour of complex landslides with a spatially distributed hydrological model. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5: 71-85.
- MeteoSchweiz, 2006. Starkniederschlagsereignis August 2005, Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, 211. 63 pp.
- Richards, L.A., 1931. Capillary conduction of liquids through porous media. *Physics*(1): 318-333.
- Schneider, U., 1999. Untersuchungen zur Kinematik von Massenbewegungen im Modellgebiet Ebnit (Vorarlberger Helvetikum), Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, 0933-2510. 153 pp.
- Schuster, R.L. and Wieczorek, G.F., 2002. Landslide triggers and types. In: Rybár, J., Stemberk, J. and Wagner, P. (Editors), *Landslides. Proceedings of the first european conference on landslides*, Prague, Czech Republic, June 24-26, 2002. Balkema Publishers, 90-5809-393 X. pp. 734.
- Singer, J., Kurosch, T. and Sambeth, U., 2006. Development of a continuous 3d-monitoring system for unstable slopes using TDR. *Felsbau*, 24(3): 16-23.
- Uchida, T., Kosugi, K. and Mitzuyama, T., 2001. Effects of pipeflow on hydrological process and its relation to landslide: a review of pipeflow studies in forested headwater catchments. *Hydrological Processes*, 15: 2151-2174.
- UGT, Germany. Eberswalder Str. 84a, 15374 Müncheberg, www.ugt-online.de.
- van Asch, T.W.J., Buma, J. and van Beek, L.P.H., 1999. A view on some hydrological triggering systems in landslides. *Geomorphology*, 30: 25-32.
- Walter, M., 2006. Seismische Untersuchungen von Massenbewegungen am Heumöser Hang in Ebnit (Vorarlberg) mittels Nanoseismic Monitoring, Universität Stuttgart, Stuttgart. 80 pp.
- Wilding, L.P. and Tessier, D., 1988. Genesis of vertisols: shrink-swell phenomena. In: Wilding, L.P. and Puentes, R. (Editors), *Vertisols: their distribution, properties, classification and management*. Soil Management Support Services, College Station, Texas 77843., Texas A&M University Printing Center. pp. 55-81.
- Wust-Bloch, G.H. and Joswig, M., 2006. Pre-collapse identification of sinkholes in unconsolidated media at Dead Sea area by 'nanoseismic monitoring' (graphical jackknife location of weak sources by few. low-SNR records). *Geophysical Journal International*, 167: 1220-1232.
- Zehe, E., Elsenbeer, H., Lindenmaier, F., Schulz, K. and Blöschl, G., 2007. Patterns of predictability in hydrological threshold systems. *Water resources research*, accepted.
- Zehe, E. and Flühhler, H., 2001. Slope scale variation of flow patterns in soil profiles. *Journal of Hydrology*, 247: 116-132.
- Zehe, E., Maurer, T., Ihringer, J. and Plate, E., 2001. Modelling water flow and mass transport in a Loess catchment. *Physics & Chemistry of the Earth, Part B*, 26: 487 - 507.
- Zimmermann, B., Elsenbeer, H. and De Moraes, J.M., 2006. The influence of land-use changes on soil hydraulic properties: Implications for runoff generation. *Forest Ecology and Management*, 222: 29-38.

DIE RUTSCHUNG SÜDLICH VON IMMENSTADT

EINE KOMBINIERTE RUTSCHUNG MIT GEFÄHRLICHEN AUSWIRKUNGEN AUF STADT UND INFRASTRUKTUR

THE LANDSLIDE SOUTH OF IMMENSTADT/ALLGÄU

A COMBINED LANDSLIDE CAUSING DANGERS TO THE TOWN AND INFRA- STRUCTURE FACILITIES

Karl Mayer¹, Günther Bunza²

ZUSAMMENFASSUNG

Mitte März 2006 setzte sich am Immenstädter Horn eine Rutschung in Bewegung. Ein Teil der Rutschmassen lagerte sich auf einer Verebnung im Hang ab. Durch die enorme Auflast kam es zur Mobilisierung des darunter liegenden Hanges und zur Bildung einer Sekundärrutschung. Es drohte der Aufstau des Steigbaches, die Zerstörung der Zufahrten zum Steigbachtal sowie die Zerstörung der Wasserversorgung von Immenstadt. Um Aufschluss über die Kinematik der Rutschung zu erhalten, wurden detaillierte Kartierungen des Rutschgebietes durchgeführt, die dann Basis für die Stabilisierungsmaßnahmen waren. Der Bereich um die Rutschung wird vom Landesamt für Umwelt (LfU) weiterhin messtechnisch überwacht, um auf eine Ausweitung der Rutschung rechtzeitig reagieren zu können. Die durchgeführten baulichen Maßnahmen führten zu einer nachweislichen Stabilisierung der Sekundärrutschung und hatten damit eine erhebliche Risikominimierung für die Stadt Immenstadt sowie die Rettung der Wasserversorgung und der Zufahrtswege zum Steigbachtal zur Folge. Im südlichen Bereich der Rutschmasse sind jedoch weitere Hangbewegungen mit Geschiebeeintrag in den Steigbach nicht auszuschließen, was unter anderem die Errichtung von Schutzbauwerken im Steigbach mitbegründet hat.

Keywords: Hangbewegung, Risikominimierung, Rutschung

ABSTRACT

In March 2006 a landslide at the southern outskirts of Immenstadt started to move. A great part of the landslide debris accumulated in a plain in the middle of the slope. Due to the heavy upload a secondary landslide developed under the plain. The greatest risks caused by the landslide were the probable damming of the river Steigbach, the destruction of the accommodation roads to the Steigbach valley and the destruction of the water supply of Immenstadt. To get more information about the mechanism of the landslide, detailed mappings as well as

¹ Karl Mayer Dipl.-Geol., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Geologischer Dienst, Ref. Angewandte Geologie Süd, Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg, Deutschland

² Assoc. Prof. Dr. Günther Bunza Dipl.-Geol., Bayerisches Landesamt für Umwelt, Ref. Hochwasserschutz und alpine Naturgefahren, Bürgermeister-Ulrich-Str. 160, 86179 Augsburg, Deutschland

monitoring measurements have been carried out, to create a basis for structural consolidation measures. The measures led to a stabilization of the secondary landslide, so that the risk for the town, the accommodation roads and the water supply could be minimized. In the southern part of the landslide still movements of a larger rock mass take place. This demands the construction of a consolidation and a check dam as well as the permanent monitoring of the landslide.

Keywords: landslide, risk mitigation, debris flow

EINFÜHRUNG

Am 21.03.2006 bildete sich eine Rutschung am südlichen Ortsrand der Stadt Immenstadt. Bei einer ersten Einschätzung der Hangbewegung zeigte sich, dass nicht nur die Zufahrtswege zum Steigbachtal akut gefährdet waren, sondern eine weitaus größere Gefährdung für den Steigbach selbst und für Infrastrukturanlagen wie Wasserhochbehälter, Wasserleitung und Hochspannungsleitung, die alle im potentiell möglichen Einflussbereich der Rutschung lagen, bestand.

Bei den nachfolgenden Ausführungen soll erläutert werden, wie sich die Rutschung, die nach wie vor teilweise aktiv ist, entwickelte. Neben einer ingenieurgeologisch-morphologischen Betrachtung werden auch Angaben zur Kinematik der Rutschung gemacht. Ebenso werden die Maßnahmen zur Stabilisierung und zur messtechnischen Überwachung der Rutschmasse beschrieben.

GEOLOGISCHE VERHÄLTNISSE

Das gesamte Gebiet befindet sich im Bereich der so genannten Faltenmolasse, die die nördlichste tektonische Einheit der bayerischen Alpen darstellt. Der Gebirgszug südlich von Immenstadt (Immenstädter Horn) wird westlich des Steigbaches von den so genannten Kojen-Schichten und den darunter lagernden Steigbach-Schichten aufgebaut. Im östlichen, oberen Bereich des Immenstädter Horns stehen die Kojen-Schichten an. Unterhalb von ca. 900 m ü.NN sind mächtige Sandstein- und Mergellagen anzutreffen, die zu den oberen Steigbach-Schichten zu stellen sind. Die Kojen-Schichten sind durch eine Wechsellagerung von bis zu 50 m mächtigen, sehr harten Konglomeratbänken (Nagelfluh) mit bis zu 4 m mächtigen Sandstein- und bis zu 10 m mächtigen Mergellagen gekennzeichnet. An der Nordseite des Immenstädter Horns fallen die Schichten mit 30° bis 40° nach Süden ein. Auf der nach Osten exponierten Seite des Immenstädter Horns, also in dem Bereich, indem sich die Rutschung bildete, fallen die Schichten mit ca. 40° etwa nach Westen, also hangeinwärts ein. Senkrecht zu dieser Schichtung stehen deutlich ausgebildete Klüfte, die mit ca. 60° nach Osten einfallen. Die Klüftung ist teilweise hangparallel ausgebildet und stellt wohl die für die Hangbewegung relevante Trennfläche dar. Die Steigbach-Schichten sind in diesem Bereich schlecht aufgeschlossen und nur unsicher von den Kojen-Schichten zu unterscheiden. Vermutlich ist die Grenze durch eine Verebnung bei ca. 840 m ü.NN gekennzeichnet. Weiter taleinwärts konnten auch vereinzelt Eisstausedimente gefunden werden.

Im gesamten von der Rutschmasse betroffenen Bereich wurden bereits bei früheren Kartierungen Hinweise auf alte, reliktsche Hangbewegungen gefunden. So wiesen große, aus dem Gebirgsverband gelöste Nagelfluhböcke darauf hin, dass zum einen Sturzereignisse aus den oberen Nagelfluhwänden in der Vergangenheit stattgefunden haben, zum anderen die Nagelfluhböcke wohl auf weicher Unterlage aus ihrer ursprünglichen Lage abrutschten. Ebenso war die unruhige Morphologie Anzeichen für geringe latente Kriechbewegung im Untergrund.

ZEITLICHE ENTWICKLUNG DER HANGBEWEGUNG

Im September 2005 kam es vermutlich in Folge der starken Niederschläge vom August 2005 zu ersten Anzeichen verstärkter Bewegungen im Hangbereich zwischen 940 m ü.NN und 960 m ü.NN (Abb.1). Nach Aussage des städtischen Forstamtes Immenstadt traten zu dieser Zeit



Abb. 1: Photo September 2005. Hornweg Richtung Süden bei ca. 950 m ü.NN. Die Pfeile markieren einen Anbruchbereich mit Rissbildungen. (Photo Forstamt Immenstadt)

Fig. 1: Photo September 2005. South of Hornweg at 950 m a.s.l. The red arrows are marking the detachment and cracking zone (Photo Forstamt Immenstadt)



Abb. 2: Photo 17.03.2006. Der Pfeil deutet auf den Anbruchbereich

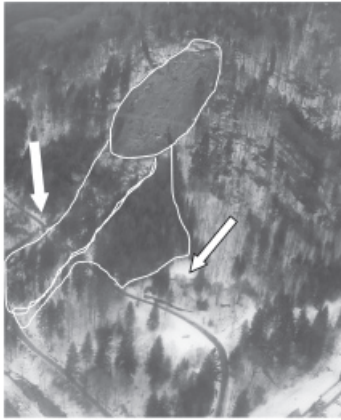
Fig. 1: Photo 17.03.2006. The arrow marks the detachment zone

erste hangparallele Risse auf. Für die darauf folgenden Herbst- und Wintermonate lagen keine Informationen über die Entwicklung der Risse vor. In der Nacht vom 14. auf den 15. März 2006 beschleunigten sich die Bewegungen dramatisch und es entstand ein ca. 50 m breiter Anbruch bei ca. 950 m ü.NN. Das teilweise grobblockige Material brach nach und nach aus, so dass sich der Anbruchbereich schrittweise hangaufwärts verlagerte. Aufgrund der übersteilten Morphologie unterhalb des Hauptanbruches erweiterte sich dieser auch nach unten.

Im Laufe des darauf folgenden Tages entstand durch die Bewegungen ein ca. 0,6 ha großer Anbruchbereich (Abb. 2). Das ausgebrochene und abgerutschte Lockermaterial kam im Bereich einer Verebnung bei 860 m ü.NN zum Stillstand. In den folgenden Stunden und Tagen nahmen die Bewegungen immer mehr zu. Am Morgen des 23.03.2006 nahm der weithin sichtbare Anbruchbereich dann eine Fläche von ca. 1 ha ein. Das in der Verebnung bei 850 m ü.NN zum Stillstand gekommene Rutsch- und Sturzmaterial erhöhte die Auflast auf den

Unterhang so sehr, dass sich zunächst der Hangbereich direkt unterhalb der Verebnung in Bewegung setzte. Es entstand eine Art „Schuttstrom“ (sekundäre Hangbewegung) der am Vormittag des 23.03.2006 den oberen Steigbachweg erreichte und diesen unpassierbar machte (Abb. 3; Pfeil). Bei weiteren Geländeuntersuchungen am 23.03.2006 konnten die Ausmaße der Rutschung genauer ermittelt werden. Zu diesem Zeitpunkt war der obere Forstweg bereits zerstört und wies eine deutliche talwärts gerichtete Auslenkung auf (Abb. 3; weißer Pfeil). Ebenso konnte erkannt werden, dass sich ca. 25 Höhenmeter oberhalb der Hauptanbruchkante

ein Riss befand, an dem sich ein Versatz von mehreren Metern gebildet hatte. Am 27.03.2006 erreichte der Schuttstrom, der sich in Folge der starken Auflast auf die Verebnung bei



850 m ü.NN bildete, den Steigbach. Dabei wurde auch der untere Steigbachweg zerstört und unpassierbar. An der Wildbachsperre, die sich am Talausgang des Steigbachtals befand, traten erste Risse auf. Erste Wulst- und Rissbildungen konnten auch nördlich des sekundären Schuttstromes oberhalb des Wasserbehälters erkannt werden. Hier entwickelte sich nach Norden hin eine immer größere Sekundärdrütschung, wobei die Aktivität bzw. die Bewegungsbeträge im unteren, südlichen Bereich (Abb. 3) im Laufe der Zeit abnahmen und im unteren, nördlichen Bereich immer mehr zunahm. Aufgrund der morphologischen Verhältnisse bildete sich im nördlichen Bereich der Verebnung ein zweiter Sekundärdrütschstrom. Die auftretenden Bewegungen verlagerten sich in Richtung Wasserbehälter (unterer Pfeil).

Abb. 3: Photo 24.03.2006. Zu sehen sind die Teilbereiche der Rutschung
Fig. 3: Photo 24.03.2006. The different parts of the landslide in different areas

Zum Zeitpunkt einer Befliegung am 05.05.2006 war ein Großteil des Baumbestandes bereits entfernt worden, so dass die Ausmaße der gesamten Rutschmasse gut zu erkennen waren (Abb. 4). Ebenso wie im Anbruchbereich erweiterte sich die Rutschmasse auch am Fuß der Hangbewegung, unterhalb des oberen Steigbachweges (Abb. 5).

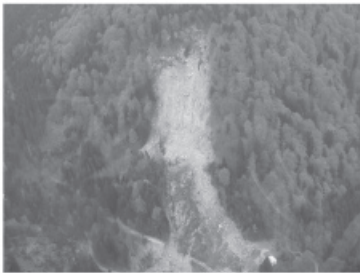


Abb. 4: Anbruchbereich der Hauptrutschung.
Fig. 4: Upper part of the primary landslide



Abb. 5: Unterer Bereich der Hangbewegung.
Fig. 5: Lower part of the landslide

ART UND AUSDEHNUNG DER HANGBEWEGUNG

Die Hangbewegung kann nach genauerer Betrachtung des Bewegungsmechanismus in zwei Teile untergliedert werden. Zum einen in eine primäre Felsrutschung, zum anderen in eine Sekundärhangbewegung, die ihrerseits weiter untergliedert werden kann.

Primärrutschung

Die obere Hauptanbruchkante der Primärrutschung liegt zwischen 940 m ü.NN und 960 m ü.NN. Hier bildete sich der weithin sichtbare Hauptanbruch, aus dem es nach wie vor zum Abgleiten von Lockermaterial und zum Abstürzen von teilweise bis zu mehreren Kubikmeter großen Blöcken kommt. Bereits am 24.03.2006 war oberhalb dieser Hauptanbruchkante ein weiterer deutlich ausgebildeter Riss zu erkennen, an dem sich ein Versatz von bis zu 10 m bildete. Es handelte sich um Nachbrücherscheinungen, die bis in eine Höhe von 975 m ü.NN reichten. Inzwischen ist auch dieser Absatz komplett abgeglitten. Die nördliche Begrenzung des Hauptanbruches ist deutlich ausgebildet und verläuft von 975 m ü.NN nach Osten bis zu einer Verebnung auf 850 m ü.NN. Eine südliche Begrenzung der Hauptanbruchnische ist von 940 m ü.NN Richtung Osten bis zu der Verebnung bei ca. 850 m ü.NN gut zu erkennen. Südlich dieser deutlichen Nische sind weitere Anzeichen für aktive Bewegungen zwischen 950 m ü.NN und 875 m ü.NN sichtbar. Der bereits weitgehend ausgeglittene Hauptanbruch ist durchschnittlich 75 m breit und nimmt eine Fläche von 19.500 m² ein. Bei einem durchschnittlichen, aus dem Geländeprofil abgeschätzten Tiefgang von 10 m kann das Volumen der bereits abgeglittenen Rutschmasse auf ca. 195.000 m³ geschätzt werden. Der noch nicht vollständig ausgeglittene aber stark bewegte Teil südlich der Hauptanbruchkante nimmt eine Fläche von knapp 9.000 m² ein. Die Kubatur dieses potentiell abgleitgefährdeten Bereiches beläuft sich bei einem durchschnittlichen Tiefgang von 10 m auf ca. 90.000 m³.

Sekundärrutschung

Die gesamte Rutschmasse, die aus dem Hauptanbruchbereich ausgebrochen und abgeglitten ist, kam im Bereich einer Verebnung zwischen 835 m ü.NN und 845 m ü.NN zum Stillstand. Durch diese Auflast wurde das Gelände unterhalb der Verebnung instabil. Auf einer Fläche von 21.500 m² entwickelte sich ein Rutschbereich, der in unterschiedliche Homogenitätsbereiche untergliedert werden konnte. Zuerst entstand eine ca. 50 m breite, schuttstromartige Rutschung, ausgehend von der Verebnung bis zum Steigbach. Im Bereich des oberen Steigbachweges verschälerte sich der Schuttstrom auf 35 m, um sich unterhalb des Weges fächerartig bis auf ca. 90 m zu verbreitern. Der Tiefgang des ersten Schuttstromes konnte auf bis zu 15 m geschätzt werden. Zu einem späteren Zeitpunkt setzte sich der gesamte Bereich zwischen dem Schuttstrom und dem Wasserbehälter (Abb. 3) in Bewegung. Gleichzeitig entstand ein zweiter Schuttstrom, der sich ausgehend vom nördlichen Teil der Verebnung in einem leichten Bogen in Richtung Wasserbehälter bewegte. Vor allem im unteren Bereich des zweiten Schuttstromes war der Tiefgang nicht größer als 2 m. Hier wurde das Gelände von den aus der Verebnung zäh abfließenden Rutschmassen „überwulstet“. Hinweise für diese Aussage waren, dass im Bereich des ersten Schuttstromes der obere Steigbachweg nicht nur überschoben wurde, sondern entlang einer tiefgründigen Gleitbahn komplett abgeglitten war. Im Bereich des zweiten Schuttstromes wurde sowohl der Wasserbehälter als auch die Betonmauer am oberen Steigbachweg überschoben, jedoch nicht versetzt oder gar zerstört. Bei einem geschätzten durchschnittlichen Tiefgang der Sekundärbewegungen von ca. 8 m errechnete sich eine Gesamtkubatur der bewegten Masse von ca. 170.000 m³.

Sowohl an der nördlichen als auch an der südlichen Seite der Verebnung bildeten sich zu Beginn der Rutschbewegungen jeweils ein kleinerer Schlammstrom, die sich seitlich an der Hauptanbruchmasse vorbei talwärts bewegten. Gespeist wurden die Schlammströme von dem breiigen Material, das sich in der Verebnung angesammelt hatte. Folgende Zusammenstellung gibt eine Übersicht über die Dimensionen der Hangbewegung:

Tab. 1: Überblick über Kubatur und Ausmaß der Rutschmassen
Tab. 1: Overview about the cubature and the size of the landslide

	Fläche	Kubatur
Von der Rutschmasse betroffenes Gebiet	52.000 m ²	400.000 m ³
Primärrutschung gesamt (oberer Bereich)	28.000 m ²	280.000 m ³
Hauptanbruch (weitgehend abgerutscht)	19.500 m ²	195.000 m ³
Potentiell nachsturzgefährdet gesamt	8.800 m ²	50.000 m ³ - 100.000 m ³
Sekundärrutschung gesamt (unterer Bereich mit Materialanteil aus der Primärrutschung)	21.500 m ²	170.000 m ³

KARTENGRUNDLAGEN ZUR INGENIEURGEOLOGISCH-MORPHOLOGISCHEN KARTIERUNG

Die ingenieurgeologisch-morphologische Spezialkarte wurde im Zuge von mehreren Geländebegehungen erstellt. Als Kartiergrundlage konnte die topographische Karte 1:25.000

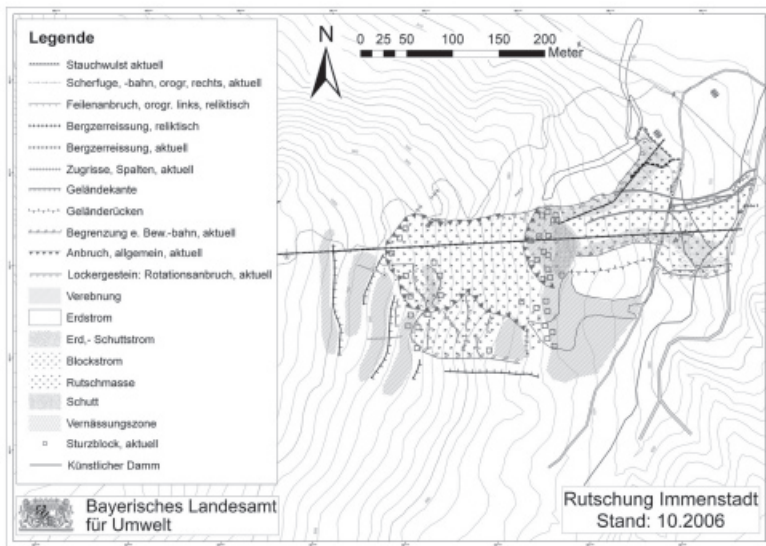


Abb. 6: Geotechnisch- geomorphologische Karte
Fig. 6: Geotechnical, geomorphologic map

nicht verwendet werden, da diese zu ungenau ist. Im Zuge des EU-Projektes „Gefahrenhinweiskarten Oberallgäu“ war für den gesamten Alpenanteil des Landkreises Oberallgäu ein digitales Geländemodell (Rasterweite 10 m) erstellt worden. Auf der Basis dieses Modells konnte eine neue, genauere topographische Karte erstellt werden, die als Kartiergrundlage verwendet wurde. Sämtliche Ergebnisse der Kartierung wurden vektorisiert, liegen somit digital vor und konnten ständig aktualisiert werden. Da die Hangbewegung immer noch aktiv

ist und ständigen Veränderungen unterliegt, muss berücksichtigt werden, dass die vorliegende Karte und das Profil dem Stand vom Oktober 2006 entspricht.

Profil Rutschung Immenstadt

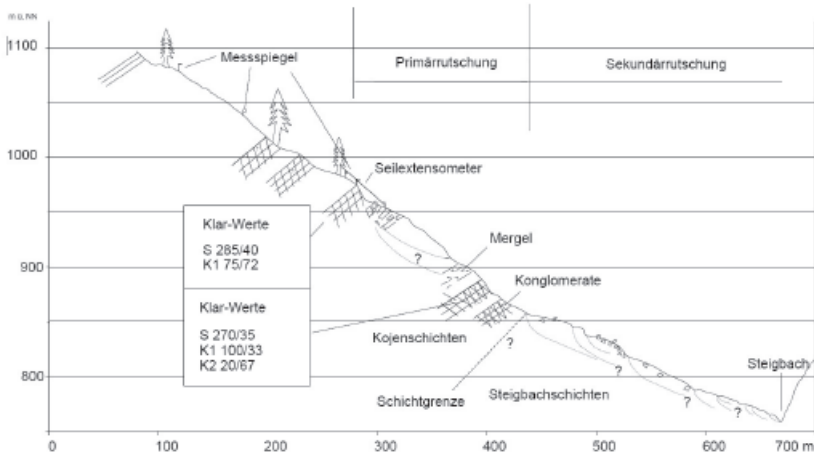


Abb. 7: Geotechnisch- geomorphologisches Profil
Fig. 7: Geotechnical, geomorphologic cross-section



Abb. 8: Überblick über die gesamte Rutschung. Unterhalb der Verebnung ist die Ableitrinne zu erkennen
Fig. 8: Overview of the whole landslide. Under the plain the drain channel can be seen

GEFÄHRDUNGSSITUATION

Das Gelände, das direkt von der Hangbewegung betroffen ist, war ursprünglich bewaldet. Es handelte sich um Schutzwald zum Schutz vor Steinschlag und Lawinen, der jetzt weitgehend zerstört ist.

Eine wesentliche Gefahr, die von der Rutschung ausging, bestand in einem Aufstau des Steigbaches. Bei der Ausdehnung der Rutschmasse bis in das Bachbett konnte eine Dammbildung und ein Aufstau des Baches nicht ausgeschlossen werden. Bei einem Dambruch hätte sich in Folge eine Mure und/oder eine Flutwelle bilden können, die ohne weiteres bis in das Stadtgebiet von Immenstadt vordringen und dort erhebliche Schäden hätte anrichten können. Alle Sofortmassnahmen mussten dieser Gefahr Rechnung tragen.

Ein weiteres hohes Gefahrenpotential bestand darin, dass ein zweiter Schuttstrom den Wasserhochbehälter bedrohte, der schon mehrmals frei geräumt werden musste. Der Hochbehälter ist Teil der Hauptwasserversorgung von Immenstadt. Die Sofortmaßnahmen umfassten deshalb auch die Sicherstellung der Wasserversorgung der Stadt und damit den Schutz des Hochbehälters. Erschwerend kam hinzu, dass die Stadt Immenstadt einen erheblichen Anteil ihres Trinkwassers aus eigenen Quellen im Steigbachtal bezieht. Die Wasserleitungen aus dem Steigbachtal wurden alle zerstört. Seitens der Stadt bestand deshalb ein hohes Interesse, die Quellen wieder nutzen zu können.

Eine weitere Gefährdung ergab sich für den oberen und unteren Steigbachweg. Da beide Wege durch die Rutschung zerstört wurden, war für Fahrzeuge der Zugang zum gesamten Steigbachtal nicht mehr möglich. Die Zufahrt zu dauerbewohnten Häusern sowie die Bewirtschaftung der Alm- und Waldflächen waren somit unterbrochen. Ebenso waren damit die Rettungswege für Almhütten mit Übernachtungsbetrieb versperrt.

WILDBACHGEFÄHRDUNG UND SCHUTZMAßNAHMEN

Wildbachgefährdung

Aufgrund der hohen Aktivität der Rutschmassen nach intensiven Niederschlägen und der ständigen Vergrößerung des bewegten Gebietes, musste mit erheblichen Geschiebeeinstößen in den Steigbach insbesondere bei Hochwasserführung gerechnet werden.

Die vorhandenen Verbauungen im Steigbach zwischen Rutschungsfuß und Siedlungsraum reichten nicht aus, um größere Wildbachereignisse zu beherrschen, da eine Konsolidierungssperre bereits im April 2006 durch die vorstoßenden Rutschmassen zerstört wurde. Aus diesen Gründen mussten zum Schutz von Immenstadt wildbachtechnische Maßnahmen getroffen werden.

Durchgeführte wildbachtechnische Maßnahmen

Am Rutschungsfuß wurde eine Konsolidierungssperre im Steigbach errichtet. Durch diese findet eine Hebung der Bachsole im Bereich des Rutschungsfußes statt, was eine stabilisierende Wirkung auf die Rutschmasse haben wird. Schadbringende Auswirkungen von Wildbachprozessen und Erosion des Hangfußes werden so weitgehend unterbunden. Ein größerer Wasseraufstau hinter abgelagerten Rutschmassen ist durch das oberstrom steiler werdende Gefälle nicht zu befürchten. Weiter unterhalb wurde eine Schlitzsperre errichtet, die die Stadt vor einem Murstoß schützen soll und trotzdem einen dosierten Geschiebetrieb im Unterlauf gewährleistet. Um den unteren Teil der Rutschmasse zu stabilisieren und einer zukünftigen Reaktivierung der Rutschmasse entgegenzuwirken, wurden auch bis zu 5 m tiefe und 4 m breite so genannte



Abb. 9: Blick von Süden nach Norden auf die Schlitzsperre, die südlich von Immenstadt erbaut wurde
Fig. 9: Photo in view of the open debris retention dam in the south of Immenstadt

Sickerstützscheiben und Rigolen senkrecht und quer zum Hang im Bereich zwischen oberem und unterem Steigbachweg eingebaut. So konnte auch frühzeitig ein provisorischer Zugang zum Steigbachtal wieder hergestellt werden.

Situation und Maßnahmen zur Sicherung des Wasserbehälters

An der Nordseite der unteren Sekundärrutschung wurde zwischen 790 m ü.NN und 930 m ü.NN ein Ableitdamm errichtet, der das Rutschmaterial, das sich aus der Verebnung bei 840 m ü.NN Richtung Wasserbehälter bewegte, nach Osten hin ableiten sollte. Nach starken Niederschlägen kam es vom 28.05.2006 auf den 29.05.2006 zu einer erheblichen Beschleunigung der Rutschmasse. Die Bewegungen an der oberen Hauptabbruchkante stiegen von ca. 7 cm/Tag auf etwa 30 cm/Tag und am 31.05.2006 auf 44 cm/Tag an.

Im unteren Bereich beschleunigte sich auch der Schuttstrom in Richtung Wasserbehälter. Der Damm, der den Schuttstrom nach Osten hin ablenken sollte, wurde im oberen, westlichen Teil komplett mitgerissen. Das Material rutschte auf den Wasserbehälter. Um den Wasserbehälter zu entlasten, wurde das Material mit Baggern abgetragen und in die Verebnung unterhalb des oberen Steigbachweges geschoben.

Nach einer Abwägung der Möglichkeiten und einer Beurteilung der aktuellen Situation wurde der Ableitdamm wieder aufgebaut und zusätzlich eine tiefe Rinne geschaffen, über die das breite Material aus der Verebnung schadlos bis in den Steigbach abfließen konnte. Dies verhinderte eine ständige Durchfeuchtung der Sekundärrutschung und führte letztendlich zum Abklingen der Bewegungen im Frühjahr 2007.

Situation und Maßnahmen zur Sicherung der Zufahrt zum Steigbachtal

Durch die vorangegangenen Drainagemaßnahmen und den Einbau der Sickerstützscheiben wurde der Fußbereich der Rutschung stabilisiert. Der obere Steigbachweg konnte wieder hergestellt werden, wobei die Gründung der Berme, auf der der Weg verläuft, in ca. 10 m Tiefe auf stabilem Gestein unterhalb der Rutschmassen erfolgte. Der Tiefgang der Rutschmassen wurde in diesem Bereich mit Schürfgruben nachgewiesen und zu einem späteren Zeitpunkt mit geophysikalischen Untersuchungen bestätigt. Der untere Steigbachweg, der von Beginn an als provisorischer Zugang zum Steigbachtal diente, konnte ohne weitere konstruktive Maßnahmen wieder hergestellt werden. Die Ableitrinne über die das breite Material aus der Verebnung ins Tal geführt wurde besteht weiter und wird im Bereich der Wege mit jeweils einer Brückenkonstruktion überwunden. Bei Bedarf können diese Brücken schnell abgebaut werden um ein Aufstauen der Rutschmassen zu verhindern.

ÜBERWACHUNG UND BEWEGUNGSMESSUNGEN

Geodätische Überwachung

Da nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich das Gelände oberhalb der Rutschung ebenfalls in Bewegung setzt, wurde ein Messnetz zur Überwachung angelegt. Die Lage der Messpunkte kann der Karte entnommen werden. Eine Aktivierung dieses Bereiches hätte weit reichende Folgen bezüglich zukünftiger Planungen und muss deshalb rechtzeitig erkannt werden. Ebenso wird die Betonmauer östlich des Wasserhochbehälters messtechnisch überwacht. Das Messprotokoll und die Auswertung der Bewegungsmessungen werden den entsprechenden Stellen regelmäßig zugesandt. Am 10.05.2007 wurden die Messpunkte ein weiteres Mal eingemessen. Da zwischen Messspiegel 3 und 4 ca. 10 cm Horizontal- und 8,5 cm Vertikalbewegung stattfanden, wurden vom LfU Seilextensometer installiert (Lage der Extensometer Abb. 6), von denen eines mit einem Datensammler versehen wurde.



Abb. 10: Blick auf den Standpunkt, von dem aus die geodätischen Messpunkte oberhalb des Hauptanbruchs gemessen werden.

Fig. 10: Photo in view of the fix point from where the measure points above the main scarp are controlled

Seilextensometer

An zwei Extensometern werden im 2-Stundentakt Messwerte aufgenommen werden. So ist es möglich, Aufschluss über die Bewegungen im zeitlichen Ablauf zu bekommen. Ebenso können u.U. einsetzende Bewegungen mit externen Faktoren wie Niederschlag korreliert werden. Am Messspiegel 3 wurde auch ein hangaufwärts gerichtetes Seilextensometer eingerichtet, mit dem evtl. auftretende Bewegungen dieses Punktes registriert werden könnten.



Im südlichen Bereich oberhalb der offensichtlichen Anbruchkante sind deutliche Anzeichen für Bewegungen zu erkennen. Die hier befindlichen Gesteinsmassen sind potentiell abrutschgefährdet. Aufgrund der dichten Vegetation konnte in diesem Bereich kein Messspiegel installiert werden. Um auch hier Aufschluss über die Bewegungsraten zu erhalten, wurden zwei weitere Seilextensome-

Abb. 11: Blick auf die Seilextensometer mit automatische Messwerterfassung über Wegaufnehmer und Datensammler

Fig. 11: Photo in view of the robe extensometers with automatically measure logging with sensors and data logger

ter installiert. Alle bisherigen Messungen ergaben, dass sich der Hauptanbruch hangaufwärts ausdehnt (Nachbrucherscheinungen). Bisher konnten keine Hinweise für eine großflächige Aktivierung der Hangbereiche oberhalb der Rutschung gefunden werden.

AUSBLICK

Nach derzeitigem Kenntnisstand aus den bisher erfolgten Geländeaufnahmen kommt es nach lang anhaltenden Niederschlägen zu erheblichen Wasserausstritten im Bereich der Anbruchfläche der Hauptrutschung. Die Quellaustritte sind an wasserstauende Mergellagen gebunden, an denen das sich in den klüftigen Konglomeraten und Sandsteinen ansammelnde Bergwasser aufstaut. Es konnte immer wieder beobachtet werden, dass das aus dem Hang austretende Wasser die weichen, verwitterungs- und rutschanfälligen Mergellagen (bis zu mehrere Meter mächtig) stark durchfeuchtet und destabilisiert. Die darüber lagernden Sandstein- und Konglomeratbänke verlieren dabei ihr stabiles Unterlager und kippen entlang von Klüften aus dem Hang. Eine Entwässerung der wasserführenden Konglomerat- und Sandsteinbänke könnte diesen immer noch stattfindenden Mechanismus unterbrechen und zu einer dauerhaften Stabilisierung des oberen Hangbereiches führen. Hierfür müssen allerdings noch detaillierte hydrologische Voruntersuchungen im Rutschgebiet sowie in der näheren Umgebung des Rutschgebietes erfolgen. Erst wenn die hydrologischen Verhältnisse im Bereich der Rutschung besser geklärt sind, kann ermittelt werden, ob eine Entwässerungsbohrung zielführend ist und wo unter Umständen eine solche Richtbohrung optimiert angesetzt werden kann.

Im Gegensatz zum unteren Bereich der Sekundärrutschung, die durch die oben beschriebenen technischen Maßnahmen weitgehend stabilisiert werden konnte, ist die Aktivität im oberen, südlichen Bereich der Rutschung nach wie vor sehr hoch. Dies konnte mit Hilfe der geodätischen Messungen nachgewiesen werden. Die Rutschmassen in diesem Bereich sind noch nicht ganz ausgeglichen. Es muss aber damit gerechnet werden, dass diese im Laufe der Zeit abgleiten und sich zusätzlich zu den bereits vorhandenen Rutschablagerungen in einer Verebnung oberhalb des oberen Steigbachweges (südlich des bewaldeten, weitgehend stabilen Sporns) ablagern. In dieser Verebnung konnten bisher noch keine Hinweise auf Aktivität gefunden werden. Geophysikalische Untersuchungen haben ergeben, dass hier ähnliche Untergrundverhältnisse zu erwarten sind, wie in der Verebnung nördlich des stabilen Sporns, in dem sich die große Sekundärrutschung entwickelt hat. Bei weiterer Auflast durch abgleitende Rutschmassen und bei weiterer Durchfeuchtung der bisher stabilen Verebnung könnte, ähnlich wie im nördlichen Bereich, die Verebnung destabilisiert werden. Dies hätte voraussichtlich einen erheblichen Geschiebeeintrag in den Steigbach zur Folge, der zum Aufstau des Wildbaches führen könnte. Ebenso müsste damit gerechnet werden, dass der obere und untere Steigbachweg wieder zerstört werden würde. Um einer Destabilisierung des Bereiches rechtzeitig entgegenwirken zu können, wird deshalb daran gedacht, 3 Kernbohrungen abzuteufen und mit Inklinometerrohren zu versehen. Mit Hilfe von Inklinometermessungen würden auftretende Bewegungen rechtzeitig erkannt werden. Für die Realisierung dann anfallender Stabilisierungsmaßnahmen gäben die aus den Kernbohrungen gewonnenen Bohrkern wichtige Informationen über den genauen Aufbau des Untergrundes.

ROCKFALL RATING SYSTEMS:

IS THERE A COMPREHENSIVE METHOD FOR HAZARD ZONING IN POPULATED AREAS?

STEINSCHLAG-KLASSIFIZIERUNGSSYSTEME:

GIBT ES EINE FÜR DIE GEFAHRENZONENPLANUNG GEEIGNETE METHODE?

Michael Mölk¹, Rainer Poisel², Julia Weilbold² & Hans Angerer¹

ABSTRACT

Due to the increasing pressure of spreading residential areas in the sparse space for permanent settlements in alpine regions and due to the limited capacities for hazard zoning, a further development of appropriate tools evaluating rock fall risk is discussed. Most existing rock fall rating systems focus on the evaluation of rock fall risk being relevant for linear structures such as railways, roads or pipelines where often good data regarding the rock fall frequency is available. For land use planning and rather young settlements such data is very often not existent and therefore the evaluation of risk has to be based on a frequency estimation. Such data can be derived from an assessment of the rock faces present on the slope and/or the subsequent accumulations of blocks on the slope. This procedure prescribes state of the art evaluations for land use planning, hazard zoning and design of mitigation measures.

Keywords: Rock fall, hazard zoning, rock fall rating system

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ausbreitung von Siedlungsgebieten im alpinen Raum sowie die beschränkten Mittel für die Zonenplanung machten die Entwicklung geeigneter Hilfsmittel für die Bestimmung des Steinschlagrisikos notwendig. Die meisten existierenden Klassifizierungssysteme von Steinschlaggefahren wurden für Eisenbahnlagen, Strassen und Pipelines entwickelt. Für diese Einrichtungen gibt es meist ausreichend genaue Aufzeichnungen über Steinschlagereignisse. Für die Flächenwidmung und junge Siedlungen stehen solche Daten meist nicht zur Verfügung. Daher muss die Risikobeurteilung auf einer Abschätzung der Steinschlaghäufigkeit aufbauen, die von einer Beurteilung der Felsaufschlüsse und/oder der darunter liegenden Blockhalden abgeleitet werden kann. Mit dieser Vorgangsweise werden dem Stand der Technik entsprechende Untersuchungen für die Flächenwidmung, Gefahrenzonen- und Maßnahmenplanung eingeführt.

Keywords: Steinschlag, Gefahrenzonenplanung, Steinschlag-Bewertungs-System

¹ Forsttechnischer Dienst für WLW, Geologische Stelle, Liebeneggstr. 11, A-6020 Innsbruck, Österreich (Tel: +43/(0)512/584200-38, Fax: +43/(0)512/584200-44, email: michael.moelk@die-wildbach.at)

² Institute for Engineering Geology, Vienna University of Technology, Karlsplatz 13/203, A-1040 Vienna, Austria (Tel: +43-(0)1- 58801-20301, Fax: +43-(0)1- 58801-20399, email: Rainer.Poisel@tuwien.ac.at)

INTRODUCTION

Rock-fall hazards in alpine regions pose a significant threat to settlements and infrastructure. The current code of practice for the assessment of rock-fall hazards in the hazard zoning of the “Torrent and Avalanche Control Austria” as a public service determines potential run-out zones of rock-falls as an indication zone. Therefore these zones are not determined mandatory and incorporate neither detailed assessment of the potential detachment zone nor a comprehensive evaluation of the rock-fall-process itself.

Due to the increasing pressure of spreading residential areas in the sparse space for permanent settlements in alpine regions, a further development of appropriate evaluation tools is discussed. Due to the extended area that is subject to hazard zoning, a complete evaluation of all the potential rock-fall detachment areas including state of the art rock fall simulations (such as trajectory models, 3-D-modelling etc.) is not feasible with the resources at hand at the service of the “Torrent and Avalanche Control Austria”.

Nevertheless the establishment of a standard (best practice) is considered to be important to provide the authorities involved in the land-use planning with specifications for additional investigations to be prescribed.



Fig. 1: Rock fall event in 1998 destroying a building in Zillertal, Tyrol, Austria

Abb. 1.: Steinschlagereignis, das 1998 ein Gebäude im Zillertal, Tirol, Österreich zerstörte

Most existing rock fall rating systems focus on the evaluation of rock fall risk being relevant for linear structures such as railways, roads or pipelines where often good data regarding the rock fall frequency is available (Hungar O. et al. 2003). For land use planning and rather young settlements such data is very often not existent and therefore the evaluation of risk has to be based on a frequency estimation derived from an assessment of the rock faces present on the slope and/or the subsequent accumulations of blocks on the slope. This leads to the necessity to develop a rating system that takes this situation into account. With such a rating system a tool could be provided to evaluate the endangerment of settlements or infrastructure due to potential rock fall events even without a significant history in such events. With this

procedure state of the art methods can be established for land use planning, hazard zoning and planning of mitigation measures (Wong H. N. 2007).

The proposed approach aims to an evaluation of existing rock-fall rating systems and their adoption to a comprehensive tool to provide concise information for

- hazard-zoning,
- land-use planning,
- investment decisions regarding risk mitigation measures and
- the assessment of the necessity of further evaluations in case of detected threads.

WHY NOT USE AN EXISTING RATING SYSTEM

For tunnelling, foundations and rock slopes numerous rating systems evaluating the stability are existing. (Bieniawski Z. T. 1988, Barton N. et al. 1974). These systems are designed to quantify necessary support measures in order to maintain the stability of the designed structures. But they do not quantify potential damage and occurrence probability of rock fall events.

Regarding rock fall existing rating systems evaluate hazard or risk for linear infrastructures such as railways, motorways, pipelines etc. (e. g. Pierson L. A. et al. 1990, Wyllie D. et al. 2004, Hungr O. et al. 2003, Pritchard M. et al. 2005...). These systems refer to e. g. sight distance, roadway width and average vehicle risk rather than to the quality of the land use which influences the damage potential of inhabited areas and settlements significantly. Therefore a particular rating system was developed to be applied for rock fall hazard zoning in inhabited areas.

ROCK FALL RISK RATING SYSTEM FOR SETTLEMENTS (R³S²)

Due to the significantly higher risk caused by rock fall detachment areas above settlements compared to linear infrastructures a distinct approach was chosen. The discussed method takes into account the higher probability of fatalities in permanently inhabited areas.

The rating results help to:

- plan the land use (hazard zoning)
- priorities the areas to be protected
- control financial means for the realisation of mitigation measures

Parameters influencing the rock fall risk

Due to the similarity of the task of identifying risks caused by rock fall several parameters where chosen identically to Pierson L.A. et al. (1990) and to Wyllie D. & Mah C. W. (2005), p281:

- Loosening of rock: described by the width of the joints present in the relevant outcrop.
- Joint strength: is described by the roughness and filling of joints. Each potential detachment area has to be evaluated with respect to its detachment mechanism. The relevant parameter(s) are to be considered for choosing the score (Table 1, e. g. joint strength, rock strength)
- Joints orientation: joint orientation relative to the slope and to each other. Favourable means that the joint orientation does not favour detachments
- Joint continuity: relation between length of joint completely cut through and total length of the joint trace.

- Vertical slope height: Vertical height of the slope measured from the highest point of each particular rock fall source from which rock fall is expected down to the foot of the slope
- Climate and water: existence of water on the slope and probability of freeze-thaw cycles contribute to probability of occurrence of rock falls
- Block size: volume of block most likely to fall derived from scree slope and/or rock fall source
- Roughness and damping characteristics of pathway: influence energy transformation and therefore run out distance
- Proof of historical events: historical events are a proof for rock fall taking place at all and give a good indication of run out distances
- Quality of land use: influences potential damage and number of fatalities possible (Nawar G. & Salter R. 1993)

Risk rating system

The rock fall areas identified are ranked by scoring the parameters as shown in Table 1.

Tab. 1: Rating criteria and score

Tab. 1: Klassifizierungskriterien und Punkteschema

	Parameter	3 Points	9 Points	27 Points	81 Points
Source area	1 Loosening of rock	joints closed	joint width mm	joint width cm	joint width dm
	2 Joint strength	rough joints	undulated joint-planes	planar joints	slickensides, joint gauge
	3 Joint discontinuity and orientation	discontinuous joints, favourable orientation	discontinuous joints, random orientation	discontinuous joints, adverse orientation	continuous joints, adverse orientation
Pathway (transition + immission zone)	4 Vertical slope-height [m]	<100	100-300	300-500	>500
	5 Climate and water	aspect of slope=north, no water present on slope	slope tends to be dry	water present on slope	aspect of slope=south, permanent water leakage
	6 Block size [m³] d ₉₀	< 1	1 - 5	5 - 10	> 10
	7 Pathway: roughness+damping	high roughness, good damping	rough, forested slope, good to mean damping (i. e. scree slope)	little vegetation, smooth, mean to poor damping	no vegetation, poor damping (rocky surface)
	8 Proof of historical events	no events reported, no silent witnesses	silent witnesses no events reported	1 event/10 years	>1 event/10 years
	9 Quality of landuse	agriculture	periodically used buildings	periodically inhabited buildings	permanently inhabited buildings

In order to achieve a risk based evaluation of the land use prone to rock fall, the sum of the scores of the parameters influencing the probability of rock fall and the sum of the scores of the parameters influencing the damage are multiplied (Wyllie D. 2006). The parameters pathway roughness and damping influence both, probability and damage. It is therefore proposed to count vertical slope height, block size, pathway roughness and damping as well as quality of land use to the group of damage influencing parameters and loosening of rock, joint strength, , joint discontinuity and orientation (Wyllie D. C. et al. 2004, Mölk M. 2000, Poisel R. et al. 2004), climate/water and pathway roughness and damping to the group of probability influencing parameters (table 2).

Tab. 2: Calculation of relative risk (example of worst case)

Tab. 2: Berechnung des relativen Risikos (Beispiel mit schlechtestem denkbaren Fall)

		Parameter	Influences	Sum scores damage	Sum scores Frequency/Probability
Source area	1	Loosening of rock	Frequency/Probability		81
	2	Joint strength	Frequency/Probability		81
	3	Joint discontinuity and orientation	Frequency/Probability		81
Pathway (transition + immission zone)	4	Vertical slope-height [m]	Damage	81	
	5	Climate and water	Frequency/Probability		81
	6	Block size [m ³] d ₉₀	Damage	81	
	7	Pathway: roughness+damping	Damage + Frequency/Probability	81	81
	8	Proof of historical events	Frequency/Probability		81
	9	Quality of landuse	Damage	81	
				324	486
				'Risiko = 157.464	

PROCEDURE OF ROCK FALL HAZARD ZONING AFTER R³S² (ROCK FALL RISK RATING SYSTEM FOR SETTLEMENTS)

Rock fall hazard zoning should proceed in the following way (Figure 2):

Step 1: Surveillance by aerial photographs, DTMs – identification of scree-slopes and location of detachment areas

Step 2: Investigation of rock fall history (chronicle, interviews)

Step 3: field investigation:

- Identification of outcrops/source area
- Measurement of shadow angle of 26° (as proposed by Wyllie D. 2006, p 26) below the horizontal from the crest of the talus slope of each source area (Figure 3).

Step 4: If land use as defined in Table 1 lies within the pathway bordered by the shadow angle, the rating system has to be applied.

According to “frequency/consequence”-diagrams (e. g. Hungr O. 2006, IMO 2001) risk levels for hazard zoning of rock fall are proposed as shown in Figure 4.

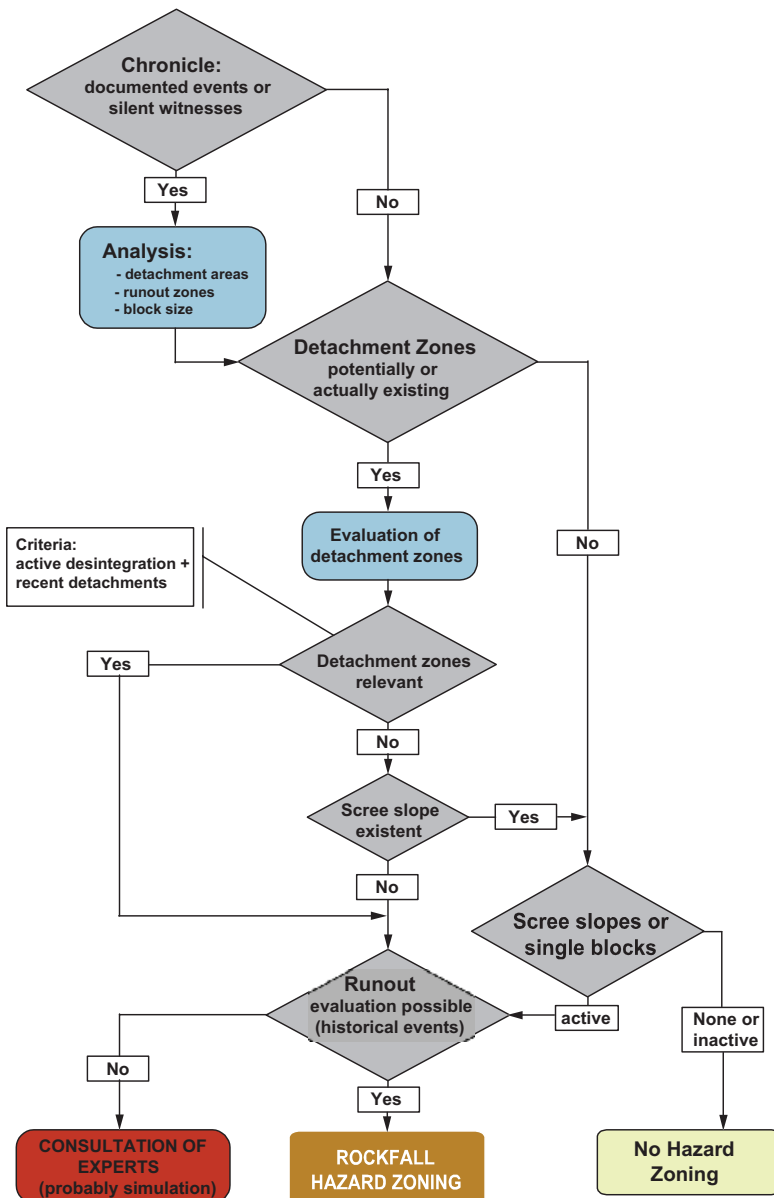


Fig. 2: Draft of a flowchart for a standard procedure in hazard mapping of rock fall processes
 Abb. 2: Entwurf eines Flussdiagramms für den Ablauf der Beurteilung von Steinschlaggefährdungen bei der Gefahrenzonenplanung

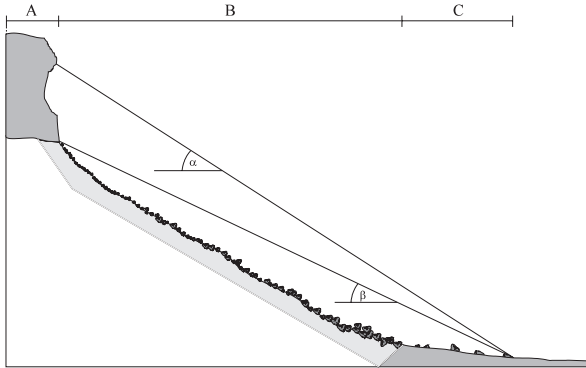


Fig. 3: Geometrical slope angle α and rock fall shadow angle β after Meißl G. (1997)

Abb. 3: Geometrisches Gefälle α und Schattenwinkel β n. Meißl G. (1997)

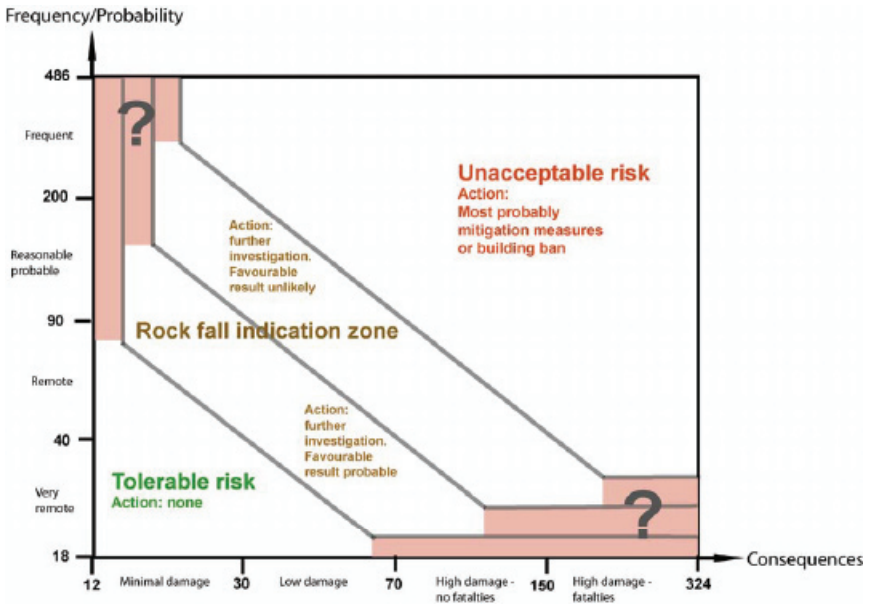


Fig. 4: Frequency/Consequence-diagram

Abb. 4: Wahrscheinlichkeit/Schaden-Diagramm

The application R^3S^2 for inhabited areas having been identified as potentially endangered by rock fall leads to a specific value for each inhabited area. This value represents a semi-quantitative risk for each area. The risk in areas with very remote frequency (probability) and minimal consequences is tolerable (Nielsen N. M. 1994). Areas with a risk higher than tolerable (figure 2) are to be indicated in a plan as “rock fall indication zone”.

In case of planned construction activity in areas with a risk higher than tolerable (figure 2) more exact investigations such as more detailed mapping, rock fall modelling, etc. (Mölk M. 2002) are necessary in order to find out the actual hazard. It is likely that more exact investigations show a tolerable risk in areas with remote frequency and low consequences. In areas with high risk a building ban is recommended strongly.

FIRST EXPERIENCES AND RESULTS WITH THE RATING SYSTEM

The above described rating system was applied in the rock fall prone community of Ischgl in Tyrol, Austria. The community is situated in a narrow alpine valley with steep slopes and mostly intensive touristic land use – where avalanche and torrent risk allowed development. Due to rock fall events in the last 10 years, mostly with minor damages, a comprehensive study was executed. The study aims to a reproducible evaluation of the rock fall risk for the different settlements being part of the community of Ischgl. Besides a determination of the existence of a rock fall hazard a risk based rating was considered appropriate to produce priorities for the execution of further detailed investigation and consequently the realisation of mitigation measures. Furthermore a classification of the yet undeveloped area of the community was achieved to provide information for a sustainable land use planning.

In the following the rock fall risk rating system is demonstrated at four different examples. Three examples are real detachment areas with settlements being situated at the foot of the slope, one example is theoretical to demonstrate a case where the parameters of detachment, pathway and land use are likely to produce a tolerable risk.



Fig. 5: Overview of investigated area Versahl (B+C) with potential detachment zones and pathway
Abb. 5 Überblick über untersuchten Bereich Versahl (B+C) mit potentiellen Ablösebereichen und Sturzbahn

The detachment zones of the three evaluated areas were investigated in respect of their parameters defining the probability of the detachment of rocks such as loosening of rock, joint strength, joint discontinuity. For example the detachment area B (compare Figure 6) is characterized by joint width of centimetres, rather planar surfaces of the joints and an adverse orientation of these joints. The open joints provide a loose rock mass, planar joints provide a low friction angle when forming gliding planes, which is probable because of the unfavourable orientation of the joints. Below the mostly vertical cliff shown in Figure 6 a steep rocky ramp follows leading to a rough and sparsely vegetated scree slope. Down slope of the block dominated pathway follows a meadow leading to the populated area of the village of Versahl. The slope shows several rather fresh blocks, the block size (d_{90}) reaching 3-5 m³. A rock fall event was reported in march 1999 block sizes ranging from 1,5 to 9 m³, two blocks reached the upper part of the meadow. The scores resulting from the above described characteristics of the detachment, pathway and land use are presented in Table 3, columns *Versahl Area B*.

The rating of the Areas Versahl C and Unterschrofen were executed in analogy to the above described Versahl B.



Fig. 6: Detachment area of Versahl, Area B with orthogneises showing loose rock conditions, low joint strength and unfavourable joint orientation. As the relevant detachment mechanism gliding is considered.

Abb. 6: Ablösebereich Versahl Bereich B mit Orthogneisen mit geringer Verbandsfestigkeit, geringen Kluffestigkeiten und ungünstiger Klufforientierung. Als Ablösemechanismus wird Gleiten unterstellt.

Tab. 3: Rating criteria and score for the investigated areas

Tab. 3: Klassifizierungskriterien und Punktevergabe für die untersuchten Bereiche

Parameter	Versahl Area B		Versahl Area C		Unterschrofen		theoretical tolerable case	
	Damage	Frequency/Probability	Damage	Frequency/Probability	Damage	Frequency/Probability	Damage	Frequency/Probability
Loosening of rock		27		9		9		3
Joint strength		27		3		9		3
Joint discontinuity and orientation		27		9		9		3
Vertical slope-height [m]	9		27		9		9	
Climate and water		9		9		9		3
Block size [m ³] d ₉₀	9		3		3		3	
Pathway: roughness+damping	9	9	27	27	27	27	3	3
Proof of historical events		27		27		9		9
Quality of landuse	81		81		9		9	
Summary scores for damage and probability	108	126	138	84	48	72	24	24
Relative Risk	13.608		11.592		3.456		576	

The results of the rating of the test areas were plotted in the F/N diagram (Figure 7) designed for the evaluation of the results of the rating. The proposed four categories in Figure 4 and 7 allow for a classification of settlements at risk of being damaged by rock fall processes.

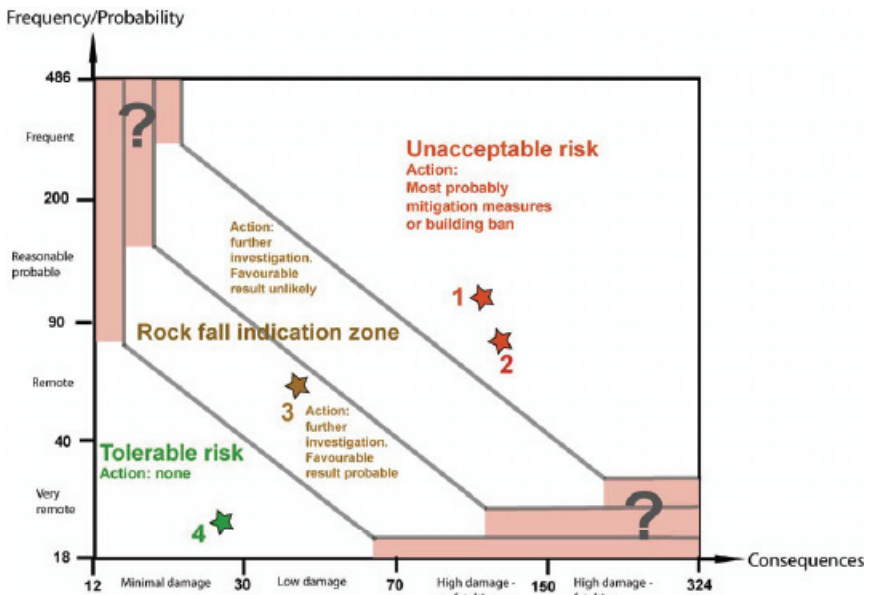


Fig. 7: F/N-Diagramm with four exemplary cases scored after Table 3 and plotted in Figure 4.

- 1: Versahl/Area B (permanently inhabited buildings) 2: Versahl/Area C (permanently inhabited buildings)
- 3: Unterschrofen (sewage treatment plant) 4: theoretical case at tolerable risk

Abb. 7: F/N-Diagramm mit vier Beispielen gemäß Tabelle 3

- 1: Versahl/Bereich B (ständig bewohnte Gebäude) 2: Versahl/Bereich C (ständig bewohnte Gebäude)
- 3: Unterschrofen (Kläranlage) 4: Theoretischer Fall mit tolerierbarem Risiko

The proposed categories for the classification (Figure 4 and 7) of the area at risk are:

1. Tolerable risk zone – no action foreseen (e. g. no brown rock fall hazard indication zone). Areas that fall in this category might have a rock fall risk but due to low frequency and/or low damage potential the resulting risk should be rated as acceptable and no further actions are to be taken.
2. Rock fall indication zone (brown rock fall hazard indication zone in Austria) – further investigation necessary, favourable results probable. Areas within this class do have a significant risk to be affected by rock fall, both, the frequency and the damage potential being moderate.
3. Rock fall indication zone (brown rock fall hazard indication zone in Austria) - further investigation necessary, favourable results unlikely. This class contains areas that show a rather high probability of rock fall events taking place and threatening a rather high quality of land-use.
4. Unacceptable risk – necessary action here would be the construction of mitigation measures to protect existing damage potential and further on enact a building ban to avoid further development in an area with high rock fall risk.

In case that a development of an area did not yet take place but is foreseen by land use planning committees, the damage potential should be rated in accordance to the planned quality of the land use. By this procedure a reproducible rock fall risk rating of potential future land development can be provided.

CONCLUSION

Systems such as the method described above are often used for risk rating of rock fall hazard zones at linear infrastructures (Hungar O. et al. 2003, Pierson L. A. et al. 1990). Thus a method is proposed for assessing the rock fall risk of settlements/inhabited areas.

The proposed method helps to identify developed areas subject to a non tolerable rock fall risk making mitigation measures necessary (Angerer et al. 1998, 174). Furthermore areas prone to an eventually tolerable rock fall risk can be found out making, however, further investigations necessary. Areas of equal risk can be connected to rock fall indication zones for land-use planning.

The method allows a hazard zoning of inhabited areas with rather little means (time and effort). However, the scores well document the features important for rock fall hazard. The system includes the assessment of the possible damage thus leading to a reproducible result giving a relative risk (Angerer A. et al. 1998).

The application of this method, however, makes field investigations necessary and cannot be done by remote sensing only. Due to the severe economical consequences (exclusion of further development of land, execution of mitigation measures – both after further, more detailed investigation triggered and located by the risk rating) the rating system can be applied only by rock fall experts. The assessment of the parameters influencing frequency and consequences requires detailed geological and geotechnical knowledge of rock fall processes.

LITERATUR

- Angerer H., Sönsler Th. & Spang R.M. (1998): Steinschlagrisiko und Investitionsentscheidung - Gibt es eine rationale Basis? - Felsbau 16/3, S. 168-176, Glückauf Verlag Essen.
- Barton, N., Lien, R. & Lunde, J. (1974): Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support. Rock Mechanics, Vol. 6/4, 189-236.
- Bieniawsky, Z.T. (1988): The Rock Mass Rating (RMR) System (Geomechanics Classification) in Engineering Practices. - Rock Classification Systems for Engineering Purposes, 17-34. Philadelphia, Pennsylvania: American Society for Testing and Materials.
- Evans S.G. & Hungr O. (1993): The assessment of rockfall hazard at the base of talus slopes. In: Canadian Geotechnical Journal 30, 620-636.
- Hungr O., Fletcher L., Jakob M., Mackay C., Evans S. G. (2003): A System of Rock Fall and Rock Slide Hazard Rating for a Railway - Geohazards 2003 Edmonton, Alberta, Canada.
- International Maritime Organisation (2001): Maritime safety committee. 74th session Agenda item 16 - MSC 74/16/1. 23 February 2001. Formal safety assessment Report of the Correspondence Group. Part 2: Draft Guidelines for FSA, 23.
- Meißl G. (1997): Modellierung der Reichweite von Felsstürzen – zum Einsatz eines GIS für die Gefahrenbeurteilung im regionalen Maßstab. – Diss. Inst. Geogr. Univ. Innsbruck.
- Mölk M. (2000): The Kreuzlau Rockfall - Methodical Approach for the Collection of Basic Data Aiming at the Evaluation of Rockfall Hazards and the Planning of Counter-Measures. – Felsbau 18 Nr. 1.
- Mölk M. (2002): Simulation of Rockfall Processes – Aspects of modern dimensioning tools for mitigation measures. – Proceedings of International Workshop on Rockfall Control Engineering, International Union of Forest Research Organisations, Research Group 8.04 Natural Disasters, Galtür.
- Nawar G. & Salter R. (1993): Probability of death and quantification of the value of life, 157 – 163 In: Melchers R. E. & Stewart M. G. (Eds.): Probabilistic Risk and Hazard Assessment, A. A. Balkema, Rotterdam/Brookfield.
- Nielsen N.M., Hartford D.N.D. & Macdonald (1994). Selection of tolerable risk criteria for dam safety decision making. Proc. 1994 Canadian Dam Safety Conference, Winnipeg, Manitoba. Vancouver: BiTech Publishers, 355-369.
- Pierson L.A., Davis S.A. & Van Vickle R. (1990): Rockfall hazard Rating System implementation Manual. Federal Highway Administration (FHWA) Report FHWA-OR-EG-90-01. FHWA, U.S. Department of Transportation.
- Poisel R. & Preh A (2004): Rock slope initial failure mechanisms and their mechanical models. Felsbau 22 No. 2, 40- 45.
- Pritchard M.; Porter M.; Savigny W.; Bruce I.; Oboni F.; Keegan T. & Abbott B. (2005): CN rockfall hazard risk management system: Experience, enhancements, and future direction.- Landslide Risk Management: Proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management, Vancouver. Edited by: Hungr, O.; Fell, R.; Couture, R.; and Eberhardt, E. Leiden: A.A. Balkema.
- Wong H. N. (2007): Landslide risk assessment for individual facilities. Thirty years of slope safety practice in Hong Kong. The Government of the Hong Kong Special Administrative Region.
- Wyllie D. C. & Mah C. W. (2004): Rock Slope Engineering – Civil and Mining, Spon Press.
- Wyllie D. C. (2006): Risk management of rock fall hazards. – Sea to Sky Geotechnique, Conference Proceedings, 25-32, Vancouver.

LANDSLIDE DETECTION AND SUSCEPTIBILITY MAPPING USING INNOVATIVE REMOTE SENSING DATA SOURCES

Herwig Proske, Klaus Granica, Manuela Hirschmugl and Michael Wurm¹

ABSTRACT

Landslide susceptibility analysis using univariate statistical models is a complex and sensitive task. The resulting quality of the functional models is directly dependant on the quality of the input data with respect to spatial resolution, classification accuracy and completeness. In this paper, the application of innovative Remote Sensing data sources is evaluated. The classification of Very High Resolution (VHR) Satellite data proved to deliver accurate land cover classes. Results show that congruent quality from QuickBird data compared to aerial photographs can be obtained. As QuickBird images have a larger coverage and a better radiometric stability, the development of automatic tools is favoured. Interpretations based on Earth Observation data seem to be the only possibility to obtain landslide inventories that cover large areas and are widely complete. Only VHR imagery allows the detection of small landslides. Digital Terrain Models based on airborne Laserscanner data facilitate a precise derivation of geomorphometric parameters. The analysis of the susceptibility modelling results shows the high significance of geological and land cover parameters.

Keywords: Remote Sensing, Landslides, Susceptibility Modelling

INTRODUCTION

High mountainous regions are challenging to human society in many senses. For centuries, people living in these areas had to contend with the unfavourable climatic conditions, the difficulties of settling on steep slopes and cultivating sparse agricultural land or the force of transporting goods on endangered paths or roads. Moreover, these unfavourable conditions have also strongly influenced the means of collecting information for scientific investigations in such an extreme environment. Cumbersome field work taking much of manpower and therefore generating high costs was the usual method for data collection. The identification and mapping of landslide risk zones is an example of such a very labour-intensive work, if solely based on fieldwork. To overcome this drawback, which is specifically severe in inaccessible areas, nowadays remote sensing data can be used.

Generally, the spatial probability of mass movements is influenced by a number of environmental quasi-static factors. Quasi-static means, that these factors are normally stable over a period of time. Most of these factors can be assigned to one of the following main categories: (a) geology; (b) geomorphology and topography; (c) land use and land cover. The triggering factors (dynamic factors) for an actual landslide event are temporal ones such as

¹ JOANNEUM RESEARCH, Inst. für Digitale Bildverarbeitung, Wastiangasse 6, 8010 Graz, Österreich (Tel.: +43-316-876-1735; Fax: +43-316-876-1720; email: dib-sekretariat@joanneum.at.)

abundant rainfall, rapid spring snow melt or earthquakes. For the generation of basic zoning maps of mass movement susceptibility, the triggering factors are not taken into account. However, indicators for the quasi-static factors should be extracted as automatic as possible. Currently existing very high resolution (VHR) satellite remote sensing systems offer an opportunity to extract land surface information that until recently could only be derived from aerial photographs or by extensive field work.

This work was performed within the scope of the EU funded project ASSIST (Alpine Safety, Security & Informational Services and Technologies). One of the main tasks was the design of a geo-service framework based on innovative Earth Observation (EO) data to support mitigation and emergency measures. This included the combination of remote sensing results with other spatial information such as geological maps or digital elevation models. To address the needs of risk management three types of basic products were generated: base information layers (maps of quasi-static parameters, e.g. land cover), dynamic information layers (maps of dynamic parameters, e.g. snow cover) and products processed from the information layers using modelling approaches (e.g. landslide susceptibility maps). Some results of the latter are described in the following contribution.

OBJECTIVES

The focus in this investigation was the identification of parameters and/or indicators for natural hazards with special emphasis on landslides and the derivation of susceptibility maps. Focal points are the usage of new remote sensing tools and the development of (semi-) automatised procedures for the derivation of environmental factors that might affect landslide occurrence. In order to obtain land cover and land use parameters with adequate accuracy, VHR (very high resolution) satellite imagery were used. Based on these data, supervised classification and visual interpretation were applied and investigated with special emphasis on the development of automatic classification tools. As the test area covers a height difference of more than 2300 m, it is evident that there are manifold surface types. Thus, the applied methodology had to be elaborated in a flexible way involving different approaches for the derivation of the needed parameters. The work did not include the development of new landslide hazard zonation techniques, of which many have been developed over the last decades (e.g. Hansen 1984, Varnes 1984, Soeters and Van Westen 1996, Leroi 1996, Aleotti and Chowdury 1999, Gorsevski et al. 2003, Van Westen et al. 2003, Zhou et al. 2003).

GEOGRAPHICAL AND GEOLOGICAL SETTING OF THE TEST AREA

The test region in the western part of Tyrol/Austria covers an area of approximately 228 km² and an altitude difference of more than 2300 m. The highest summit of the Verwall Mountain Group reaches 3168 m above sea level, whereas the Sanna Valley near Landeck is at a height of approx. 820 m. The test area includes two main geological units: (1) the Verwall Mountain Group is part of the Silvretta crystalline complex and is dominated by metamorphic rocks (mainly phyllites, mica schists, gneiss and some amphibolites) whereas (2) the Lechtal Alps are part of the Northern Calcareous Alps, dominated by carbonatic and clastic sedimentary rocks (limestones, dolomites, marls, sandstones and shales). Both geological units incorporate lithologies which are highly susceptible to different types of mass movement processes. The tectonic environment is dominated by the overthrusting of the nappe systems of the Northern Calcareous Alps on the crystalline units.

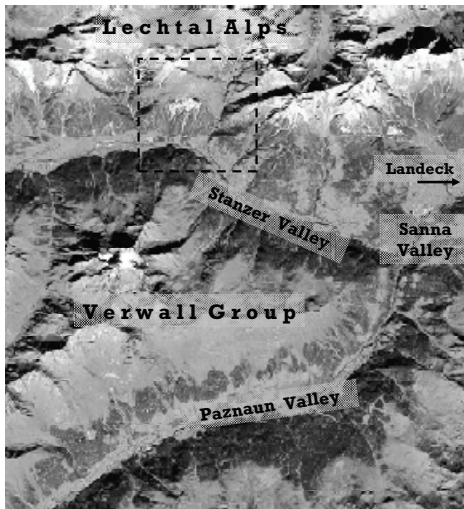


Fig. 1: Location of the test area in the western part of Tyrol (--- border of subset presented in Fig. 3)

The landscape was shaped strongly by the pleistocene glaciation periods. Furthermore, the pleistocene glaciation has left widespread morainic deposits. Today only some minor glaciers in the highest parts of the mountains have persisted. Karst phenomena are typical for the carbonatic units of the Lechtal Alps. The main valleys, the Stanzer- and the Paznaun Valley, are densely populated and extensively used for transport and touristic purposes. Therefore, the area is highly vulnerable to natural hazards and consequences of events are typically more severe than in other, less developed regions. For instance, flooding caused heavy damage on the infrastructure and settlements in August 2005 disrupting the important Arlberg railway route for more than three months.

DATA SOURCES

With the emerging of commercial satellite systems providing VHR data with a ground resolution of 1 m per pixel and below (IKONOS, QuickBird) the potential for space borne applications in many fields has broadened. Based on its detailed spatial information VHR satellite imagery is one possibility to derive the required land cover as well as partly the geomorphological information. Thus QuickBird data with a spatial resolution of 60 cm in the panchromatic mode and an additional four multi-spectral band range with 2.4 m resolution have been chosen as optical remote sensing data source. The acquisition date of the QuickBird scene was the 5th of September 2005 (12 days after the flood event). Typically, the use of stereo images would increase the information content, as three dimensional information about the vegetation (vegetation height) could be obtained. However, in the present case, no stereo data was available.

Aside from the Quickbird data, also Digital Elevation Models (DEMs) played an important part in the analysis. In this investigation two different DEMs were used, i.e. a 25 m grid from the Austrian national land survey 'BEV' and a high resolution 3 m DEM based on LiDAR (Light Detection And Ranging) data. The use of a DEM in high mountainous regions is a prerequisite in the overall processing of the EO Data; e.g. the geocoding and topographic normalization. Furthermore the DEM is the most crucial input data set for the derivation of geomorphometric parameters as, for instance, slope, aspect (orientation of slope), curvature, roughness (variability in slope and aspect in local patches of the DEM) and drainage network. The standard DEM shows a varying accuracy depending on the complexity of the terrain. The accuracy is stated to be about $\pm 2 - 5$ m in non-forested and flat areas and $\pm 10 - 25$ m in mountainous terrain or beneath forest (according to BEV 2007). The lower accuracy values

are more reasonable for most of the present test area. The second available DEM was derived from LiDAR data. The general accuracy of LiDAR DEMs depends on the used point density and on the vegetation cover. LiDAR systems offer good terrain information also beneath forest. The LiDAR data used in the current study have a point density of 1.1 point per m². Therefore, the spatial resolution was set to 3 m for the area-wide LiDAR DEM. LiDAR data with point densities of 4-6 dots per m² were available only for a small section of the test area. These data were used to evaluate the effects of different LiDAR DEMs.

Geological information could be deduced from a digital geological map at a scale of 1:50.000 from the Austrian Geological Survey (GBA 2004). Within the scope of this study additional fieldwork in selected areas was done mainly for verification and specification purposes.

METHODS

The spatial probability of landslides can be obtained through analysing the relation between the locations of past landslide events and a set of environmental factors in order to predict areas of landslide initiation that have similar combinations of factors using statistical methods. The resulting hazard maps are of qualitative nature, concentrating on determining the susceptibility which can be seen as a relative indication of the spatial probability (Van Westen et al. 2006). This chapter is subdivided into four sections according to the corresponding aims. In the first section, the derivation of land cover data from the VHR satellite imagery is explained. The second section deals with the derivation of geomorphometric parameters from the generated DEMs, the third one gives attention to the geological classification and the generation of the landslide inventory. Finally, the fourth section describes the two univariate statistical models used for susceptibility assessment.

Land Cover Classification

Land cover information was derived from orthorectified, topographically normalized and pansharpned QuickBird imagery. The first classification step was focused on the derivation of a coarse land cover layer by applying a pixelwise supervised classification. Some 50 reference areas have been extracted from the pansharpned image by visual interpretation. Subsequently, a spatial merging algorithm was applied on the classification result to obtain a more homogeneous appearance of the individual classes, i. e. to remove the “salt and pepper effect”. This algorithm is used to merge adjacent regions according to their spatial properties. Regions which are smaller than the specified size or regions with a shape index higher than a given threshold are merged. The similarity to neighbouring classes, with which the object could be merged, is calculated based on its neighbourhood properties. Finally, the following landcover classes have been derived successfully: water, snow, ice, broadleaf forest, coniferous forest, four types of meadows, non-vegetated areas and shadow. However, there are still some uncertainties and some difficult areas, where this first classification is too coarse or too inaccurate. One example is the exact delineation of the upper forest border, another example is the further differentiation of the class “non-vegetated areas”. This was performed in the next phase of the classification.

The pixelwise classification based on the spectral values only had shown its limitations for deriving more detailed classes. To accomplish the requirement of a more detailed separation within e. g. the class “non-vegetation”, the textured information of the panchromatic image was used. This is performed using a texture algorithm, which calculates certain statistical

values based on mean or variance within the sectors surrounding a pixel. The radius and the number of sectors (or wedges) can be specified by the user. This texture layer can be used to improve the classification accuracy and detail. Additionally, the results from the texture calculation were supporting the determination of the upper forest border, which is essential to quantify the forest area, especially in the higher elevated regions. Furthermore, the upper forest border line is helpful to differentiate between “non-vegetation” areas within the image. For instance, non-vegetation areas could be settlements and streets in the valley, whereas the same spectral response from above the forest border line shows talus deposits, bare rock and eroded surfaces. Minor errors have to be corrected by visual interpretation, but the effort for this correction is low, because most of the border lines could be correctly derived by the automatic procedure.

Due to their different capability of infiltration and potential for providing material for landslides it was important to separate coarse talus deposits from fine talus deposits. The separation was performed again based on the texture information, which is inherent in the panchromatic image.

Not all of the required indicators can be derived by automatic processing, e.g. rock glaciers, elongated ponds or wet areas. For this purpose visual interpretation is still an adequate procedure. More details on the classification procedure can be found in Granica et al. 2007.

Tab. 1: Categories of Land Cover Classification based on QuickBird Data

Sub-Category	Parameters	Method	
Vegetation	Broadleaf Forest	auto	
	Coniferous Forest	auto	
	Mixed Forest	auto	
	Clear cuts / afforestation	auto	
	Green Alder	auto/vis	
	Dwarf Mountain Pine	auto/vis	
	Rhododendron, Shrubs	auto	
	Meadows	auto	
	Alpine Pastures	auto	
	Sparsely vegetated areas	auto	
	Non-Vegetation	Snow	auto
		Ice	auto
		Water	auto
Buildings		vis	
Roads, Sealed Areas		auto/vis	
Talus Deposits fine		auto	
Talus Deposits coarse		auto	
Bare Rock		auto/vis	
Elongated Ponds		vis	
Wet Areas		vis	
Rock Glaciers	vis		

auto: automatic approach vis: visual interpretation

Land Cover Categories derived from QuickBird Data are shown in Table 1. Some of these parameters can be obtained by automatic approaches, while others still need fully or partly

visual interpretation. Land Cover parameters were merged to a final nine classes for the susceptibility modelling.

Derivation of Geomorphometric Parameters

The topographical and geomorphological situation is one of the most relevant factors for landslides. Geomorphological features mainly have to be mapped by fieldwork and visual interpretation of remote sensing data. Nevertheless important characteristics can be derived from a DEM using standard software tools. This is true for most geomorphometric parameters, such as elevation, aspect, slope, vertical as well as tangential curvature and drainage network. In addition, more sophisticated parameters indicating landslide activity like roughness parameters were calculated. Eigenvectors (according to McKean & Roering 2004) measure the variability of slope and aspect in local patches of the DEM. On this basis, different statistical measures were applied to evaluate the local terrain roughness. As the spatial resolution of the DEM is most crucial for geomorphometric analyses, the 25 m grid from the Austrian national land survey 'BEV' and the high resolution 3 m LiDAR grid were compared.

Geological Classification and Generation of the Landslide Inventory

Geological information was deduced from a digital geological map at a scale of 1:50.000 from the Austrian Geological Survey (GBA 2004). Based on expert knowledge, a simplification of the map information was performed by merging lithological units with similar geotechnical and hydrogeological properties. This step resulted in a significant reduction of map units from an original 116 to a final 16, standing for distinct properties with respect to landslide occurrence. Within the scope of this study additional fieldwork could be focussed on the verification and specification of data and results. Normally much more work has to be spent for collecting detailed information about the geological situation as modern digital geological maps are not available for most of Austria.

GIS-based landslide inventories are the key component of any statistical landslide modelling as they act as training and verification data. The compilation of the present landslide inventory was performed mainly by on-screen interpretation of a simulated QuickBird 'pseudo-stereo' image which has been generated from the monoscopic image and the respective Digital Elevation Model. The simulation of the pseudo-stereo partner was possible with RSG (Remote Sensing Software Package Graz), the in-house software of the Institute of Digital Image Processing. Using ERDAS StereoAnalyst, the 3D views with different colour composites greatly facilitated in the visual identification and classification of landslides. The inventory is restricted to recently active mass movements, which are represented in the field by open scars and sliding surfaces without significant vegetation. As pointed out by Van Westen et al. 2006, the specific combination of environmental factors is quite different for different types of landslides. Therefore, different training data sets are necessary for different types of landslides and separate statistical models have to be developed. Since shallow translational and rotational slides are predominant in the study area, the current investigation is restricted to these types. As was shown by comparative analyses of aerial photos taken in 1999 and additional fieldwork, many of the mapped slides occurred after this date. Most of them probably were triggered or reactivated by the August 2005 precipitation event. Although, the stereo impression greatly improves the determination of specific landslide features, they can still be confused with other processes active in high mountain environments, which create similar patterns (e.g. erosion and transport of loose material by

avalanches, wind erosion). As well the differentiation of bare rock in high mountain environments remains unsolved in many cases.

Landslide Susceptibility Assessment

The results from the described data sources were integrated as input data to derive landslide susceptibility maps on a single pixel basis.

The susceptibility is obtained through analysing the relation between the locations of past landslide events and a set of environmental factors, in order to predict areas of landslide initiation that have similar combinations of factors, using statistical methods. These indirect methods calculate the importance of the combinations of parameters occurring in landslide locations and extrapolate the results to landslide-free areas (Van Westen 1993, Van Westen et al. 2006). As the triggering of different types of landslides depends on different parameter combinations, the current investigation is solely restricted to shallow translational and rotational slides.

Two basic univariate statistical methods were used to model the landslide susceptibility, namely the so-called “Susceptibility method” implemented according to the description of Van Westen 1993 and the “Weights of Evidence (WoE) method” according to Bonham-Carter et al. 1989 and Van Westen 1993. The models were implemented and executed within an ArcGIS environment.

The selection of input parameters is very sensitive to dependencies and redundancies of parameters, because the main assumption for univariate statistical methods is that the environmental factors should be conditionally independent. The use of conditionally dependent variable maps will result in very high probability values for those combinations which have high weight values in different variable maps. This effect therefore will adulterate the results significantly (Van Westen 1993). Two examples from our case study will be given:

(1) The parameter “slope aspect” turned out to be closely connected to the geology. This can be explained by the geological setting of the test area. The area is characterised by the Lechtal Alps to the North (= mainly south-facing slopes) and the Verwall Group to the south (= north- and south-facing slopes). These both units are separated by a tectonic lineament running from west to east. Since landslides are much more frequent in the Lechtal Alps due to their lithology, a high relevance is given to the parameter “slope aspect”, although the determinant factor of the landslide distribution is the specific geologic situation.

(2) The parameter “elevation” is closely connected to the land cover (forest and non-forest areas, non-vegetated areas) which is easily to be understood by the climatic conditions and their effects on the vegetation of high altitude regions.

Therefore after several tests both parameters (“slope aspect” as well as “elevation”) were dismissed completely.

In order to transfer the resulting continuous values into classes and to produce zoning maps, the values were classified into five classes. The classification scheme is based on deciles. Deciles 1 – 3 are assigned to the lowest susceptibility class (D1-3 → 1), the next three classes consist of 2 deciles each (D4+5 → 2; D6+7 → 3; D8+9 → 4). The 10th decile is equivalent to the highest susceptibility class (D10 → 5).

RESULTS AND DISCUSSION

The results of this work showed that, with respect to the derivation of surface parameters, congruent quality from QuickBird data compared to that of aerial photographs with equal spatial resolution can be obtained. Furthermore the QuickBird images have a larger coverage and a better radiometric stability, which has proved to be of high benefit for the development of automatic tools. The quality of the land cover classification based on QuickBird imagery was assessed by using an independent test area set of 5 - 6 test areas for each class. The overall average accuracy is 89.67 %. This accuracy is sufficient for the envisaged purpose.

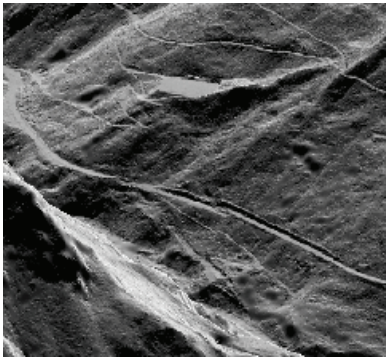


Fig. 2: Shaded relief of LiDAR DEM displaying Zintwald landslide near Landeck.

Regarding the usability of different DEMs for susceptibility modelling the high resolution DEM shows much more details and accuracy enabling a more precise analysis of the surface. The shaded relief of the LiDAR data (4-6 points/m²) represents well all forest roads, ravines, small ridges and undercutting of slopes even in forested areas (Fig. 2), while the 25 m DEM only shows large-scale geomorphic features.

Also a quantitative comparison of the DEMs (25 m resolution vs. 1 m resolution) regarding slope calculations was performed. Table 2 shows the area statistics for this data set. Basically, the differences are not as obvious as they are in the maps, because the statistics over a larger area equalize some of the differences. However, the more accurate differentiation in the slope classes is reflected: the flat as well as the very steep areas are well represented in the LiDAR model but largely omitted in the coarse DEM.

Tab. 2: Comparison of slope calculations from 25 m and 1 m DEM

Slope Class (°)	DTM 1 m (%)	DTM 25 m (%)
0-10	9,55	4,97
10-20	9,93	10,11
20-30	19,86	22,50
30-40	33,26	37,49
40-50	18,69	20,63
50-60	6,70	4,18
60-70	1,79	0,11
70-80	0,21	0,00
80-90	0,00	0,00

The compilation of the landslide inventory resulted in the detection of approx. 1060 landslides. Interpretations based on EO data seem to be the only possibility to obtain landslide inventory maps that cover large areas and are widely complete. Only the use of aerial photographs or VHR satellite imagery such as QuickBird allows the detection of small landslides.

Altogether 44 input classes were used for the susceptibility modelling, of which more than a third consisted of geological classes. The analysis of the calculated weights based on the WoE method showed the highest values for geological and land cover parameters. The highest value was assigned to the geological unit “Cretaceous shales” followed by the land cover units “bare rock” and “sparsely vegetated areas”.

In order to evaluate the quality and transferability of the results of the WoE model (including the parameters), the test area was subdivided into a western and an eastern part. The western area served as model-development area where the weights were calculated. These weights were then applied to the eastern part. The results were evaluated by using the landslide inventory of the eastern part. In the model-development area (west), the percentage in the highest risk class is almost 70%. On the contrary, in the model-evaluation area (east), only about 30% of the landslides were assigned to the highest class. However, the two highest ranked classes share, in both the model-development and the evaluation area, more than 75% of the landslide areas (Tab. 3).

Tab. 3: Results of the evaluation of the WoE modelling

Susceptibility Class	1 (low)	2	3	4	5 (high)
West (%)	1,5	1,9	6,4	20,8	69,4
East (%)	3,1	5,6	14,4	46,1	30,8

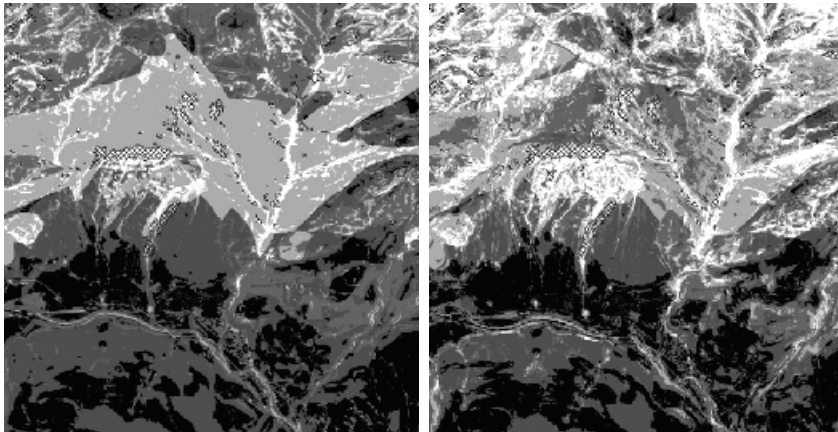


Fig. 3: Subset (~4000 m x 4000 m) of the results of the susceptibility (left) and the weights of evidence method (right) of the study area. Level of brightness indicates susceptibility class (black: lowest, white: highest) and hatched areas show the training landslides.

Comparisons between the Susceptibility method and the WoE method were accomplished and differences of the resulting maps were analysed. The example shown in Fig. 3 focuses on a subset in the southern part of the Lechtal Alps and the valley bottom of the Stanzer Valley. The result of the susceptibility method (left image) shows that the geological formation “cretaceous shales” has an unbalanced strong influence on the calculation. The homogeneous

grey patch in the northern part of the left image clearly demonstrates this effect. The WoE method generally shows similar tendencies, but the areas are more structured, which gives a more realistic impression of the landslide prone areas (right image of Fig. 3). Additional tests showed clearly, that the grouping of geological units may have a major impact on the result.

CONCLUSIONS

Landslide susceptibility analysis using univariate statistical models is a complex and sensitive task. The selection of appropriate input parameters and representative training data sets are crucial for the success of any model. The classification of QuickBird data proved to deliver statistically accurate land cover classes, which have been used as variables in the susceptibility analysis. As the resulting quality of the applied functional models is directly dependant on the quality of the inputs (e.g. spatial resolution and classification accuracy) and quantity of data, this is an important argument for using VHR remote sensing data sources. Additionally, a 'pseudo-stereo' image was generated from the QuickBird satellite image and has shown to be very useful for the visual interpretation of landslides in a time- and cost-saving manner. The different qualities of the used DEMs are clearly discernable in the final susceptibility maps. It is recommended to use a DEM with the finest resolution available, in order to pinpoint the hazardous spots in detail.

REFERENCES

- Aleotti P., Chowdury R. (1999): "Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives." *Bull. Eng. Geol. Env.*, 21 – 44.
- BEV (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen) (2007): "Produktinformation Digitales Geländehöhenmodell." Available at: <http://www.austrianmap.at/bevportal/Produkte>.
- Bonham-Carter G.F., Agterberg F.P., Wright D.F. (1989): "Weights of evidence modelling: a new approach to mapping mineral potential." *Geological Survey of Canada Paper 8-9*, Ottawa, 171 – 183.
- GBA (Geologische Bundesanstalt) (2004): "Geologische Karte der Republik Österreich 144 Landeck 1:50.000". Verlag der Geologischen Bundesanstalt, Wien.
- Gorsevski P.V., Gessler P.E., Jankowski P. (2003): "Integrating a fuzzy k-means classification and a Bayesian approach for spatial prediction of landslide hazard." *J. Geogr. Syst.* 5 (3), 223 – 251.
- Granica K., Almer A., Hirschmugl M., Proske H., Wurm M., Schnabel Th., Kenyi L.W., Schardt M. (2007). "Generation and webGIS representation of landslide susceptibility maps using VHR satellite data." To be published in: *Proceedings of IGARSS2007*, Barcelona, July, 23rd – 27th 2007.
- Hansen A. (1984): „Landslide Hazard Analysis.“ In: *Brunsdn D., Prior D.B. (eds.): „Slope Instability.“* Wiley & Sons, New York, 523 – 602.
- Leroi E. (1996): "Landslide hazard – risk maps at different scales: objectives, tools and development." In: *Senneset K. (ed.): "Landslides – Glissements de Terrain" 7th International Symposium on Landslides*, Trondheim, Norway, 35 – 51.
- McKean J., Roering J. (2004): "Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry". *Geomorphology* 57 (2004), 331-351.
- Soeters R., Van Westen C.J. (1996): „Slope instability recognition, analysis and zonation.“ In: *Turner A.K., Schuster R.L. (eds.): "Landslides. Investigation and Mitigation."*

- Transportation Research Board, National Research Council, Special Report 247, National Academy Press, Washington, 129 – 177.
- Van Westen, C.J. (1993): “Training package for geographic information systems in slope instability zonation. Vol. 1: Theory: Application of geographic information systems to landslide hazard zonation.” ITC Publication No. 15, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede.
- Van Westen C.J., Rengers N., Soeters R. (2003): “Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment.” *Nat. Hazards* 30(3), 399 – 419.
- Van Westen C.J., van Asch T.W.J., Soeters R. (2006): “Landslide hazard and risk zonation – why is it still so difficult?” *Bull. Eng. Geol. Env.* 65, 167 - 184.
- Varnes D.J. (1984): “Landslide hazard zonation – a review of principles and practice.” UNESCO, Paris, 64 pp.
- Zhou G., Esaki T., Mitani Y., Xie M., Mori J. (2003): “Spatial probabilistic modelling of slope failure using an integrated GIS Monte Carlo simulation approach.” *Eng. Geol.* 68 (3-4), 373 – 386.

LANDSLIDE SUSCEPTIBILITY ANALYSIS AT A REGIONAL SCALE - A QUALITATIVE APPROACH AT THE EASTERN ALPS

GEFÄHRDUNGSANALYSE FÜR MASSENBEWEGUNGEN IN EINEM REGIONALEN MAßSTAB – EIN QUALITATIVER ANSATZ IN DEN OSTALPEN

(GEORISIKOKARTE VORARLBERG)

Dr. Michael Ruff¹, Prof. em. Kurt Czurda²

ABSTRACT

The aim of the project “Georisikokarte Vorarlberg” was landslide susceptibility assessment at a regional scale. Using a qualitative approach, the susceptibility to sliding and falling movements was analysed according to five categories (very low, low, medium, high, very high). All data layers were handled as grids with a cell size of 25 m. The susceptibility to sliding was analysed with an index method based on the data layers slope angle, slope aspect, slope curvature, lithology, distance to tectonic faults, vegetation and erosion. The trajectories of potential rockfall blocks were compared using a cost analysis based on rolling friction. The methods were tested at three different study areas in Vorarlberg and calibrated with a landslide inventory. Special focus was laid on the presentation of the results. The susceptibility map should be understandable for spatial planners as well as local people, municipal employees and politicians.

Keywords: Susceptibility, Slides, Rockfall

ZUSAMMENFASSUNG

Ziel des Projektes “Georisikokarte Vorarlberg” war es, die Gefährdung für Massenbewegungen in einem regionalen Maßstab vorherzusagen. Mithilfe eines qualitativen Ansatzes wurde die Suszeptibilität für Rutschungen und Sturzprozesse in fünf Kategorien eingeteilt (sehr gering, gering, mittel, groß, sehr groß). Alle Daten wurden als Raster mit der Zellengröße 25 m bearbeitet. Die Suszeptibilität für Rutschungen wurde mit einer Index-Methode analysiert, welche die Datenebenen Hangneigung, Hangrichtung, Hangwölbung, Lithologie, Abstand zu Störungen, Vegetation und Erosion beinhaltet. Die Trajektorien potenzieller Steinschlagkörper wurden mit einer einfachen Kostenanalyse aufgrund der Rollreibung gewichtet. Die Methoden wurden in drei unterschiedlichen Arbeitsgebieten in Vorarlberg getestet und die Ergebnisse mittels Ereigniskarten geeicht. Ein besonderes Gewicht wurde auf die Präsentation der Ergebnisse gelegt. Die Suszeptibilitätskarten sollten für Raumplaner genauso lesbar sein wie für Anwohner, Verwaltungsangestellte und Politiker.

¹ Ingenieure Bart AG, Waisenhausstrasse 15, 9000 St. Gallen, Switzerland, Phone +41 71 2280175, Fax: +41 71 2280171, Email: ruff@bart.ch

² Formerly: Department of Applied Geology (AGK), University of Karlsruhe (TH), Kaiserstrasse 12, 76128 Karlsruhe, Germany

INTRODUCTION

Living in a typical Alpine landscape, the people in Vorarlberg are aware of both sides of the same medal: a beautiful landscape on the one side and landslide hazard through erosional processes on the other. Although mass movements have been constantly taking place since the end of the last ice age – and will prevail onto the next – the problems for the Vorarlberg communities seem to increase. Like in many other regions of the Alps the growing population density and the rising values of buildings and infrastructure force the government to find a new security treatment against natural hazards. As landslides cannot be prevented in every settled area, spatial planning shall prevent large financial or even personal loss. As a beginning of hazard and risk management, a project called “Geohazard Map Vorarlberg” was initiated to give spatial planners and communities a first insight into the hazard situation.

The Department of Applied Geology (AGK) at Karlsruhe University carried out the study in cooperation with the INATURA Museum Dornbirn and the Federal Government of Vorarlberg. The project started in 1999 with the following key tasks:

- Usage of GIS-Technology
- Collection of data with geological and geotechnical mappings
- Analysis of recent events (landslide inventory)
- Proposing of a method at a scale of 1:25'000
- Method understandable and applicable for non-geologists

Although the interpretation of a geological map (if available) is telling most of the story of landslide hazard to the expert, it has to be underlined that these maps are unreadable for laymen. Because of the sometimes cryptic signatures and names even modern geological maps are often ignored in land use planning. During the years of our fieldworks, many discussions with engineers, residents and politicians have indicated that another interpretation of geological and morphological information, presented in a more general way, would be helpful for a lot of applications and users.

The project tried to analyse the geological and morphological causes of mass movements. Working on the whole area of Vorarlberg with the available data sets, places should be recognized which are prone to landslides. Trigger mechanisms like rain or earthquakes were not taken into account because areal data sets of triggers were not available (and usually are critical). The natural and static characteristics of a slope, exposing or stabilising it to mass movements is also referred to as the susceptibility (IAEG 1990). At an early stage of the project it became obvious that only a qualitative approach would be reasonable (Kassebeer & Ruff 2003). The susceptibility would be analysed according to five categories (very low, low, medium, high, very high).

FIELD STUDIES

In the years 1999 – 2006 several study areas in Vorarlberg were geologically and geotechnically mapped to identify causes and mechanisms of active mass movements. Three

of the study areas are presented below: the Hochtannberg/Arlberg Region, the Gr. Walsertal and the Walgau (Fig. 1).

The locations of these study areas were orientated to roads and settlements and not to geological or morphological structures. This project was intended to concentrate on the potential damages to existing infrastructure. High mountain environments were not considered because of the scarcity of elements at risk.

According to our field experience within the Alps, the lithology of bedrocks and soils is the most important cause for mass movements. In spite of the importance of this information, the geological maps in the Alps – analogue and digital – are not up-to-date or are even nonexistent. Extended field mappings at the scale of 1:10'000 (mainly executed by students of engineering geology) should assure the quality and precision of the analysed data sets. Although this procedure is educational and economical, it was also time consuming and the results had to be gathered step by step.



Fig. 1: Three of the study areas of the project.
Abb. 1: Drei der Arbeitsgebiete des Projektes.

GEOLOGY OF THE STUDY AREAS

Vorarlberg is one of the most favourite working areas for geologists, because all of the Alpine tectonic units are at hand within very close range. These units are from North to South: Molasse, Helvetic Nappes, Ultrahelvetic Nappes, Rhenodanubian Flysch, Northern Calcareous Alps and Silvretta Basement. The different geodynamic and tectonic evolutions produced a confusing multitude of formations of mainly sedimentary rocks. The landscape of Vorarlberg is highlighting the change between Mesozoic carbonate platform sediments marking the highest mountains and clayey deep-water deposits exposed within the smoother valleys.

During the Alpine Orogeny the incompetent (clayey) formations acted as detachment levels of nappe thrusts between the tectonic units. The competent (calcareous) formations were folded at various scales and internally deformed by thrust and strike-slip faults. Lateral facies changes within the units make the tectonic interpretation even more difficult. Within the three study areas the fieldworks gave valuable insights in the formations and tectonic structures.

The Hochtannberg/Arlberg region is situated within the Northern Calcareous Alps. The steep rock outcrops are mainly consisting of Triassic shallow water limestones and dolomites. Also important are Jurassic turbiditic sediments. Because of the high relief, rockfall is the main

hazard in this area. But slides within the strongly layered formations are also common, leading to damages at roads and touristic buildings (Ruff 2005).

Tertiary turbiditic sediments of the Rhenodanubian Flysch dominate the Gr. Walsertal. The bedding planes of the sandstones, marls and clays are generally dipping to the south leading to a large number of rock slides at the northern flank of the valley (Ruff & Rohn 2007). Rockfall is an uncommon hazard within the rather smooth landscape.

The Walgau is lying within the tectonic thrust zone between Rhenodanubian Flysch and Northern Calcareous Alps. Tectonic sub-sheets and the widespread alluvial cover make the interpretation even more difficult. At the Northern part of the Walgau appear some rock slides whereas the southern part is dominated by rockfall hazard.

Quaternary glacial and postglacial sediments locally cover the base rocks of all study areas. Moraine material is widespread and apparently prone to sliding at steeper slopes. Erosion of the dolomites and marlstones lead to debris cones of various scales. The valley floors are filled with postglacial gravels and recent fluvial sediments.

It is obvious that the differences in lithology induce completely different situations of landslide hazards. Although the stability of a slope is a quite local problem with numerous of factors and specialities, the proposed method should be able to cover the most important factors for a large region. It should give an overview into the whole area of Vorarlberg and all geological formations.

Because of the different mechanical behaviour, landslide types have to be considered separately. This paper concentrates on two main types of mass movements: sliding and falling. Debris flows were also analysed at the Walgau but are not described in this paper.

DATA MANAGEMENT

The information collected in the field and from literature was organized according to Fig. 2. Existing geological maps were reviewed and after the fieldwork geological maps at a scale of 1:10'000 were drawn. The orthophotos gave an excellent overview about the rockfall scarps and the type of vegetation. At the beginning of the project only a 25 m Digital Elevation Model (DEM) of Vorarlberg was available. The accuracy was given as 1-2 m at flat and 5-10 m at steep slopes (Land Surveying Office, BEV). The field investigation has shown that the quality of the model was nevertheless good enough for our investigations. As nowadays a 10 m DEM and even finer resolutions are at hand, the future works will have an even better working basis.

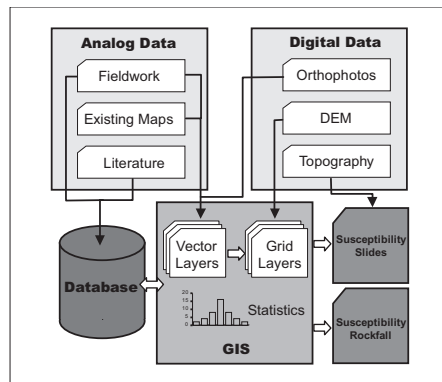


Fig. 2: Data Management of the project.

Abb. 2: Datenquellen und Verarbeitung im Projekt.

As one of the goals of our studies was fast and effective processing of various data sources, it was agreed to work with grid layers (Kassebeer & Ruff 2003). Although geological data is usually used as vectors, the grids have clear advantages in fast and easy processing of various data sources. To get a reasonable geological database, the formations were distributed into lithological classes according to Moser and Üblagger (1984) into “soil”, “homogenous hard rock”, “heterogeneous hard rock” and “soft rock”. In reference to grain size and sorting, the soil was subdivided into “alluvial sediments”, “torrential deposits”, “glaciofluviate gravels”, “glacial tills” “slope debris” and “rockfall debris”. Active areas of slides and rockfalls were classified according to Cruden and Varnes (1996) and special interest was laid on scarp- and accumulation zones of the movements. All field data was implemented into a Geographical Information System (ArcGIS 8.3). The cell size of all data layers was adjusted to the resolution of the DEM.

SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT FOR SLIDES

The susceptibility assessment for slides was accomplished using an index method after Juang et al. (1992). In this method the susceptibility is described by an index ranging from 0 to 1. Comparing the preparatory factors to the landslide inventory, the data layers lithology, distance to faults, slope angle, slope aspect, slope curvature, vegetation and erosion were used. In a three step iterative method the layers were combined (Fig. 3).

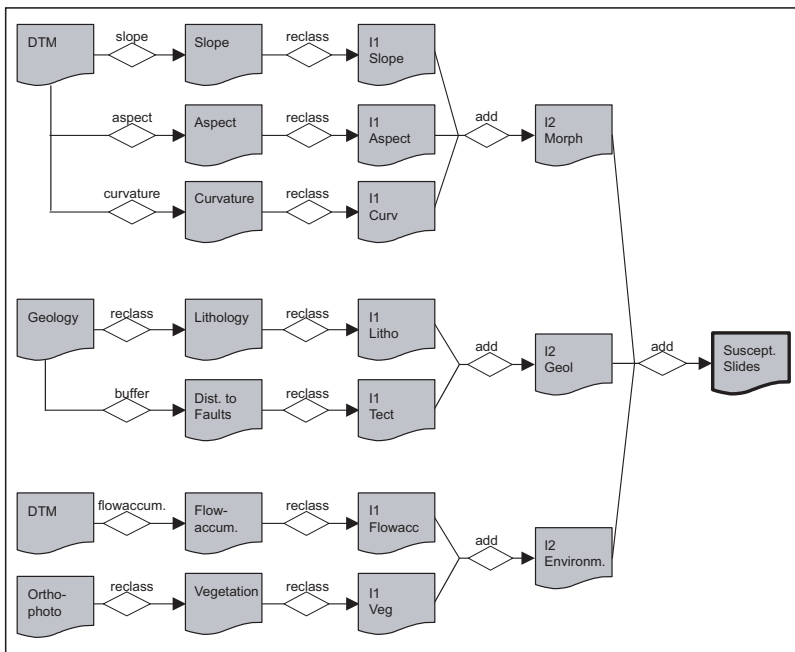


Fig. 3: Flowchart of the data analysed for sliding.

Abb. 3: Fließdiagramm der Gefährdungsanalyse für Rutschungen.

The first index (I1) is derived by a one by one comparison of each data layer to the landslide inventory. This was done by bivariate statistics with most of the factors (for details see Ruff & Czurda 2007). After that the layers are combined into the three groups; morphology (slope angle, aspect and curvature), geology (lithology and distance to faults) and environment (vegetation and erosion). To give one layer a certain prominence within the group, the second index (I2) is used. In a third step the groups are combined with a third index (I3) into the susceptibility map.

At first the indices were set by expert opinion. Comparing the result to the landslide inventory they were improved iteratively. In the years of research these indices were found for each study area separately. After the fieldworks were accomplished all the data was combined and the indices could be adjusted to describe all of the different geological environments. At this last phase of the project the grid data type was extremely helpful. Layers and classifications could be combined and distributed with little technical trouble. Vector data would have been much more complicated and would have slowed down the progress immensely.

The most realistic result in all study areas (in comparison to the active slide areas) was achieved using the indices of Tab. 1. The combination of I2 and I3 is showing the weighting of the different layers. As it was expected, the most important factors were slope angle and lithology. Slope aspect has a surprisingly high influence, which is supposed to reflect the weathering conditions (Ruff 2005). Other factors have local importance and can strengthen or soften the cumulative susceptibility at specific places.

Tab. 1: Indices used for weighting of the layers.

Tab. 1: Indizes für die Gewichtung der Ebenen in der Analyse.

Layer	Group	Layer Index (I2)	Group Index (I3)	Combined Index (I2 * I3)
Slope Angle	Morphology	0.5	0.4	0.2
Slope Aspect		0.3		0.12
Slope Curvature		0.2		0.08
Lithology	Geology	0.8	0.4	0.32
Dist. To Faults		0.2		0.08
Erosion	Environment	0.6	0.2	0.12
Vegetation		0.4		0.08
Each Group $\Sigma = 1$			$\Sigma = 1$	$\Sigma = 1$

The result of the susceptibility assessment is a value between 0 and 1 for each cell (25*25 m) of the study area, which is – at first – not enlightening the problem of landslide risk. The mathematical result has to be interpreted and presented to the various users. As we had decided to use five susceptibility classes before, the results of each study were reclassified (very low, low, medium, high, very high) and plotted as a map (see below).

Fig. 4 gives the comparison of the active slide areas to the susceptibility values. At first the differences between the three study areas became obvious. Although the total area of the three study areas is of comparable size, the number of cells representing slides in the Gr. Walsertal exceeds the other two by far. As mentioned above, this is caused by the geology of this area. In spite of the differences of the count of cells the culmination of cells with values between 0.6 and 0.8 is clearly visible in this diagram. On behalf of the field experience and this diagram, the five susceptibility classes have been defined rather empirically. Some

mathematical approaches have been tried, but it was after all decided to rely rather on common sense than on statistics (the data basis was mostly made by humans after all).

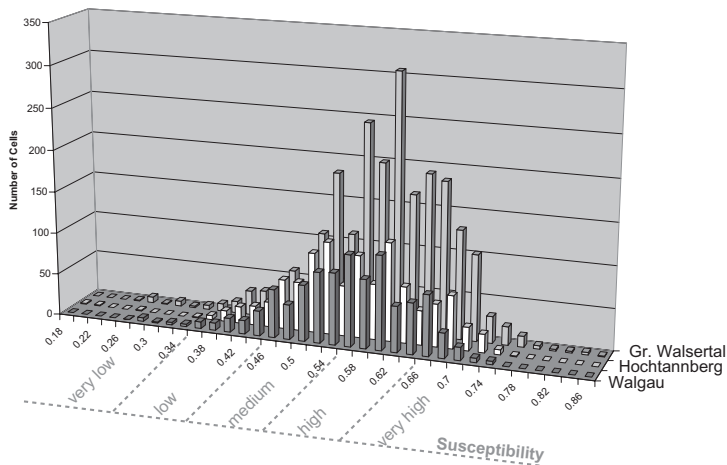


Fig. 4: Result of the analysis at active slide areas and the susceptibility classification.
Abb. 4: Resultat der Analyse an aktiven Rutschungsflächen und die Gefährdungsklassierung.

SUSCEPTIBILITY ASSESSMENT FOR ROCKFALL

The danger of rockfall is not only mechanically different from that of slides, the range of falling, bouncing or rolling blocks is also significantly higher. Therefore the hazard assessment is usually divided into three steps: Firstly, finding the potential source area of rockfall blocks, secondly, finding the potential rockfall trajectories down slope, and thirdly, calculating the range of specific blocks.

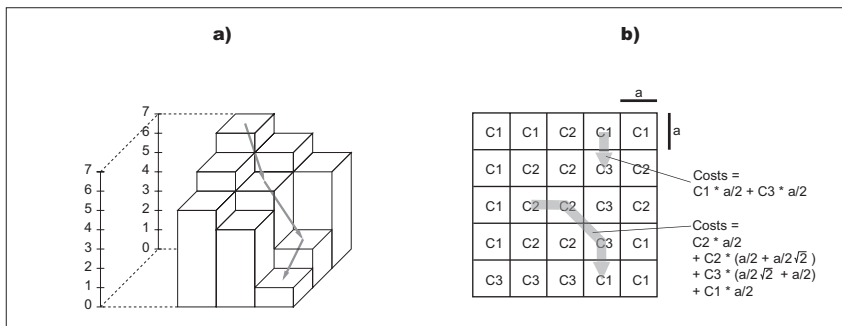


Fig. 5: Principle of the cost analysis for rockfall trajectories.
Abb. 5: Prinzip der Kostenanalyse der Steinschlag-Trajektorien.

Using the possibilities of focal functions in the GIS, the susceptibility has been modelled on the basis of a cost analysis (Ruff & Rohn 2007). Potential source areas of rockfall material were calculated out of the DEM (slope angle $> 45^\circ$) and refined with the layer lithology (hard rock or heterogeneous hard rock). Starting from each source cell the GIS is able to find all possible downhill trajectories. As the resolution of the DEM was relatively low, only the D8-Algorithm after Jenson and Domingue (1988) was applied. The range of moving blocks was modelled with a simplified rolling movement of a spherical rock sample after Scheidegger (1975). In his formula the range of a rolling block is dependent on the slope angle and the coefficient of rolling friction (Ruff 2005). The influence of rolling friction was realised by a cost analysis. If a certain cost for trespassing of a cell is defined, a cost analysis is able to summon the costs of all potential trajectories and to find the “cheapest” trajectory down slope (Fig. 5). In our case the “prize” is describing the susceptibility. The lower the prize, the higher the possibility of a block reaching this cell, the higher is the susceptibility.

Using the DEM and some benchmark coefficients derived from literature (Azzoni et al. 1991), a cost grid for the analysis could be defined. It has to be stated that this cost grid is not able to give quantitative ranges of rockfall events. But if the costs of all possible trajectories are calculated, the result is again a distribution of susceptibility values that can be divided into five classes. The layers used in the susceptibility assessment are shown in Fig. 6.

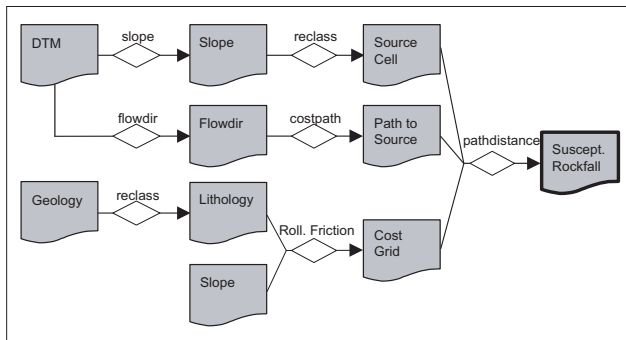


Fig. 6: Flowchart of the data analysed for falling processes.

Abb. 6: Fließdiagramm der Gefährdungsanalyse für Sturzprozesse.

Analogue to the slides, the result of the cost analysis was compared to active rockfall debris cones in the landside inventory (Fig. 7). The histograms of the three study areas are showing the different geological environments again. In the Hochtannberg/Arlberg area the number of cells representing debris cones is significantly higher than in the Gr. Walsertal. This is influenced by the relief and the different lithology (see before). The culmination of cells bearing low cost values is apparent and this can be used to define the five susceptibility classes. Because of the resolution of the DEM not all source areas of rockfall and their accompanied debris cones are recognized. Therefore some debris cones – especially in the Gr. Walsertal – are shown with very low costs. Nevertheless the most important rockfall areas mapped in the field were identified correctly.

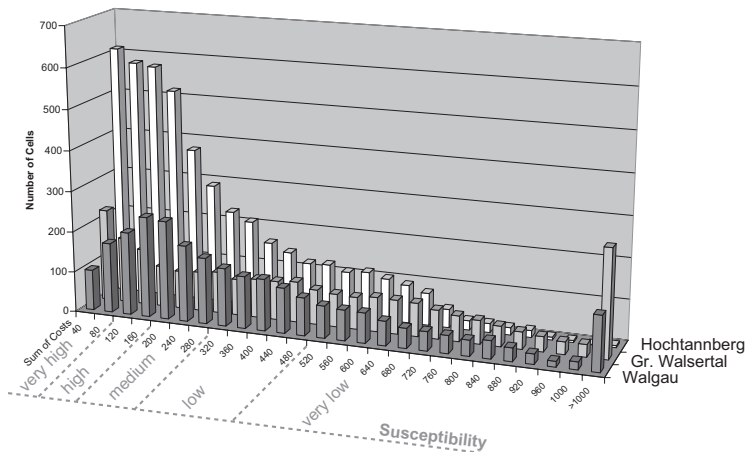


Fig. 7: Result of all mapped debris cones and classification of susceptibility.

Abb. 7: Resultat der Gefährdungsanalyse an den aktiven Steinschlag-Ablagerungen.

SUSCEPTIBILITY MAPS

The results of the susceptibility assessment were presented by plotting the five susceptibility classes as two different maps (Fig. 8 and 9). To create intuitive information, the maps are usually drawn with a green-yellow-red colouring, the red colour for high susceptibility and the green for low. These maps have been shown to different users and all of them could grasp the hazard information without further explanation.

For optical control of the maps, the slide areas and debris cones of the landslide inventory are also illustrated. The statistic comparison showed that 75 % of the active mass movements were recognized with our methods. The remaining 25 % were either extremely slow moving slides (with minor significance in case of landslide risk) or translational slides at an anticline of limestones (shown on the geological map) upon claystones (not shown on the map). Bearing in mind the imprecise data basis and the working scale this result was acceptable.

CONCLUSION

The tectonic situation of the study area causes different types of mass movements. Because of the complex geological setting and the low density of events, a semi-quantitative method had to be applied. It was concentrated on the susceptibility for slides and rockfalls, induced by geology, morphology and environment.

Lithology and slope angle were found to have the strongest influence on slides. With help of an index method, the susceptibility could be distinguished descriptively using fundamental data layers. The method is transparent and can be adapted to various new data layers (i.e. from Remote Sensing). Like most qualitative methods it is dependent on expert knowledge of the executing geologist. The simplified model for falling movements based on a cost analysis was in surprising good conformity to our field experience. This method is more objective but strongly dependent on the quality of the DEM.

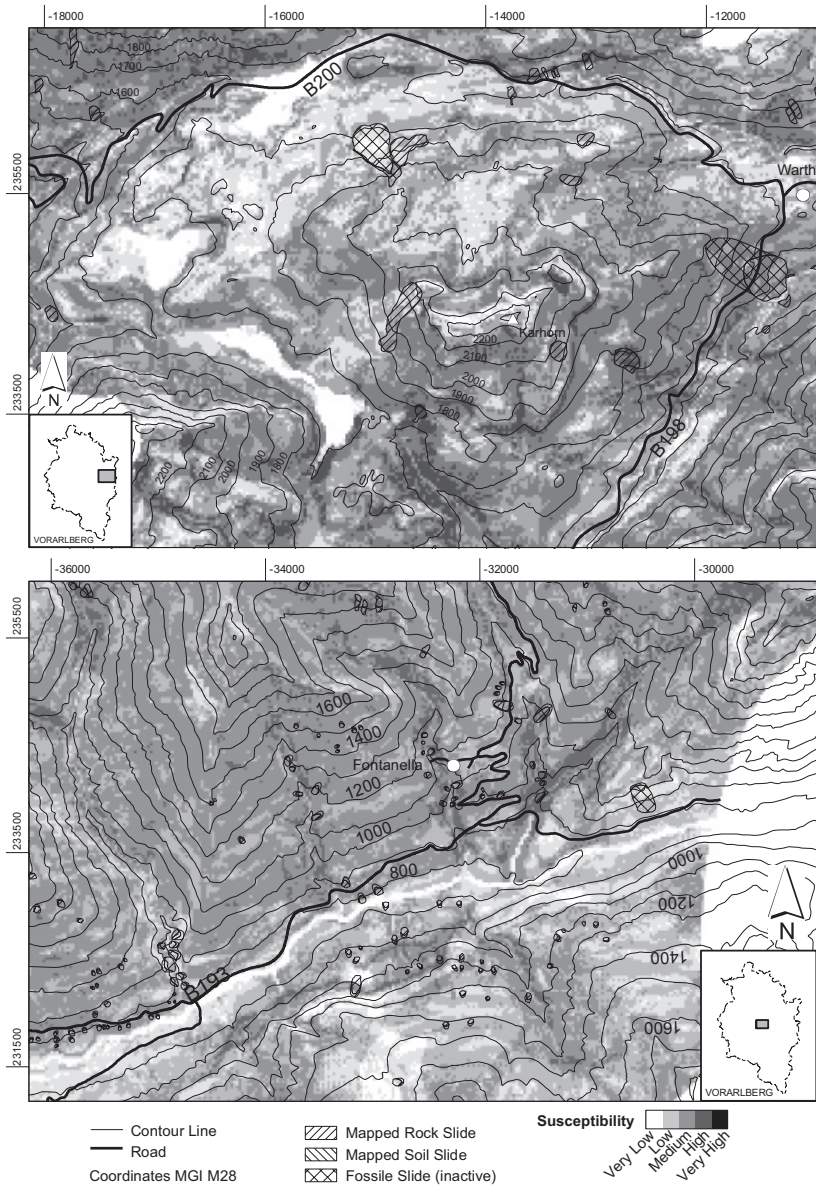


Fig. 8: Two examples for susceptibility maps for slides at the Hochtannberg area (Warth) and the Gr. Walsertal (Fontanella). The maps are usually printed in colour to make them self-explanatory.

Fig. 8: Zwei Beispiele für die Gefährdungskarten im Hochtannberg Gebiet (Warth) und im Gr. Walsertal (Fontanella). Die Karten werden normalerweise in Farbe gedruckt, um sie noch eingängiger zu machen.

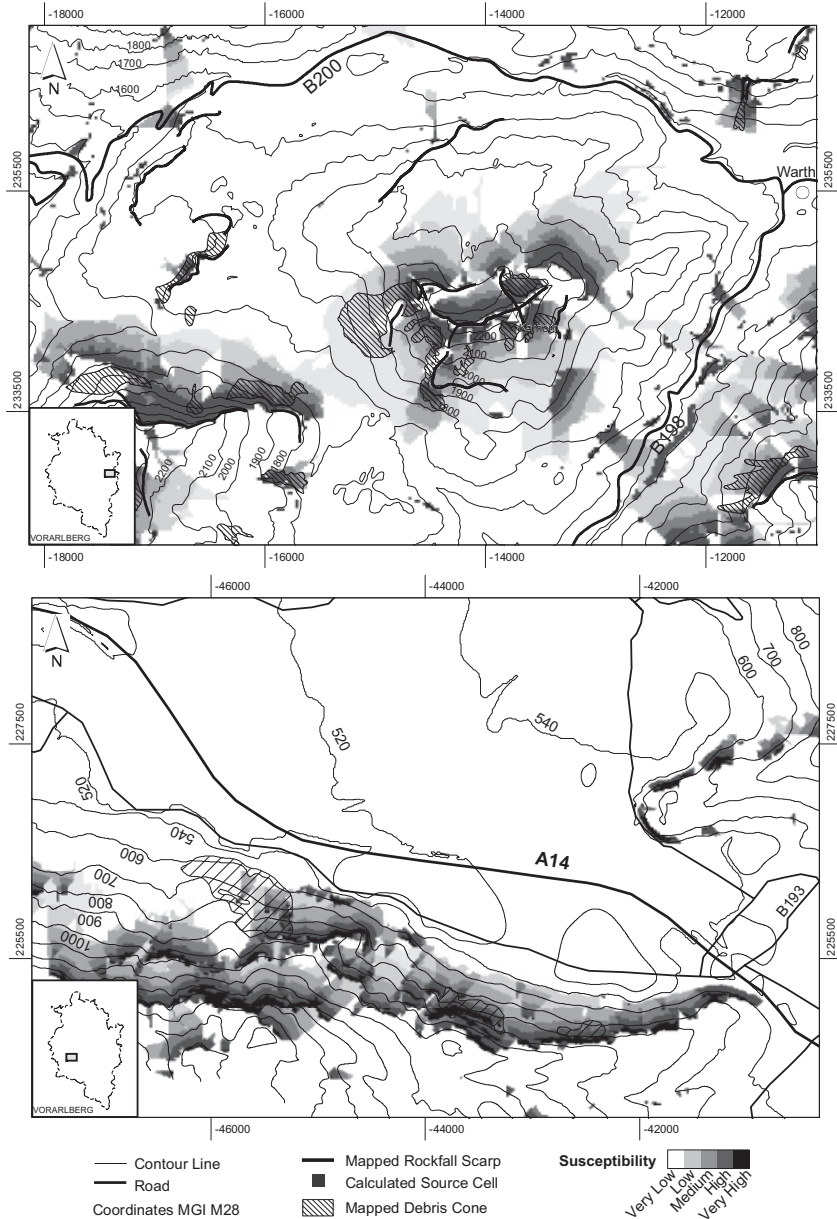


Fig. 9: Two examples for susceptibility maps for rockfall at the Hochtannberg area (Warth) and the Walgau (Nenzing). The maps are usually printed in colour to make them self-explanatory.

Fig. 9: Zwei Beispiele für Gefährdungskarten Sturzprozesse im Hochtannberg-Gebiet und im südlichen Walgau (Nenzing). Die Karten werden normalerweise in Farbe gedruckt um sie noch eingängiger zu machen.

The results of the susceptibility assessment were presented with maps in a general way. These maps are understandable for users without any geological or geotechnical background. Therefore these maps represent a useful tool for spatial planners, politicians and citizens. As a first step of risk management people can be informed about the geological hazards of their homelands.

Other types of mass movements (i.e. debris flows and snow avalanches) can also be analysed with aid of the GIS and presented as susceptibility maps. The rapid evolution of GIS technology and the improving availability of data will permit more complex models. The maps of each process can be overlaid with land use information and conceptual risk maps can be drawn.

At the moment the presented method has been applied to several of the main valleys of Vorarlberg (Bregenzerwald, Hochtannberg/Arlberg, Gr. Walsertal, Walgau, Klostersertal). It is planned to use it on the entire territory of Vorarlberg to get a complete view for further risk discussions and management.

REFERENCES

- Azzoni A, Rossi PP, Drigo E, Giani GP, Zaninetti A (1991) In situ observation of rockfall analysis parameters. In: Bell H (ed.) Landslides, Proceedings of the 6th Int. Symp. Landslides in Christchurch, New Zealand, Vol. 1: 307-314
- IAEG Commission on Landslides (1990): Suggested Nomenclature for Landslides. Bull. Int. Ass. Eng. Geol. 41: 13-16
- Jenson SK, Domingue JO (1988) Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. Phot. Eng. Rem. Sen. 54 (11): 1593-1600
- Juang CH, Lee DH, Scheu C (1992) Mapping slope failure potential using fuzzy sets. Journ. Geot. Eng. 118: 475-494
- Kassebeer W, Ruff M (2003) Georisikokarte Vorarlberg – Analyse geogener Gefährdungen mit GIS im regionalen Maßstab. In: Strobl J, Blaschke Th, Griesebner G. (Eds.) Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XV: 186-195
- Moser M, Üblagger G (1984) Vorschläge zur Erstellung von geotechnischen Karten und Erhebungen im Rahmen von Gefahrenzonenplänen in Hangbereichen. Int. Symp. Interpretation Villach, Vol. II: 275-287
- Ruff M (2005) GIS-gestützte Risikoanalyse für Rutschungen und Felsstürze in den Ostalpen (Vorarlberg, Österreich). 144 p., PhD. Thesis Department of Bau-, Geo- und Umweltwissenschaften, University of Karlsruhe (TH); Karlsruhe University Press [in german] <http://www.uvka.de/univerlag/volltexte/2005/46/>
- Ruff M, Czurda K (2007): Landslide Susceptibility Analysis with a Heuristic Approach at the Eastern Alps (Vorarlberg, Austria). Geomorphology, (in press)
- Ruff M, Rohn J (2007): Susceptibility Analysis for Slides and Rockfall - an Example from the Northern Calcareous Alps (Vorarlberg, Austria). Environmental Geology, (in press)
- Scheidegger E (1975) Physical Aspects of Natural Catastrophes. 289 p.; Elsevier

A NEW DATABASE OF ALPINE ROCK FALLS AND ROCK AVALANCHES

Philippe Schoeneich¹, Didier Hantz², Philip Deline³, François Amelot⁴,
and *Rocksliedetec-Action A* project partners

ABSTRACT

A new database of Alpine rock falls and rock avalanches has been established, based on the compilation and verification of published inventories, and on additional cases documented by project partners. All data are integrated in a database, with two information levels: basic data for all cases, detailed data for selected cases. The database contains by now around 550 cases, among them round 360 true rock fall and rock avalanche events. The detailed data will serve to various statistical analysis of susceptibility factors, frequency, etc. and for detailed case studies.

Keywords: rock falls, rock avalanches, Alpine inventory, database

CONTEXT AND GOAL OF THE DATABASE

The InterregIIIa *Rocksliedetec* project (2003-2006) was designed in order to develop new tools for the detection and the propagation modelling of rock avalanches (*Rocksliedetec* final report). Within this project, a new database of Alpine rock falls and rock avalanches has been established (*Action A* of the project), with two main goals:

- on short term, provide the experts with a wide set of information allowing an improvement of their analyses based on analogies with known cases. This aspect can be extended to the monitored unstable sites;
- on longer term, set the basis for an advanced statistical analysis of the phenomenon (frequency/probability, susceptibility, triggering and propagation factors).

The database focuses on very rapid to extremely rapid rock movements in the sense of the international classification by Cruden & Varnes (1996), which include: rock falls, very/extremely rapid rock slides, and rock avalanches. For simplification we will use rock fall as generic term.

The database contains two information levels, using the same database structure:

- a comprehensive inventory of events of more than 10⁶ m³, covering the whole Alpine range. The threshold of 10⁶ m³ has been considered as a realistic goal to achieve exhaustivity over the entire Alps. At this information level, only limited data are collected like name(s), location, date, type and if possible area and volume, mostly from literature;
- a detailed database, containing also smaller events, and covering mainly the working areas of the project partners (Valais, Aosta valley and Northern French Alps). These data have been collected by field work.

¹ Institut de Géographie Alpine, Université de Grenoble, 14 bis av. Marie-Reynoard, F-38100 Grenoble. PACTE UMR 5194 CNRS. Philippe.Schoeneich@ujf-grenoble.fr; fax: ++33 4 76 82 20 01

² Université de Grenoble, Laboratoire de Géophysique Interne et Tectonophysique, CNRS, Observatoire. Didier.Hantz@ujf-grenoble.fr

³ Université de Savoie, EDYTEM, UMR 5204 CNRS. pdeli@univ-savoie.fr

⁴ Centre de la Nature Montagnarde, Sallanches. f.amelot@centrenaturemontagnarde.org

DATABASE STRUCTURE

The database is designed to allow detailed analysis of susceptibility, triggering and propagation parameters. It contains therefore 38 tables including 305 fields organized in six main domains:

- topographical and geological characteristics of the concerned valley slopes;
- initial profile of the slope;
- post-failure profile of the slope;
- characteristics of the failure, including jointing, triggering factors, ...
- characteristics of the deposit;
- references to documents, literature, including reference numbers in the previous published inventories.

All data are organized around the table *Rockfall*, which contains the identification and the general characteristics of the event. Fig. 1 gives the basic structure of the database. Fig. 2 shows an example of the user interface for a detailed case.

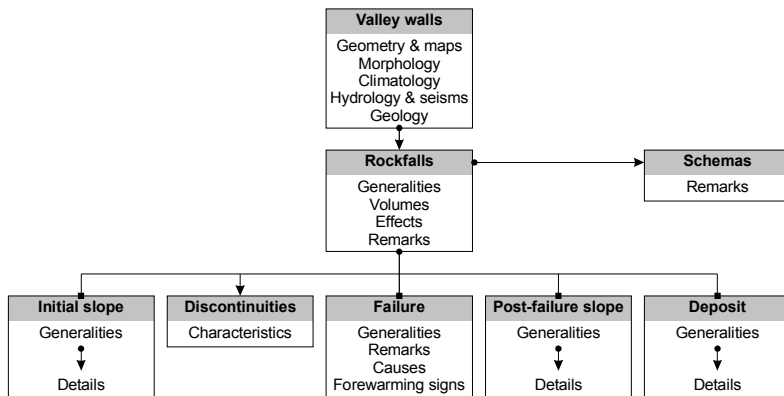


Fig. 1 Overall database structure

The "valley wall" is a relatively homogeneous area from a geological and geomorphological point of view. It extends transversely from the valley bottom to the top of the valley slope, and longitudinally as far as the geological and morphological characteristics remain roughly constant. It makes it possible to calculate a spatial and temporal rock fall density, if a sufficient number of rock falls have occurred in the same valley wall or in valley walls with the same geological and geomorphological characteristics. The rock fall densities for different geological and geomorphological contexts could then be compared (Dussauge-Peisser et al., 2002).

The initial and post-failure slopes are described, as well as the characteristics (attitude, spacing, extension, roughness, filling) and the role of the main discontinuity sets. They are subdivided in slope segments. This description can help the expert to determine the volume, geometry and failure mechanism of a potential failure in similar conditions. Information on the triggering factors makes it possible to know what type of triggering factor is the most efficient according to the geological and geomorphological context, and to the potential failure mechanism.

Information on the propagation includes geometrical parameters on the propagation path. It can be used for a better knowledge of the propagation angle (*Fahrböschung*) according to the geological and geomorphological context, and to the potential failure mechanism.

The description of the deposit includes geometry, geomorphological and granulometrical observations. The description can be subdivided in sub-areas with homogeneous characteristics, in order to account for the complex shape of many deposits. These data serve to interpret the propagation patterns, and to control modeling results. Figures (maps, topographical/geological profiles, photographs, ...) can be added to illustrate any of the described parameters.

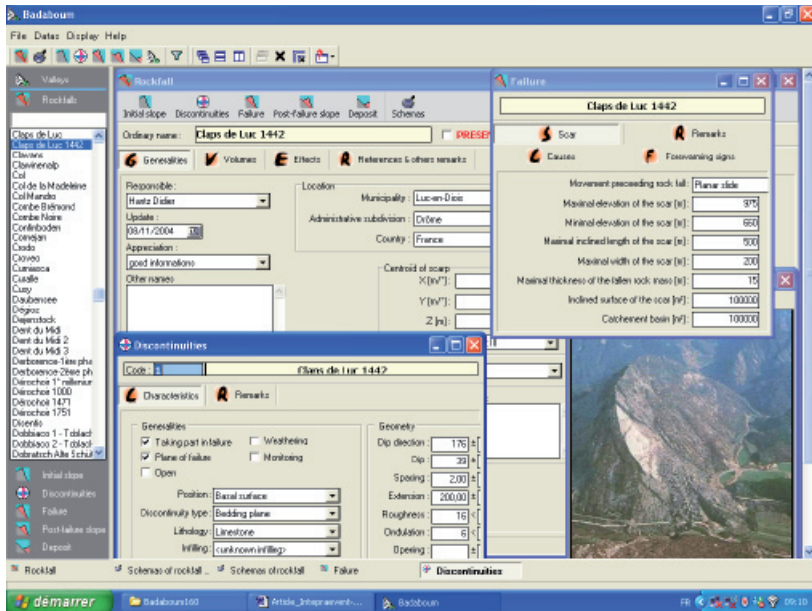


Fig. 2 User interface, illustrated with the Claps de Luc 1442 AD rockslide.

The database has been developed on MS Access 2000, using MS JetEngine 4.0 and the object interface MS-DAO 3.6. The user interface has been developed with Delphi 7 (fig. 2). The database can be used on any Windows computer without having Access installed. This version has been distributed to project partners only. A new, web interfaced version, is under development and will allow on-line access. The database will be available online in 2008 on the site www.CREALP.ch.

The same database structure has been used both for the inventory and for the detailed cases. For the inventory, only the available fields are documented. The detailed database needed additional field work and document analysis, which has been done by the project partners from 2003 to 2006.

THE INVENTORY DATA

The inventory is mainly based on the compilation of existing published inventories (Montandon 1933, Strelé 1936, Abele 1974, Eisbacher & Clague 1984) and other literature sources (Erisman & Abele 2001, Heim 1932, Oberholzer 1900, 1942, Schindler 2004, ...), as well as the *Infoslide* database of the Swiss geological survey. These inventories consider events of more than 1 to 3 10⁶ m³, as well as smaller events that caused numerous victims or significant damage. The inventories of Montandon (1933), Strelé (1936) and Eisbacher & Clague (1984) are restricted to historical

cases. Abele (1974) includes cases known from geological and geomorphological survey. Although there title announces inventories of “éboulements” or “Bergstürze”, most of them include also mass movement events of other types, like debris flows, slides or even glacial lake outbursts, as well as events where the main process is unknown or uncertain. Except *Infoslides*, none of these inventories was available in numeric form, and they had never been put together.

In order to harmonize the dataset and to allow the selection of true rock falls and rock avalanches, the following work has been done:

- extraction of text data and tables and conversion into tabular datasets;
- comparison of the inventories, identification of corresponding cases and elimination of duplicate records;
- separation of distinct events: some inventories agglomerate in a same case several successive events on the same location, or even different events in the same area. These have been considered as distinct events;
- identification of the main process for all events. Non-rockfall cases have been maintained in the database, in order to keep the integral original datasets, except for the *Infoslides* database, where only the rock fall/rock avalanche cases have been considered;
- determination of geographic coordinates for all cases (center point of scar or deposit), and conversion of the various national coordinates, if available, in universal WGS 84 geographic coordinates.

The following data fields could in most cases be filled:

- current name of event, and other corresponding names used by various authors;
- date of event for historical events, dating if available for dated events;
- WGS 84 geographic coordinates of center point (scar or deposit), if available: national metric coordinates;
- administrative subdivision at country and canton/department/Land level, if available at community level;
- main propagation process;
- number of victims, level and type of damage;
- if available: surface of deposit, volume, and other tabular data (like height, length, H/L or *Fahrböschung*, mainly from Abele 1974 and Erisman & Abele 2001);
- triggering factor if known;
- identification number in the published inventories and literature sources.

Published figures have been scanned and included, as well as in some cases map extracts for location and delimitation and, if the site could be visited, photographs.

In addition to the published sources, several tens of new cases, resulting from personal surveys of the project partners have been added. This results in a total of 554 events (500 from published inventories and 54 new cases from project partners, status September 2006), among them 360 are very rapid to extremely rapid rock movements, the others being either uncertain or of other types (table 1 and fig. 3). Several events involve process chains, like rock falls in catchment basins reworked by subsequent debris flows.

Tab. 1: Number of events recorded in the database

Source	Nb of entries	Effective nb of events	Nb of rockfall events	Nb of events of uncertain type	Nb of non-rockfall events
Montandon 1933	160	164	103	1	60
Strele 1936	35	35	2		33
Abele 1974	279	285	220	53	12
Eisbacher & Clague 1984	137	216	107		109
New cases	54	54	54		
Total (excl. duplicates)		554	360	54	140

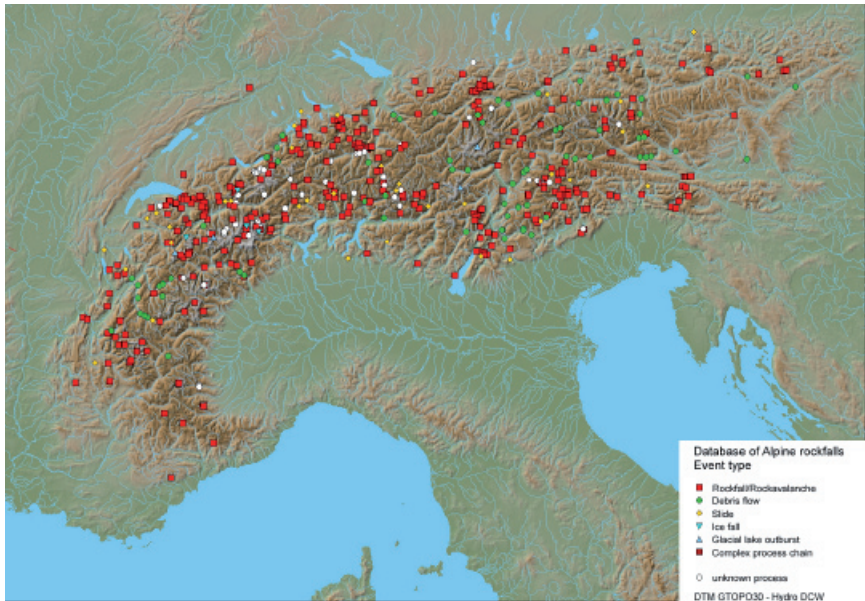


Fig. 3: Location map of all documented cases. Non-rock movements mentioned in published inventories have been kept in the database, in order to allow the reconstruction of these inventories.

This inventory allows already some considerations on the spatial distribution of the cases, or on the temporal distribution of historical records. Fig 3 shows the distribution of the documented cases. It appears that the highest density is encountered in the Swiss Alps, followed by the Western Austrian Alps and Northern Italy, where the previous authors concentrated their work. The Southern Alps, both on the French and particularly the Italian side, as well as Eastern Austria and Eastern Slovenia show a very low density of recorded events. The circa 50 cases added by project partners concentrate in their working areas (Valais, Aosta valley and Rhone-Alpes region) and are not represented on the map.

Among the 357 certain rock falls or rock avalanches, 160 are dated: most are historical events, 15 are Holocene events dated by radiocarbon or radionuclides. A few Lateglacial events are indirectly dated by associated moraines. The distribution of historical events shows that their frequency is dependent on the quality of the historical record (fig. 4). Four periods can be distinguished:

- the Antiquity and early Middle Ages, with isolated records only, almost restricted to cases that caused very numerous victims, and/or triggered by earthquakes;
- the end of Middle Ages (11th to 14th centuries) with 3 recorded cases/century;
- early modern time (15th to 18th centuries) marked by more systematic archives;
- the two last centuries, marked by the beginning of the scientific interest for natural processes, and later by systematic inventories.

Within each period, the frequency seems to be homogeneous, but the density of the record improves for younger periods. This expected result confirms that there are many missing cases, and that a statistical exploitation of the frequency with time would give no reliable results.

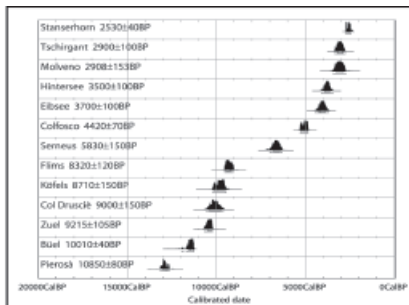
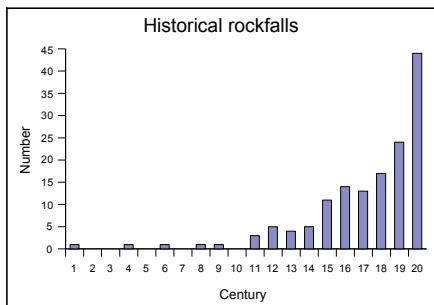


Fig. 4 Distribution of 145 recorded historical rock fall events (number of events/century)

Fig. 5 Distribution of calibration ranges of 13 radiocarbon dated rock fall events

The few dated Holocene events are equally distributed over the Holocene, but their number is insufficient to allow any conclusions on a possible influence of climate changes (fig. 5). One can notice however that several events, including the two largest known (Flims and Köfels), occurred at the beginning of the Holocene Climate Optimum, a period during which almost no slide event is dated (Schoeneich et Dapples 2004). This could indicate that large rock falls/rock avalanches are less dependent on precipitation than other types of mass movements.

Concerning triggering factors, the trigger by earthquake, often mentioned as possible or probable trigger, is actually confirmed for only 8 historical events. It must however be pointed out that the trigger is unknown in most cases.

THE DETAILED CASES

Several tens of events have been documented in detail, ranging in volume from 10^4 m³ to several 10^6 m³. Most cases are located in the working area of the project partners. They include cases known from the inventory, which have been revisited in order to acquire detailed data, and new cases studied by the project partners. Several cases of unstable zones representing potential hazards have been documented too.

The acquisition of detailed data needed intensive field work, including survey of the deposit and of the scar, measurements of the jointing in the scar area, as well as analysis of available documents like pre-failure topographical data.

This information level is not intended to cover exhaustively the entire Alps, but to focus on the most important, respectively the best documented events, and on some study areas. In some limited and geologically homogeneous areas, like the Ecrins massive or the Chartreuse range in France, a comprehensive inventory covering the whole size range will be achieved, in order to allow frequency/size analyses (Dussauge-Peisser et al., 2002).

In most cases, only part of the fields could be documented. The dataset is therefore very heterogenous yet, making statistics difficult at the present state. As examples of good documented fields, volume estimations for the scar or the deposit are available in 156 cases (fig. 6), the area of the deposit in 285 cases, values for the *Fahrböschung* (or H/L) for 216 cases. But initial slopes are documented in only 27 cases, geometric characteristics of the scar in 38 cases, discontinuities have been measured for only 30 cases.

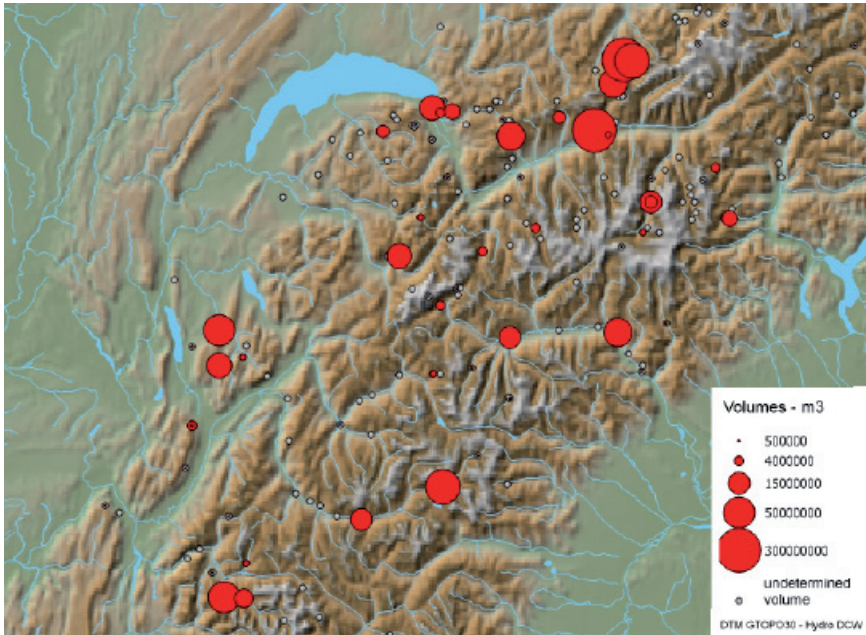


Fig. 6 Volume of rockfall events within the working area of the project partners.

OUTLOOK

The database structure is ready and tested, but the data collection is still in progress. It will be continued within the InterregIIIb project *ClimChAlp*, in order both to complete and improve the inventory and to extend the detailed database to the entire Alps for the largest rock fall and rock avalanches, together with new partners from Germany, Austria, Italy and Slovenia.

As mentioned above, it should be made available on-line, for consultation and for on-line contribution on the website www.CREALP.ch. It should also be linked to a GIS, in order to allow mapping and spatial analysis.

The collected data will be used in future for:

- search for similar cases in hazard assessment;
- statistical analyses of susceptibility and triggering factors (Frayssines et al., 2006);
- frequency analyses, giving constraints to hazard assessment (Hantz et al., 2003);
- study of the influence of climate changes on the occurrence of rock avalanches during the Holocene period (Schoeneich et Dapples 2004);
- analysis of propagation;
- ...

In the idea of the RockslideteC project, the dataset should also serve as base and control data for the validation of propagation modelling. It appeared however that only a limited number of recent events, for which detailed topographic data of the pre-failure slope are available, are usable.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work was funded by the EU within the cooperation program Interreg 3 ALCOTRA, funded by the Conseil général de la Haute-Savoie, the Conseil général de la Savoie, the Syndicat Mixte pour l'élaboration et le suivi du Schéma Directeur de la Région Grenobloise (SMSD), the Délégation Interministérielle à l'Aménagement du territoire (DIAct, ex DATAR), and the Federal Office for Water and Geology (FOWG) of the Italian State.

REFERENCES

- ABELE G. (1974). *Bergstürze in den Alpen*. Wissenschaftliche Alpenvereinshefte, 25. München.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1996). Landslide types and processes, in: *Landslides, Investigation and Mitigation*, National Academy Press, Washington, D.C., 36–75, 1996.
- DUSSAUGE-PEISSER C, HELMSTETTER A, GRASSO J-R, HANTZ D, JEANNIN M, GIRAUD A. (2002). Probabilistic approach to rock fall hazard assessment: potential of historical data analysis. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2: 15-26.
- EISBACHER G.H., CLAGUE J.J. (1984). *Destructive mass movements in high mountains: hazard and management*. Geological Survey of Canada, Paper 84-16.
- ERISMANN T. H. et ABELE G. (2001). *Dynamics of rockslides and rockfalls*. Berlin, Springer.
- INFOSLIDE. <http://www.bwg.admin.ch/themen/natur/f/invenmas.htm>.
- FRAYSSINES M., HANTZ D. (2006). Failure mechanisms and triggering factors in calcareous cliffs of the Subalpine Ranges (French Alps). *Engineering Geology* 86, 256-270.
- HANTZ D., VENGEON J.M., DUSSAUGE-PEISSER C. (2003). An historical, geomechanical and probabilistic approach to rock-fall hazard assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 3: 693-701.
- HEIM A. (1932). *Bergsturz und Menschenleben*. Zürich, Fretz and Wasmuth Verlag.
- MONTANDON F. (1933). Chronologie des grands éboulements alpins du début de l'ère chrétienne à nos jours. *Matériaux pour l'étude des calamités*, 32, p. 271-340.
- OBERHOLZER J. (1900). *Monographie einiger praehistorischer Bergstürze in den Glarneralpen*. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. 9.
- OBERHOLZER J. (1942). *Geologische Karte des Kantons Glarus 1:50'000*. Geol. Spezialkarte 117. Rockslidetec final report. <http://www.risknat.org/projets/rockslidetec/rockslidetec.htm>.
- SCHINDLER C. (2004). *Zum Quartär des Linthgebiets zwischen Luchsingen, dem Walensee und dem Zürcher Obersee*. Beitr. geol. Karte Schweiz, N.F. 169.
- SCHOENEICH P., DAPPLES F. (2004). *Mass movements during the Holocene: a climate proxy ? Synthesis of Alpine data and interpretation problems*. Communication au colloque ClimAlp, Aix-les-Bains, 15-18 janvier 2004.
- STRELE G. (1936). Chronologie des grands éboulements alpins du début de l'ère chrétienne à nos jours. Premier supplément comprenant les pays occidentaux de l'ancienne Autriche. *Matériaux pour l'étude des calamités*, 38, p. 121-137.

AN INTER-DISCIPLINARY STRATEGY FOR LANDSLIDE HAZARD MONITORING

Robert Supper¹, Alexander Römer¹, Gerhard Bieber¹, Wolfgang Jaritz², Grete Wöhrer- Alge³

ABSTRACT

After a large landslide event in Sibratsgfall/Austria several exploration methods were evaluated on their applicability to investigate and monitor landslide areas. The resulting optimised strategy consists of the combined application of airborne electromagnetic, ground geoelectrical measurements and geoelectrical monitoring combined with hydrological and geological mapping and geotechnical modelling. Interdisciplinary communication and discussion was the primary key to assess this complicated hazard situation.

Keywords: Landslides, mitigation strategy, geophysics, monitoring.

1 Geological Survey of Austria, Neulingasse 38, 1030 Vienna, Austria (Tel.: +43-1 7125674 380; email: Robert.supper@geologie.ac.at)

2 Moser & Jaritz-ZT, Civil Engineering Company, Münzfeld 50, Gmunden, Austria, Münzfeld 50, email: w.jaritz@moser-jaritz.at

3 State Department of Torrent and Avalanche Control, Rheinstrasse 32/4, A-6900 Bregenz, email: margarete.woehrer@wlv.bmlfuw.gv.at

THE LANDSLIDE EVENT

One of the largest landslides in Austria over the last years occurred near Sibratsgfall in the federal state of Vorarlberg (Austria), where about 70 million m³ of soft rocks and an area of 1,6 km² was involved in a hazardous mass movement, destroying 17 buildings completely. A short period of heavy precipitation and the rapid melting of snow in spring of 1999 initiated this catastrophic landslide on the South-flank of the Rubach Valley. The movement rates of rock- and debris bodies involved exceeded up to 1m per day.

THE STRATEGY

As a follow up of this catastrophic landslide a strategy (an overview is displayed in fig.1) to deal with similar events was worked out based on the evaluation of applied measures. It turned out that airborne geophysical measurements are a valuable tool to get a quick overview of the geological situation, to detect areas susceptible to a high sliding probability, to assist the follow up geological and hydrological mapping program and to optimise planning of further (ground)-geophysical surveys. Within a second step ground geoelectrical surveys were used for advanced understanding of the internal structure of the landslide. The location of survey lines was planned according to the resistivity pattern derived from the airborne electromagnetic survey. Based on these findings and on the results of a geohydrological mapping program (Jaritz, et. al., 2004), boreholes were drilled to calibrate the geoelectrical results and to determine the geotechnical parameters of soil samples. Additionally geophysical logging and hydrophysical logs were performed (Pedler, et. al, 1992). Based on all of these results a geotechnical subsurface model was set up and parameters and conditions of safety and failure were calculated. Finally a multi parameter monitoring network was set up and maintained now for four years.

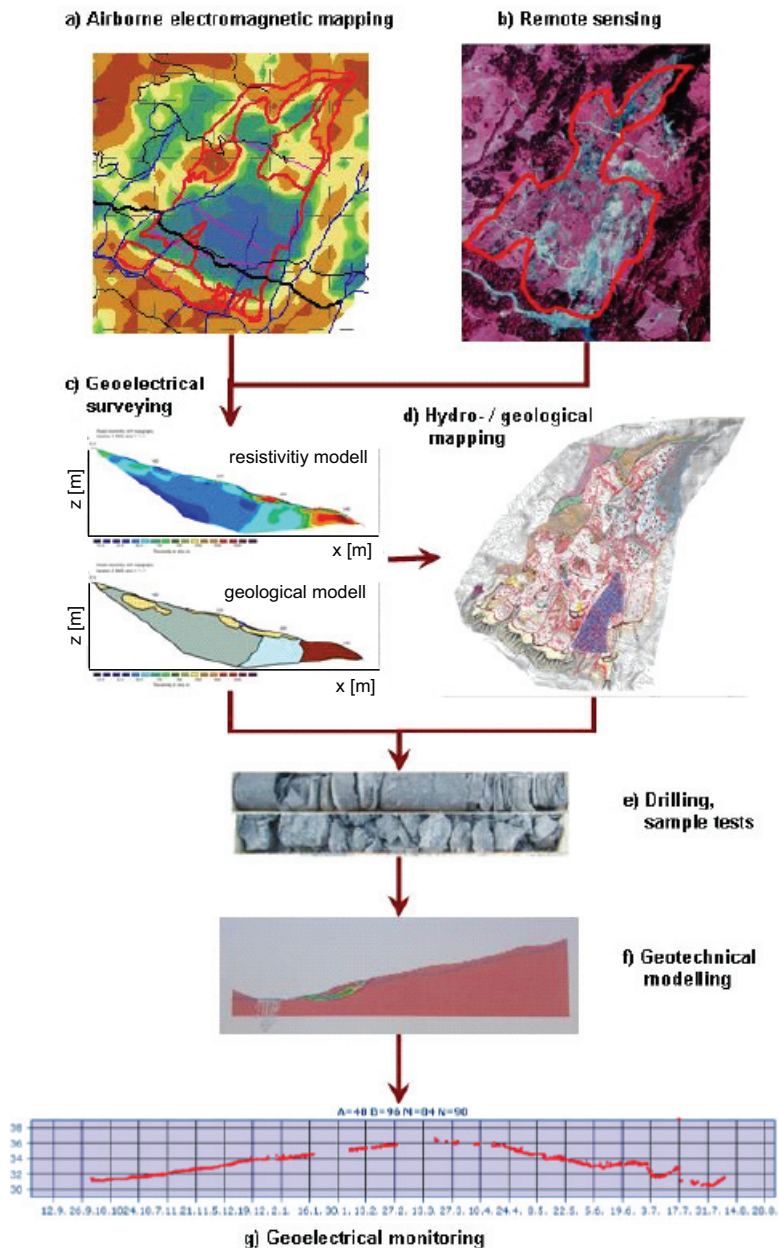


Fig 1: Overall scheme of applied research strategy

AIRBORNE GEOPHYSICAL SURVEY AND REMOTE SENSING

A high resolution, multi-parameter airborne survey was performed, using electromagnetics, magnetics, gamma ray measurements, soil humidity and infra red sensors (Motschka, et. al., 2001). Electromagnetics turned out to be the most important parameter to investigate the structure of large scale landslide areas. Using this method a conceptual model of the subsurface structure could be derived. The results were very valuable for mapping geologists as they helped to optimise mapping procedures and to minimise actual field work, which is often very difficult and time demanding in the rugged terrain of sliding slopes. Fig.2 shows the results of the homogenous halfspace inversion of airborne electromagnetic data (Ahl, et. al, 2007). The area affected by movement shows lower resistivities than surrounding structures.

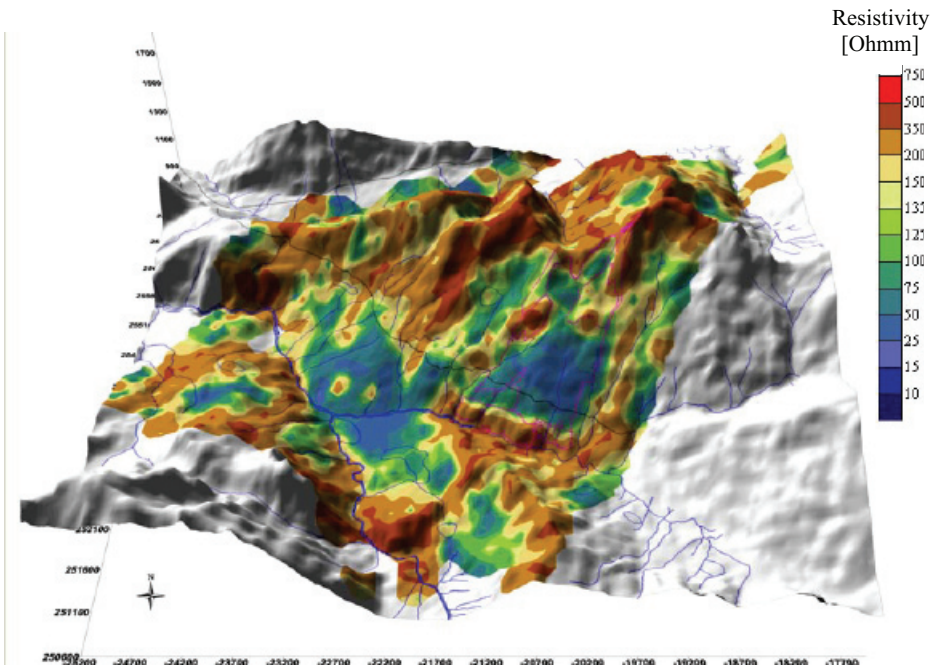


Fig.2: Results of airborne electromagnetic mapping – Resistivities [Ohmm] of homogenous halfspace inversion are draped on digital terrain model

GROUND GEOELECTRICAL SURVEY AND GEOTECHNICAL MODEL

The outcome of the airborne survey furthermore helped to optimise the location of a ground based geoelectrical campaign. Several km of multielectrode profiles were carried out to constrain the inversion of the airborne electromagnetic data and to determine the detailed internal structure of the sliding area. Fig.3 shows the geoelectric results of one profile crossing a mudflow structure. The geoelectric results could be calibrated after drilling of several deep boreholes and the application of borehole electromagnetic logging.

Based on the subsurface model derived from the geoelectrical results, geotechnical calculations (fig.4, fig.5) proved that soil water content is the driving factor for movement of this landslide. According to situations of high or low water level different scenarios of failure resulted, thus underlining the importance of monitoring the subsurface water regime for the design of future early-warning systems.

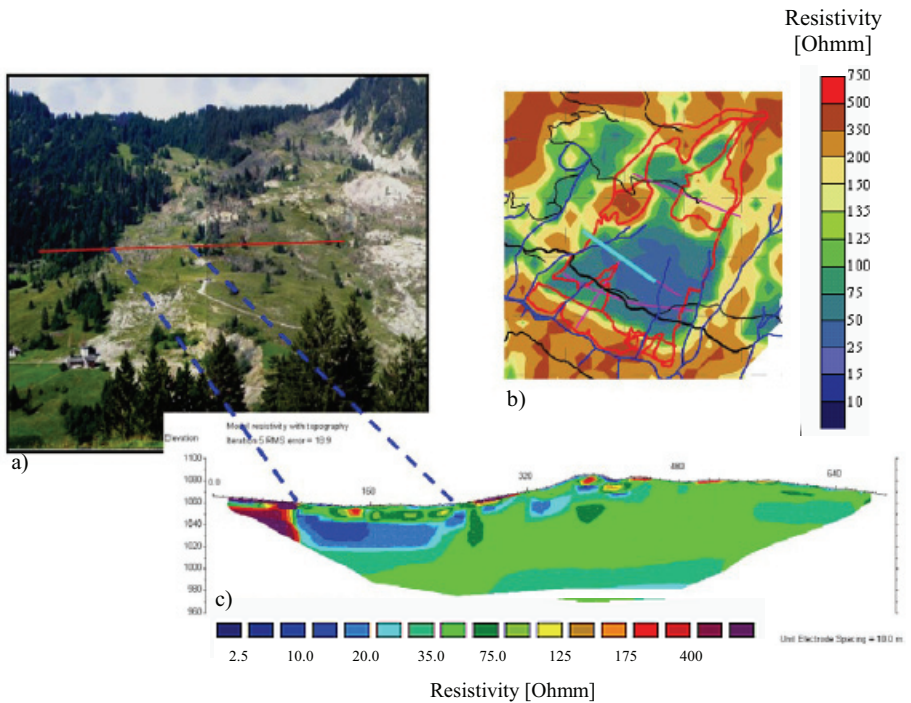


Fig.3: Results of geoelectric profile crossing a recent mudflow area; a) shows location of profile, b) shows location of profile within resistivity pattern of airborne mapping, c) geoelectric result

THE MONITORING SYSTEM

As changing hydrological conditions are reflected mainly in a variation of saturation, the geoelectric method, whose determining parameter Resistivity mainly depends on porosity, saturation, pore fluid conductivity and clay content, could be a reliable tool for observing such changes. Consequently a multi-parameter monitoring system was designed (Supper, et al, 2002, 2003, 2004). The core part of the development was focused on the design of an innovative geoelectrical monitoring system.

The monitoring system has now been in operation since 2002. The data is sent daily by email to the central data base in Vienna. The geoelectrical system is supported by meteorological monitoring instruments, soil temperature and soil humidity measurements at different depths, inclinometric measurements, GPS time lapse positioning and hydrological monitoring. The results of four years of monitoring show a correlation of resistivity and self potential anomalies with phases of increased movement. However, due to financial reasons and as the focus of the project was centred on system development and not data interpretation, permanent movement observation could not be performed. Fig.6 give a selected results from 2003. Fig. 7 shows the result of repeated GPS measurements. Points 141 and 142 are close to the monitoring site.

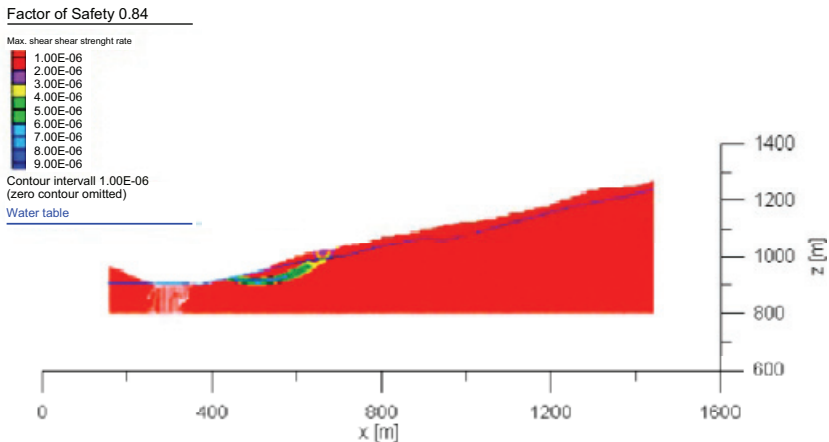


Fig.4: Determination of sliding surface using geotechnical simulations. Calculations are based on the subsurface model derived from geoelectric measurements and core probing: results at low groundwater table (after Hofmann, 2005)

Factor of Safety 0.94

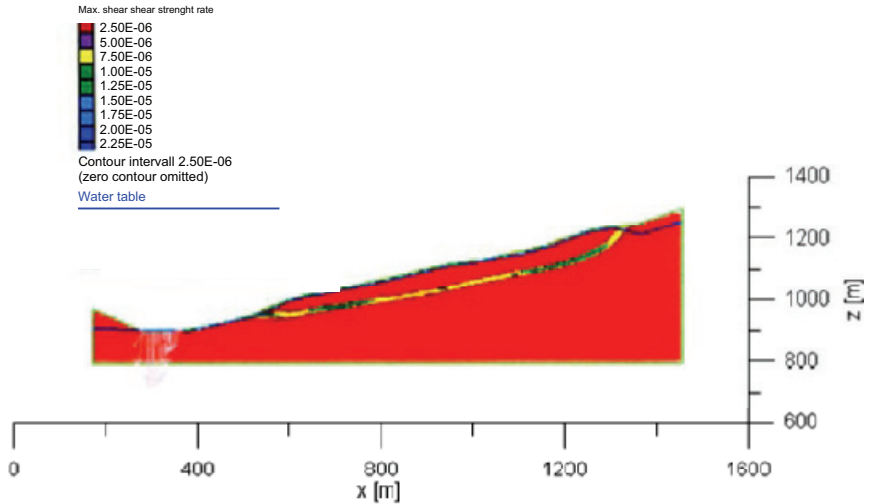


Fig.5: Determination of sliding surface using geotechnical simulations. Calculations are based on the subsurface model derived from geoelectric measurements and core probing: results at high groundwater table (after Hofmann, 2005)

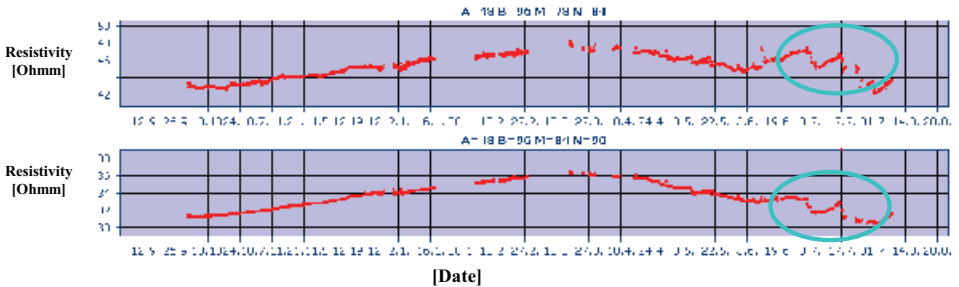


Fig. 6: Selected result of geoelectric monitoring; circle indicates anomalous behaviour of resistivity measurements [Ohmm] at times of increased slope movements

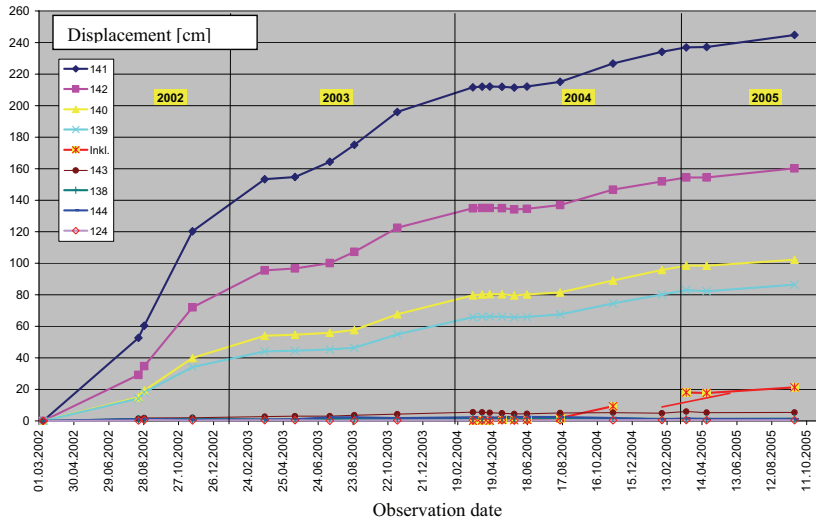


Fig.7: Displacement observation based on GPS data at the monitoring site Rindberg

CONCLUSIONS

Several methods were evaluated to design an improved interdisciplinary strategy for immediate measures to be applied in case of future landslide events. The strategy allows to quickly assess the prevailing hazard situation and to develop and recommend effective mitigation measures. The resulting optimised approach consists of the application of airborne electromagnetics, ground geoelectrical measurements and geoelectrical monitoring combined with hydrological and geological mapping and geotechnical modelling. Interdisciplinary communication and discussion was the primary key to access this complicated hazard situation in the case of the large-scale landslide event evaluated at Rindberg.

LITERATURE

Ahl, A., Winkler E., Bieber G., Römer A.: Probabilistic inversion of aeroelectromagnetic data with a homogeneous halfspace model: *Journal of Applied Geophysics*, submitted, 2007.

Hofman, R.: *Bodenmechanische Berechnungen, Parameterstudien: Rutschung Rindberg, Perchtoldsdorf 02/2005.*

Jaritz W, Reiterer A, Supper R.: *Landslide Rindberg (Vorarlberg): Multidiscipline Research, Proceedings of the 10th Interpraevent Congress, Riva del Garda, 2004.*

Motschka, K.: *Aerogeophysics in Austria: Bulletin of the Geological Survey of Japan Vol. 52 No. 2/3, pp. 83–88, Tsukuba, Japan, 2001.*

Pedler, W. H., Head, C. L., and Williams, L. L.: *Hydrophysical Logging: A New Wellbore Technology for Hydrogeologic and Contaminant Characterization of Aquifers, Proceedings of National Groundwater Association 6th National Outdoor Action Conference, pp 1701-1715, 1992.*

Supper R., Römer A., Hübl G.: *Development of a new, fast remote controlled 3D geoelectrical system for subsurface surveillance, Proceedings of the Environmental and Engineering Geophysical Society, 8th Meeting Aveiro, Portugal, 2002.*

Supper R. , Römer A.: *New achievements in development of a high-speed geoelectrical monitoring system for landslide monitoring, Proceedings of the Environmental and Engineering Geophysical Society, 9th Meeting Prag, 2003.*

Supper R., Römer A.: *New achievements in development of a high-speed geoelectrical monitoring system for landslide monitoring (GEOMONITOR2D), Proceedings of the SAGEEP 2004 meeting, Colorado Springs, 2004.*

Acknowledgements: This study was financed by grants from the State Department of Torrent and Avalanche Control (WLV), the Federal Ministry of Transport, Innovation and Technology (BMVIT), the Federal Ministry of Science and Research (BMWF), the State of Vorarlberg and internal research funds of the Geological Survey of Austria. We further like to thank Martina Mittelberger – Land Surveying Office Feldkirch (GPS) and Robert Hofmann (geotechnical consulting) for fruitful cooperation.

Risikomanagement
Risk management
Gestion du risque
Gestione del rischio

WIRKUNGSPRÜFUNG DES KATASTROPHENMANAGEMENTS

EIN UMFASSENDE ANSATZ ZUR PRÜFUNG DER EFFEKTIVITÄT, EFFIZIENZ UND ANGEMESSENHEIT DES KATASTROPHENMANAGEMENTS BEI HOCHWASSER FÜR ÖSTERREICHISCHE GEMEINDEN

DISASTER MANAGEMENT PERFORMANCE AUDIT

A COMPREHENSIVE MODEL TO ASSESS THE EFFECTIVENESS, EFFICIENCY AND APPROPRIATENESS OF DISASTER MANAGEMENT IN THE CASE OF FLOODS FOR AUSTRIAN LOCAL AUTHORITIES

Verena Adam¹

ZUSAMMENFASSUNG

Auf Grund der Knappheit öffentlicher Gelder hat die verstärkte Überprüfung der Aktivitäten des Verwaltungssektors an Bedeutung gewonnen. Dabei wird nicht mehr nur die reine Ordnungs- und Rechtmäßigkeit, sondern zunehmend auch das Erreichen der intendierten Wirkungen von Tätigkeiten öffentlicher Verwaltungen beurteilt, zu denen unter anderem der Katastrophenschutz und die -hilfe als in weiten Teilen vom Staat zur Verfügung gestellte öffentliche Güter, gehören. Im vorliegenden Beitrag wird analysiert, in wie weit sich das Hochwasser-Katastrophenmanagement kommunaler Behörden in Österreich, denen auf Grund des föderalen Staatsaufbaus und des Subsidiaritätsprinzips weitgehende Verantwortung in diesem Bereich zukommt, materiell evaluieren lässt. Anhand des Verfahrens der Wirkungsprüfung wird eine Analyse von Ressourcen, Prozessen und Ergebnissen im Hinblick auf ihre Effizienz, Effektivität und Angemessenheit vorgenommen. Es wird ein dieser Systematik folgendes standardisiertes Konzept vorgestellt, das die Aufgaben und Zuständigkeiten kommunaler Behörden – aber auch die Verantwortung weiterer Beteiligter wie Versicherungsunternehmen, Medien, Einsatzorganisationen und schließlich Betroffene – in den Phasen der Vorsorge und der Bewältigung aufzeigt und eine Analyse der Problembereiche und Mängel der Maßnahmen bei Hochwasserereignissen ermöglicht.

Keywords: Wirkungsprüfung, Katastrophenmanagement, Effizienz, Effektivität, Angemessenheit

ABSTRACT

Due to the scarcity of public funds, the review of activities in the public sector has intensified during the past years. The assessment of legislative compliance is being increasingly replaced or combined

¹ **Senior Internal Auditor**, Zurich Financial Services, Mythenquai 2, 8022 Zürich, Schweiz (Tel.: +41-44-625-3232; email: verena.adam@zurich.com)

with evaluations of the intended effects of public authorities' activities such as disaster prevention and mitigation. This paper analyses the extent to which flood disaster management by local authorities in Austria – who carry a large degree of responsibility in this field according to the federal structure and the principle of subsidiarity – can be materially evaluated. A comprehensive performance audit model is applied, which foresees the evaluation of resources, processes and results and the analysis in terms of their efficiency, effectiveness and appropriateness. A standardized concept following this scheme is introduced stating the tasks and duties of local authorities – but also the responsibilities of other stakeholders like insurance companies, the media, emergency response organizations and people affected – in the phases of prevention and mitigation and enables an analysis of problem areas and deficiencies of measures to combat floods.

Keywords: Performance audit, disaster management, efficiency, effectiveness, appropriateness

EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG

Durch extreme Naturereignisse ausgelöste Katastrophen weisen in der heutigen Zeit zum einen durch die schnelle Verbreitung und Berichterstattung in den Medien, zum anderen auf Grund einer tatsächlich gestiegenen Anzahl an Ereignissen sowie den anwachsenden Schadenssummen eine immer stärkere Präsenz auf. Katastrophen scheinen zudem immer bedrohlichere Ausmaße anzunehmen. Einerseits tendiert die heutige ‚Risikogesellschaft‘ dazu, immer neue technische Gefahren zu produzieren, die Ursache für so genannte ‚man-made‘-Katastrophen sein können, andererseits treten – bedingt durch Eingriffe in die Umwelt und den daraus resultierenden Klimawandel – immer weiter reichende Naturkatastrophen auf.

Die Hochwasserereignisse der letzten Jahre in Mitteleuropa haben der Gesellschaft bewusst gemacht, dass auch in hoch industrialisierten Ländern kein ausreichender Schutz gegen durch extreme Naturereignisse ausgelöste Katastrophen möglich ist. In vielen Regionen wurden alle bisher gemessenen Niederschlagsmengen und Abflüsse überschritten und die dadurch verursachten enormen Schäden lösten viele Diskussionen zum Umgang mit derartigen Extremereignissen aus.

Die Häufung aktueller Ereignisse bewirkte auch in der Wissenschaft eine verstärkte Beschäftigung mit dem Phänomen ‚Katastrophe‘. Waren es früher vorwiegend die naturwissenschaftlichen und technischen Fächer, so befassen sich heute vermehrt auch die Forschung in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften sowie die Politik mit Katastrophenereignissen. Dies ist angesichts der in weiten Bereichen gegebenen Zuständigkeit öffentlicher Stellen für Aufgaben in der Vorsorge und Bewältigung von Naturkatastrophen und der daraus resultierenden beträchtlichen Summen an öffentlichen Geldern, die jährlich in den Katastrophenschutz und die Behebung von Schäden fließen, dringend erforderlich. Der vorliegende Beitrag behandelt aus einer interdisziplinären Sichtweise mit besonderer Berücksichtigung der öffentlich-rechtlichen und betriebswirtschaftlichen Aspekte die Thematik der Evaluation von Maßnahmen vor, während und nach Hochwasserereignissen. Das Ergebnis ist ein Konzept für eine wirkungsorientierte Prüfung des Hochwasser-Katastrophenmanagements auf der Ebene von Gemeinden, da diesen auf Grund des Subsidiaritätsprinzips und des föderalen Staatsaufbaus eine Hauptzuständigkeit für die Durchführung von Maßnahmen der Vorsorge und Bewältigung einer Katastrophe zukommt. Für diese wurde ein Konzept entwickelt und beispielhaft in einer vom Hochwasser 2002 betroffenen Gemeinde

angewendet, das eine umfassende Beurteilung der bestehenden Vorsorgemaßnahmen vor Überschwemmungen und deren Bewältigung im Ereignisfall ermöglicht und Schwachstellen und notwendige Verbesserungen aufzeigt.

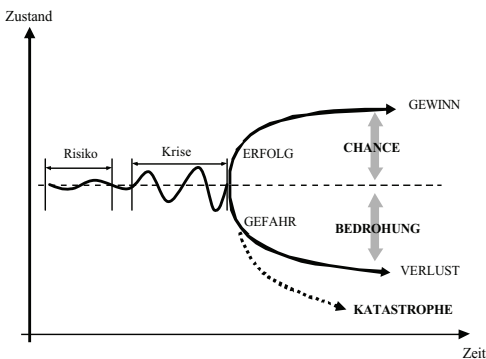
KATASTROPHENMANAGEMENT

Die organisatorische Gestaltung des Umgangs mit Katastrophen wird insbesondere mit dem Schlagwort ‚Katastrophenmanagement‘ bezeichnet. In der betriebswirtschaftlichen Literatur findet sich bislang keine eindeutige Definition des Begriffs, wie auch allgemein der Beitrag der Betriebswirtschaftslehre zum Katastrophenmanagement gering ausfällt.

Begriffsdefinition und Abgrenzung

Die Zusammensetzung des Worts ‚Katastrophenmanagement‘ aus den beiden Komponenten ‚Katastrophe‘ und ‚Management‘ wirkt bei erster Betrachtung widersprüchlich:

Im täglichen Sprachgebrauch wird ‚Katastrophe‘ häufig mit den Ausdrücken ‚Krise‘ oder ‚Notfall‘ gleichgesetzt.



Übersetzt bedeutet der Begriff ‚Katastrophe‘ so viel wie ‚Wende nach unten‘. Eine Katastrophe setzt demnach ein, wenn das auslösende Ereignis so stark ist, dass die Gesellschaft einen gewissen Wendepunkt, an dem der Ausgang noch ungewiss ist, überschreitet und sich die Situation – im Unterschied zur ‚Krise‘ – ins Negative kehrt, wobei ein Abwenden der Auswirkungen auf die betroffene Bevölkerung nicht mehr möglich ist.

Abb1: Von der Krise zur Katastrophe
Fig1: From crisis to disaster

Die Katastrophenforschung als interdisziplinärer Forschungsgegenstand berührt auch viele Bereiche, die der Ökonomie zuzuordnen sind. Ein reichhaltiger Literaturbestand und viele Ansätze zum Thema ‚Krisen‘ und ‚Krisenmanagement‘, die den Umgang und die Bewältigung von Unternehmenskrisen behandeln, stehen jedoch einem bis anhin geringen Engagement der volks- und betriebswirtschaftlichen Behandlung von Naturkatastrophen gegenüber. Explizit mit der Prävention und Bewältigung von Katastrophen befasst sich aus nahe liegenden Gründen die Versicherungswirtschaft. Weiters relevant ist eine eindeutige Abgrenzung der ‚Katastrophe‘ im Recht, da häufig Zuständigkeiten und Kostenträgerschaft an den Katastrophenbegriff geknüpft sind, und er als Schwellenwert für bestimmte Maßnahmen dient. Ein einheitliches Begriffsverständnis wird in Österreich allerdings besonders dadurch erschwert, dass im Zuge der bundesstaatlichen Kompetenzverteilung auch die Materien und Aufgaben, die mit der Prävention und Bekämpfung von

Katastrophen in Zusammenhang stehen, in Gesetzgebung und Vollziehung zwischen dem Bund und den Ländern zersplittert sind.

Der Begriff ‚Management‘ beschreibt einerseits den Komplex von Aufgaben, die zur Steuerung eines Systems erfüllt werden müssen (Management im funktionalen Sinn). Der funktionale Ansatz betrachtet die Funktionen, die in arbeitsteiligen Organisationen zur Aufgabenerfüllung der ausführenden Stellen notwendig sind. Als Tätigkeiten des Managements werden in der Literatur oft explizit die Handlungen des Planens, Entscheidens, Organisierens und Koordinierens, Führens von Menschen, Kontrollierens etc. aufgezählt. Andererseits wird die Institution (Management im institutionellen Sinn) beschrieben. Dabei werden die Träger oder Personengruppen verstanden, die Managementaufgaben wahrnehmen, sowie deren Tätigkeiten und Rollen.

Die relativ strikte Definition von Funktionen und Prozessabläufen bzw. von Personen, denen die Ausübung der Managementaufgaben zukommt, scheint in einem gewissen Widerspruch zu stehen mit dem chaotischen und ungeplanten bzw. unkontrollierten Zustand, den man mit einer Katastrophe verbindet. Die Plötzlichkeit und Unvorhergesehenheit des Eintritts und die Überschreitung der Schwelle von der Störung zur Zerstörung eines Systems scheinen einen gewissen Gegensatz zum systematischen Planen, Entscheiden, Organisieren und Führen darzustellen. Dieser Widerspruch löst sich bei genauerer Analyse jedoch auf: Gerade bei Katastrophen ist eine festgelegte Organisation für eine erfolgreiche Früherkennung, Vermeidung oder Bewältigung essentiell, da dadurch (zum Beispiel in so genannten ‚Katastrophenschutzplänen‘) die Zuständigkeiten und Abläufe festgelegt und koordiniert werden und klare Weisungsbefugnisse und Hierarchien bestehen. Sowohl dem institutionellen (Träger von Leitungsbefugnissen) als auch dem funktionalen (Planung, Entscheidung, Anordnung, Kontrolle) Management kommt in Katastrophenfällen große Bedeutung zu.

Katastrophenmanagement als Prozess

Der Prozess des Katastrophenmanagements bezeichnet die Aufgaben und Funktionen, die in der zeitlichen Reihenfolge ihres Anfalles erfüllt werden müssen. Er kann in die Abschnitte ‚Katastrophenvorsorge‘ (Katastrophenschutz) und ‚Katastrophenbewältigung‘ (Katastrophenhilfe) eingeteilt werden. Die Vorsorge reicht von der Risikoanalyse über die Maßnahmen der Vorbeugung bis zum Monitoring und der Frühwarnung. Unter die Bewältigung fallen Rettungsmaßnahmen, die humanitäre und finanzielle Hilfe sowie der Wiederaufbau und die Reflexion. Für jede der erwähnte Phasen sind bestimmte Aufgaben und Tätigkeitsbereiche typisch (siehe Abb. 2).

Die einzelnen Abschnitte des Katastrophenmanagementprozesses sind in einem Kreislauf zu betrachten. Der Wiederaufbau als letzte Phase hat nicht nur die Wiederherstellung des Zustands vor Eintritt des Naturereignisses zum Zweck, sondern bietet die Chance, Versäumnisse der Vergangenheit zu beheben und nun Sicherheits- und Vorsorgemaßnahmen zu berücksichtigen, die im Falle eines neuerlichen Ereignisses zu einem besseren Ergebnis führen. Damit geht der Wiederaufbau nahtlos in die Phasen der Katastrophenvorsorge über.

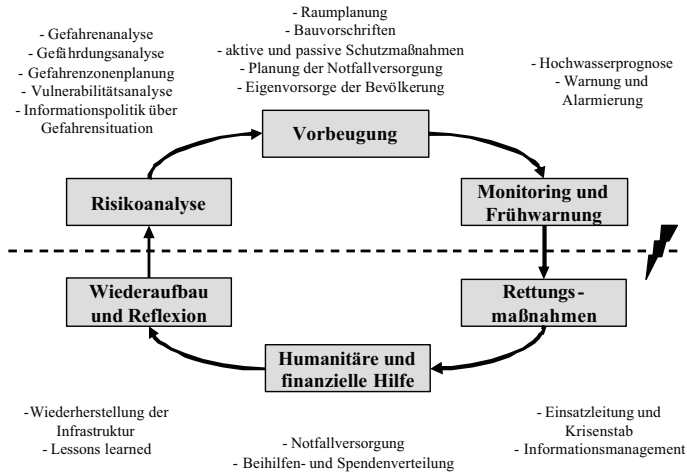
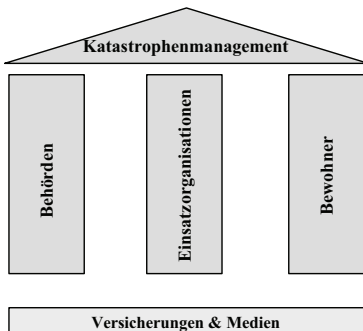


Abb2: Katastrophenmanagement
Fig2: Disaster management

Katastrophenmanagement als Institution

Unter Katastrophenmanagement im institutionellen Sinn werden die unterschiedlichen Träger, das sind die Personen und Institutionen, die sich auf Grund ihrer Position oder Zuständigkeit mit der Vorsorge und Bewältigung im Zusammenhang mit Katastrophen beschäftigen, erfasst.



Traditionell baut das Katastrophenmanagement in Österreich auf den drei Säulen ‚Behörden‘, ‚Einsatzorganisationen‘ und ‚Bewohner‘ auf. Weitere relevante Institutionen – die jedoch nicht als eigentliche Träger des Katastrophenmanagements gelten – sind Medien und Versicherungsunternehmen.

Abb3: Institutionen des Katastrophenmanagements
Fig3: Disaster management institutions

- **Behörden:** In Österreich ist die Aufgabe, der Bevölkerung zu einem möglichst schadlosen Überstehen von gefährlichen Situationen zu verhelfen, eine Kernaufgabe des Staates und wird als

‚Zivilschutz‘ bezeichnet. Der Zivilschutz umfasst ein weites Feld von Maßnahmen, die auf Grund des föderalen Staatsaufbaus und der verfassungsmäßigen Kompetenzverteilung auf allen Verwaltungsebenen wahrgenommen werden. Die Gemeinden sind die wichtigsten Behörden des operativen Katastrophenmanagements. Ihren Wirkungsbereich berühren sowohl die Angelegenheiten des Katastrophenschutzes wie auch der Katastrophenbekämpfung.

- **Einsatzorganisationen:** Das österreichische Katastrophenmanagement beruht auf der Zusammenarbeit des Staates mit zahlreichen freiwilligen Einsatzorganisationen. Im Ereignisfall werden diese unter der weisungsberechtigten Leitung der jeweiligen Behörde als Katastrophenhilfsdienste aktiv. Das Freiwilligenprinzip ist eine der tragenden Säulen und beeinflusst die Struktur des Katastrophenmanagements in Österreich, wo weltweit eines der dichtesten und flächendeckendsten Netze an Hilfsleistungen unterhalten wird.
- **Bewohner:** Es liegt auch im Aufgabenbereich jedes Individuums, durch Selbsthilfe für den Katastrophenfall vorzubeugen. Voraussetzung ist das richtige Einschätzen der Gefahr und ein entsprechendes Bewusstsein.
- **Versicherungsunternehmen:** Die Bedeutung der Versicherung von Katastrophenschäden spielt insbesondere in den Industrieländern eine wichtige Rolle. Die Versicherungsgesellschaften müssen kostendeckend arbeiten und sind daher nur bereit, diejenigen Risiken abzudecken, die über die Prämien auf eine große Gruppe von Versicherten – das Risikokollektiv – verteilt werden können. Da eine Hochwasserversicherung in Österreich derzeit nicht Teil einer Elementarschadens-Pflichtversicherung ist, können in gefährdeten Gebieten unter Umständen derartige Produkte nicht angeboten werden (Problem der ‚adverse selection‘).
- **Medien:** Den Medien, die bei Katastrophenereignissen zur Verbreitung von Informationen eingesetzt werden kommt eine wichtige, aber auch umstrittene Rolle zu. Für die von einer Gefahr direkt betroffenen Individuen haben die Medien als Informationsquelle eine besondere Bedeutung. Nach Eintritt einer Katastrophe sind die Massenmedien unter Umständen die einzig mögliche Quelle, über die die Betroffenen von Warnungen erreicht werden und Informationen über die aktuelle Lage und das richtige Verhalten erhalten.

PRÜFUNGEN VON STAATLICHEN PROGRAMMEN

Wirkungsprüfungen

Wirkungsprüfungen stellen ein auf die Anforderungen der Tätigkeiten von öffentlichen Verwaltungen abgestimmtes Evaluationsdesign im Bereich der Programmforschung dar. Als Wirkungsprüfung – synonym verwendete Begriffe sind ‚Performance Audit‘ oder ‚Leistungsprüfung‘ – wird eine Prüfung bezeichnet, welche die Erfüllung von Aufgaben gemäß den Kriterien der Effizienz, Effektivität und Angemessenheit umfassend überprüft. Wirkungsprüfungen stellen eine eigenständige Prüfungsart dar. Dabei werden sowohl Ergebnisse als auch Systeme – in der Form von Prozessen und Ressourcen – überprüft. Dies ist zweckmäßig, da gute Ergebnisse nicht unbedingt auf adäquate Ressourcen und Prozesse zurückzuführen sein müssen, und ein geeignetes System nicht zwingend gute Ergebnisse generieren muss. Wirkungsprüfungen evaluieren Leistungen oder Programme mit Hilfe von möglichst einheitlichen Leistungs- und Wirkungsindikatoren (so genannten ‚performance indicators‘). Sie sind dadurch gegenüber den klassischen Evaluationen kostengünstiger und benötigen weniger zeitliche und personelle Ressourcen. Aufgrund des stark standardisierten Modells und des einheitlichen

Analyserahmens erlauben sie, auf relativ einfachem und methodisch robustem Weg die Überprüfung von Leistungen und deren Wirkungen.

Das EEA-Konzept

Wirkungsprüfungen untersuchen einen Sachverhalt größtenteils nach materiellen Kriterien. Es wird insbesondere die Wirkung eines Programms oder einer Aktivität analysiert. Dazu werden für die erreichten Ergebnisse sowie die Ressourcen und Prozesse des Prüfgegenstands Angemessenheits-, Effektivitäts- und Effizienzprüfungen vorgenommen:

- Im Rahmen der Angemessenheitsprüfung wird die Gesamtstrategie, die eingesetzt wird, um ein gesetztes Ziel zu erreichen, beurteilt. In diesem Zusammenhang wird bei einem politischen Programm oder einer staatlichen Maßnahme die Angemessenheit der eingesetzten Ressourcen und die Zweckmäßigkeit der Prozesse und Abläufe untersucht.
- Die Effektivität ist ein Maß für die Wirksamkeit bestimmter Maßnahmen, indem ein tatsächliches Ergebnis mit dem angestrebten Ziel verglichen wird. Vereinfacht ausgedrückt untersucht eine Effektivitätsprüfung, ob die richtigen Dinge getan werden. Sie erlaubt eine Aussage über den Zielerreichungsgrad bestimmter Maßnahmen. Klassische Effektivitätsprüfungen werden in der Form von Soll-Ist-Vergleichen, das heißt durch die Gegenüberstellung der geplanten und der tatsächlich erreichten Ziele, durchgeführt.
- Effizienz bezeichnet allgemein das Verhältnis von Input zu Output bei einer bestimmten Aktivität. Es wird gemessen, ob die Dinge richtig getan werden. Im betriebswirtschaftlichen Sinn ist die Effizienz das Maß für die Wirtschaftlichkeit des Mitteleinsatzes und bedeutet die Umsetzung des ökonomischen Prinzips: Ein Produktions- oder Leistungserstellungsprozess ist effizienter als ein anderer, wenn bei gegebenem Mitteleinsatz ein höheres Ziel (zum Beispiel höherer Produktionsoutput) erreicht wird, oder mit geringerem Mitteleinsatz das gleiche Ziel erreicht werden kann.

ENTWICKLUNG UND ANWENDUNG DES WIRKUNGSPRÜFUNGSKONZEPTS AUF GEMEINDEEBENE

Operationalisierung von geeigneten Indikatoren

Das dargestellte Prüfkonzept wurde in der hier zusammengefassten Studie auf die Hochwasservorsorge- und -bewältigungsmaßnahmen von österreichischen Gemeinden angewendet. Durch qualitative Interviews mit Experten aus wissenschaftlichen Einrichtungen, Behörden auf Bundes-, Landes- und Gemeindeebene, Einsatzorganisationen und im Bereich des Katastrophenmanagements tätigen Unternehmen wurden Indikatoren samt möglichen Ausprägungen generiert. Das entworfene System von Leistungs- und Wirkungsindikatoren wurde dabei im Hinblick auf Praxistauglichkeit und Anwenderfreundlichkeit möglichst einfach gestaltet, damit eine Prüfung mit angemessenem Aufwand (in finanzieller, personeller und zeitlicher Hinsicht) durchführbar ist. Das entwickelte Prüfsystem genügt den Ansprüchen der Vollständigkeit und Kohärenz und umfasst 49 Indikatoren aus den Phasen der Vorsorge (Risikoanalyse, Vorbeugung sowie Monitoring und Frühwarnung) und Bewältigung (Rettenmaßnahmen, humanitäre und finanzielle Hilfe sowie Wiederaufbau und Reflexion). Diese Indikatoren bilden die Aufgaben der Gemeindebehörden im

Katastrophenmanagement, aber auch deren Wirkungen bei der betroffenen Bevölkerung, ab und ermöglichen somit eine Beurteilung der kommunalen Aktivitäten in diesen Bereichen.

In der Folge wurde das Wirkungsprüfungsmodell auf eine vom Hochwasser 2002 betroffene niederösterreichische Gemeinde angewendet, um zum einen das Konzept auf Praxistauglichkeit überprüfen zu können, und zum anderen, um für die Beispielgemeinde konkrete Handlungsvorschläge und Verbesserungsmöglichkeiten ableiten zu können. Hierzu wurde zur Feststellung der tatsächlichen Ausprägung der Indikatoren Interviews mit den Entscheidungsträgern der Gemeinde geführt, zum anderen wurde eine Fragebogenumfrage in der betroffenen Bevölkerung ausgewertet. Die Ausprägungen der Indikatoren können einheitlich Werte zwischen null und drei annehmen (wobei mit einem Wert von drei der Optimalzustand gegeben ist), sodass als zusammenfassendes Ergebnis der Prüfung folgende Darstellung der Durchschnittswerte der Indikatoren pro Phase herangezogen werden kann (siehe Abb. 4):

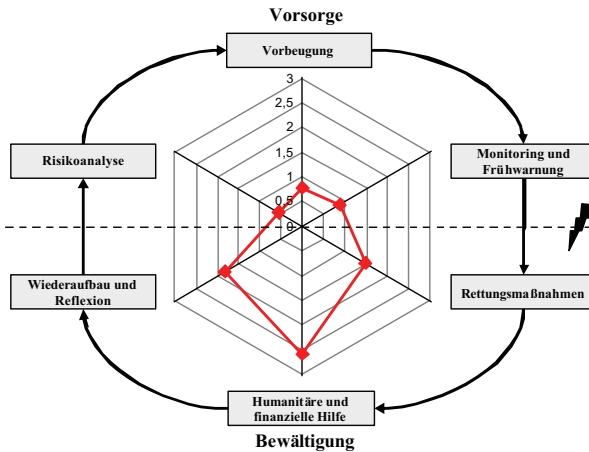


Abb4: Ergebnis der Wirkungsprüfung in der Beispielgemeinde
Fig4: Results of the performance audit in the chosen town

Ergebnisse der Wirkungsprüfung

Für den *Bereich der Vorsorge* kann zusammenfassend festgestellt werden, dass eine angemessene Ausstattung mit den für den Katastrophenschutz notwendigen Ressourcen in der ausgewählten Gemeinde zum Zeitpunkt des Hochwassers vom August 2002 in weiten Teilen nicht gegeben war. Auf Grund der nicht erkannten bzw. als unerheblich eingestuftes Gefahr eines Hochwassers lagen keine Planungsunterlagen (Gefahrenkarte, Gefährdungskarte, GZP, Risikokarte), welche die Grundlage für jede vorbeugende Maßnahme des Hochwasserschutzes darstellen, vor. Damit waren weder Eintrittswahrscheinlichkeiten, noch potentiell betroffene Gebiete und die jeweilige Schadenswirkung bekannt, sodass auch kein (gemeindeinternes oder -übergreifendes) Konzept oder konkret umgesetzte Maßnahmen zum Hochwasserschutz vorhanden waren. Da entsprechend kein

Diskurs über mögliche Hochwasser mit der Bevölkerung stattfand, spiegelte sich die Missachtung der Gefahr auch in deren sorglosen Umgang wider: Kenntnisse über die Möglichkeiten, Maßnahmen zum Schutz des eigenen Hab und Gut zu treffen, waren kaum vorhanden und entsprechend wenige konkrete Vorsorgehandlungen (zum Beispiel beim Bau oder der Nutzung des Objekts) wurden gesetzt.

Unmittelbar vor und bei Eintreffen der Hochwasserwelle wurden zwar Prognosedaten nach einem angemessenen und effizienten System auf festgelegten Kommunikationskanälen und unter Absicherung durch die gemeindeeigenen Lattenpegel gewonnen, in Bezug auf die Verständigung der Bevölkerung konnte jedoch kein zufrieden stellendes Resultat erzielt werden: Die Durchführung der Alarmierung erwies sich als ineffizient und ineffektiv – Betroffene wurden erst knapp vor Eintreffen der Hochwasserwelle bzw. teilweise gar nicht erreicht. Da der Wissensstand der Bevölkerung über die bei drohender Gefahr zu treffenden Maßnahmen weitgehend unzureichend war, wurde zudem vielfach falsch auf das herannahende Hochwasser reagiert. Auf Grund des Fehlens vorsorgender Maßnahmen und der teilweise missglückten Alarmierung bei Eintreffen des Hochwassers – nicht zuletzt jedoch auch auf Grund der besonderen Dimension des Hochwassers 2002 – konnte das Ziel einer Verminderung oder Vermeidung von Schäden nicht erreicht werden.

Im Zuge der *Bewältigung* der Hochwasserkatastrophe wurden hingegen bessere Resultate erzielt. Die notwendigen Ressourcen konnten – obwohl im Vorfeld weitgehend keine Planung oder Dokumentation der benötigten Versorgungsgüter, Materialien und Gerätschaften sowie der personellen Kräfte und deren Aufgaben erfolgte (Input) – rechtzeitig beschafft und zielgerichtet eingesetzt werden, sodass die Versorgung, Unterbringung, finanzielle Hilfe und der Wiederaufbau (Output) dennoch relativ rasch und effizient erfolgten.

Diskussion der Ergebnisse

Sowohl die Kommunalbehörden, als auch die Bevölkerung wurden vom Ausmaß des Hochwassers 2002 überrascht. Die Nachlässigkeit in Bezug auf Vorsorgemaßnahmen kann mit dem Faktum erklärt werden, dass seit der Errichtung von Talsperren im Oberlauf des Gewässers jedes kleinere Hochwasser abgefedert werden konnte; größere Ereignisse blieben seit mehreren Jahrzehnten aus. Ein Gefahrenbewusstsein und damit die Bereitschaft zu Investitionen in den Hochwasserschutz waren daher kaum vorhanden. Dass trotz Fehlen eines Katastrophenschutzplans das Hochwasser gut bewältigt wurde, ist zu einem großen Teil den kleinräumigen Strukturen in der Gemeinde zuzuschreiben. Die Entscheidungsträger wie auch die Bevölkerung sind mit den vorhandenen Einrichtungen vertraut, und auf Grund der persönlichen Kontakte zwischen den Beteiligten (Gemeindebehörden, örtliche Einsatzorganisationen, Unterkunfts- und Versorgungsbetriebe sowie Betroffene) konnten im Zuge der Bewältigung die notwendigen personellen und materiellen Ressourcen in relativ kurzer Zeit zur Verfügung gestellt werden.

Das Hochwasser von August 2002 führte im Untersuchungsgebiet sowie bei allen zuständigen Entscheidungsträgern zu einer unterschiedlich stark ausgeprägten Neuorientierung im Bereich des Hochwasserschutzes und der -bewältigung. Auch für die betrachtete Gemeinde kann sowohl bei den kommunalen Behörden als auch bei den Betroffenen allgemein ein Anstieg der Sensibilität bezüglich des Hochwasserrisikos festgestellt werden. Folgende Handlungsempfehlungen können resultierend

aus den Ergebnissen der Prüfung als besonders dringend für die betrachtete Gemeinde erachtet werden:

- Ein Defizit, das im Rahmen der Wirkungsprüfung in annähernd allen Phasen des Katastrophenmanagements erkannt wurde, ist der nicht stattfindende offene Informationsaustausch mit der Bevölkerung. Im Vorfeld des Hochwassers konnte kaum ein Gefahrenbewusstsein festgestellt werden, da ein Diskurs über die Hochwasserrisiken im Wohnort nicht stattgefunden hatte. Bei Eintritt der Katastrophe schlugen die Alarmierung und in der Folge die Information über zu treffende Maßnahmen in weiten Teilen fehl. Selbst nach dem Ereignis wird die Bevölkerung bei der Planung und Umsetzung des Katastrophenmanagements von den zuständigen Entscheidungsträgern kaum eingebunden. Ein laufender Informationsaustausch über das Geschehen in Bezug auf die Hochwassergefahr ist jedoch als wichtige Quelle eines anhaltend vorhandenen Gefahrenbewusstseins zu betrachten, das die Grundlage jeder Maßnahme des Selbstschutzes und der Akzeptanz der Verwendung von öffentlichen Geldern für den Katastrophenschutz darstellt.
- Bei der Vorentwicklung der Ausarbeitung eines Schutzkonzepts sind – neben der betroffenen Bevölkerung – auch die Oberlieger- und Unterliegergemeinden mit einzubeziehen. Nur gemeindeübergreifende Überlegungen in Bezug auf die Verwendung von Flächen für den passiven Hochwasserschutz und die Umsetzung von Maßnahmen der aktiven Gefahrenabwehr ermöglichen einen nachhaltigen und großräumigen Schutz vor Hochwasser. Viele der dafür notwendigen Analysen in Bezug auf das Überschwemmungsrisiko wurden seit dem Ereignis 2002 erstellt (insbesondere ein GZP). Um ein konkretes Schutzkonzept auszuarbeiten sind zusätzliche Überlegungen in Hinblick auf die quantitative Einschätzung des Risikos anzustellen, um die vorhandenen finanziellen Mittel zielgerichtet einzusetzen.
- Für mögliche zukünftige Hochwasser ist weiters ein Katastrophenschutzplan zu erstellen, dem alle wichtigen Informationen über die personellen (samt Erreichbarkeit, Stellvertretung und Aufgabenverteilung) und materiellen (samt Angabe der Lagerungsorte und Kapazitäten) Ressourcen für den Katastrophenfall entnommen werden können. Ebenso ist die Schaffung eines Alarmplans, der integrierender Bestandteil des Katastrophenschutzplans sein kann, voranzutreiben, damit bei einem drohenden Hochwasser klare Entscheidungswege vorgegeben sind und alle betroffenen Haushalte in kurzer Zeit verständigt werden können.

Für viele der Verbesserungsvorschläge können die Erfahrungen der Hochwasserkatastrophe vom August 2002 genutzt und direkt in die Umsetzung konkreter Maßnahmen mit einbezogen werden. Dabei ist es hilfreich, dass das Gefahrenbewusstsein seitens der Bevölkerung noch präsent ist und auf eine erhöhte Akzeptanz gebaut werden kann. Wenngleich rein statistisch das Auftreten einer derartigen Hochwasserkatastrophe wenig wahrscheinlich ist, muss jederzeit mit neuerlichen Überschwemmungen gerechnet werden, sodass die Verbesserung der Maßnahmen des Katastrophenmanagements eine dringende und nachhaltig zu erledigende Aufgabe darstellt.

FAZIT UND WEITERE HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Zusammenfassung

Es kann festgehalten werden, dass sich das Konzept, welches auf dem Verfahren der Wirkungsprüfung basiert, für eine umfassende Beurteilung des Katastrophenmanagements in einer Gemeinde eignet: Bei der Vorsorge und Bewältigung von Naturkatastrophen handelt es sich um Aktivitäten, die einen hohen Komplexitätsgrad aufweisen und einer monetären Bewertung weitgehend entzogen sind. Aus diesem Grund werden zwar formelle Prüfungen durch Gerichte und den Rechnungshof durchgeführt, eine materielle Überprüfung des Katastrophenmanagements ist jedoch bislang nicht vorgesehen. Das vorliegende Konzept, in dem alle im Wirkungsbereich einer Gemeinde liegenden Kompetenzen des Katastrophenschutzes und der -hilfe im Zusammenhang mit Überschwemmungen berücksichtigt werden, ermöglicht erstmals eine derartige, umfassende Beurteilung nach materiellen Kriterien. Das Prüfsystem ist in der Lage, den Gemeindebehörden bei der Entscheidungsfindung, der Qualitätssicherung und dem Monitoring in Zusammenhang mit Gefahren und Risiken im eigenen Wirkungsbereich eine wesentliche Stütze zu bieten, indem anschaulich die Schwachstellen des kommunalen Katastrophenmanagements identifiziert und notwendige Maßnahmen in den einzelnen Handlungsfeldern aufgedeckt werden. Durch die allgemeine Ausrichtung auf hochwassergefährdete österreichische Gemeinden erlaubt es eine in diesem Anwendungsbereich flächendeckende und standardisierte Prüfung, die sowohl Veränderungen im Zeitablauf aufzuzeigen vermag, als auch interkommunale Vergleiche ermöglicht.

Im Rahmen der Anwendung des Verfahrens in einer vom Hochwasser im August 2002 betroffenen Gemeinde wurde aufgezeigt, dass die Wirkungsprüfung in der Lage ist, in einer individuellen Beurteilung der spezifischen Situation wesentliche Auswirkungen – und damit vor allem auch Defizite – des kommunalen Katastrophenmanagements aufzuzeigen und Handlungsempfehlungen sowie (bis zu einem gewissen Grad) Umsetzungsstrategien zu identifizieren. Den konkreten Anregungen kann nur Gültigkeit für die ausgewählte Gemeinde zugesprochen werden, da die jeweiligen Gegebenheiten einzigartige Charakteristika aufweisen. Mit der Anwendung auf den konkreten Fall wurde – neben den Ergebnissen und der Herleitung von Handlungsempfehlungen für die ausgewählte Gemeinde – die Eignung und Sinnhaftigkeit der Indikatoren bestätigt. Es ist jedoch zu erwähnen, dass Indikatoren im Hinblick auf ihre Messqualität und Zweckmäßigkeit bei geänderten Rahmenbedingungen (wie sie im Katastrophenmanagement zum Beispiel in Folge gesetzlicher Neuregelungen oder geänderter Zuständigkeiten entstehen können) anzupassen sind. Bei häufigen Veränderungen und neuen Entwicklungen des Einsatzgebietes vermindert allerdings eine regelmäßige Überarbeitung und Angleichung an die aktuellen Verhältnisse die langfristige Vergleichbarkeit der Ergebnisse.

Ausblick

Die jüngsten Erfahrungen mit Katastrophensituationen, die durch extreme Wettersituationen ausgelöst wurden, haben folgendes Dilemma deutlich aufgezeigt: Auf der einen Seite ist ein absoluter Schutz gegen Naturkatastrophen technisch und finanziell nicht machbar und auch ökologisch nicht vertretbar. Auf der anderen Seite haben das Bevölkerungswachstum und die steigenden Bedürfnisse der Gesellschaft zu einer immer dichteren Besiedelung – auch im hochwassergefährdeten Gebiet – zur stetigen Wertsteigerung von Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen und damit zu einem immer größeren Schadenspotential bei Katastrophenereignissen geführt. Geht man von der Annahme aus,

dass extreme Wettersituationen als Folge des sich zutragenden Klimawandels in der Zukunft häufiger auftreten werden, so ist mit fatalen Folgen in den gefährdeten Gebieten zu rechnen. Die vielfältigen Ansprüche von Wirtschaft, Menschen und Ökologie sind daher im Sinne eines integrierten Katastrophenmanagements auf einen gemeinsamen Nenner zu bringen. Das entscheidende Kriterium des Katastrophenmanagements ist somit nicht die Gefahr an sich, sondern der Umgang mit ihr. Daher ist eine Abkehr vom absoluten Sicherheitsdenken und der Sicht der reinen Gefahrenabwehr hin zu einer Risikokultur – das heißt einem angemessenen Umgang mit Naturgefahren und mit der Natur selbst – unter Einbezug aller beteiligten Akteure anzustreben. Der Staat und die öffentliche Verwaltung auf Ebene aller Gebietskörperschaften haben dabei wesentliche Aufgaben zu erfüllen. Neben der bestmöglichen Organisation des eigenen Tätigkeitsbereichs gehören dazu auch die Schaffung entsprechender Rahmenbedingungen zur Sicherung der Finanzierung der Einsatzorganisationen, die eine tragende Säule bei der Katastrophenbewältigung darstellen, und die Förderung des Prinzips der Ehrenamtlichkeit und Freiwilligkeit. Insbesondere für die von Gewässern ausgehenden Gefahren gilt es auch, gemeinsam mit der Versicherungswirtschaft eine Lösung bezüglich der Versicherbarkeit von Überschwemmungsrisiken anzustreben. Die betroffene Bevölkerung ist – wie die Empirie gezeigt hat – im Rahmen eines Dialoges umfassend in das Katastrophenmanagement mit einzubeziehen, um das Gefahrenbewusstsein nachhaltig zu stärken und die Bereitschaft und das Wissen um Möglichkeiten der Eigenvorsorge zu fördern.

Negative Schlagzeilen dürfen nicht über den Erfolg der bereits umgesetzten Katastrophenschutz- und -bewältigungsmaßnahmen hinwegtäuschen. Verbesserte Techniken und ausgereifte Verfahren ermöglichen – zumindest in den industrialisierten Ländern – häufig die Bewältigung von Ereignissen, die früher als Katastrophe eingestuft worden wären, und sie bewähren sich im Ereignisfall immer wieder. Gerade in Österreich ist im Bereich des Katastrophenmanagements ein guter Standard erreicht und ein wirksames System der Zusammenarbeit von Behörden, Einsatzorganisationen und Betroffenen in Kraft, das auf allen föderalen Ebenen von der Gemeinde bis zum Bund getragen wird.

LITERATUR

- Adam, V. (2006): Hochwasser-Katastrophenmanagement: Wirkungsprüfung der Hochwasservorsorge und -bewältigung österreichischer Gemeinden, 2006.
- Plate, E. J., Merz, B. (Hrsg.) (2001): Naturkatastrophen - Ursachen, Auswirkungen, Folgen. Stuttgart, 2001.
- Schedler, K., Proeller, I. (2003): New Public Management. Bern / Stuttgart / Wien, 2003.
- Schenker-Wicki, A., Griessen, Th. (2005): „Die Bestimmung der Performance im Public Management – Theorie und Praxis.“ In: Lienhard / Ritz / Steiner / Ladner (2005), S. 133-147.
- Schenker-Wicki, A. (1999): Moderne Prüfverfahren für komplexe Probleme: Evaluation und Performance Audits im Vergleich. Wiesbaden, 1999.

ECONOMIC ASSESSMENT OF NATURAL FLOOD DETENTION MEASURES – SCIENTIFIC APPROACHES TO IDENTIFY FLOOD RELATED LAND USE EXTERNALITIES

Wolfgang Dorner¹, Mark Porter² and Rudolf Metzka³

ABSTRACT

Spatial measures for water detention like river redevelopment, decrease of sealing or extensification of land use are often ignored in the planning of flood protection measures. Main problem is the estimation of reliability and technical effectiveness of spatial measures and the quantification of the economic benefit, for example in cost comparison or cost-benefit analysis. Another aspect is the missing influence of local authorities to force the implementation on a large scale. The described economic assessment shows, that increased run-off due to intensive land use must be interpreted as an externality of land use. Upstream land users fully export their run-off to downstream riparian land users. Damages in downstream sections of the river system are therefore not only the results of natural hazards, but also partially of economic market inefficiencies. For a small scale river basin in Southern Germany the cause effect chain of land use and flood damage was assessed, and the economic dependencies evaluated. The conclusion shows, that water related objectives must be integrated into other sectoral policies to counteract market failures and foster sustainable flood protection.

Keywords: flood detention, externalities of land use, river renaturalisation, economic assessment

ARE FLOOD DAMAGES MARKET FAILURES?

Rivers cover our landscape like a net and provide the link between our environment and landscape. Rivers also connect different human groups and their activities from the head to the tailwaters of the catchment. Almost every quantitative or qualitative human impact to the river system is transported by the flow and may affect downstream stakeholders. Most environmental economic problems or externalities in rivers basins are caused by the upstream to downstream conflicts discussed above, and they represent a special form, called a unidirectional externality (Bernauer 2002). Bernauer (2002) lists water use, irrigation, agriculture (adding sediments and chemicals) and hydroelectric power production (creating additional peak flows and hindering navigation) as common upstream to downstream problems. Other types of common costs can also be considered as water related externalities.

1 Researcher, University of Applied Sciences Deggendorf, Research group Water and Environment, Edlmairstr. 6+8, 94469 Deggendorf, Germany, wolfgang.dorner@fhd.edu, Tel: +49-991-3615-472, Fax: +49-991-3615-81472

2 Professor and Head of Research Center, University of Southern Queensland, Australian Research Center for the Sustainable Catchments, Toowoomba, Australia

3 Professor and head of research group, University of Applied Sciences Deggendorf, Research group Water and Environment

They include for example the maintenance required for trained rivulets (small stream channels) in agricultural catchments following land clearance projects and the resulting responsibility of governments or city councils to conserve the existing river structures. Other types of land uses and their effects on the quantitative and qualitative availability and appearance of water would include:

- effects of land use, such as surface sealing in cities or intensive farming, on the peak and duration of floods
- river training and artificial channel structures, which increase the flow rate, reduce the detention capacity of the natural flood plain and increase the flood damages in settled areas.

These types of externalities can be negative and are worth analyzing from an economical viewpoint for different reasons because:

- The environmental costs of human actions are not integrated into the economic equation of the producer, but assigned over time to other people.
- Externalities may have intertemporal effects. The negative effects can be delayed and occur as economic costs to future generations.
- Minor externalities of different individual polluters or causers can accumulate over time and on a catchment scale.

We know that human action in the catchment and along the river system affects flood development and consequently the peak, volume and duration of a flood. Maniak (1993, p. 10) states “Beim Ausbau oberirdischer Gewässer wurden vielfach die natürlichen Rückhalteräume in der Talaue verkleinert, um die Landwirtschaft gegen Sommerhochwasser und die Siedlungsgebiete gegen noch größere Hochwasser zu schützen. Dies führt zu Abflussverschärfungen mit größeren Hochwasserspitzen in den unterliegenden Gebieten.” [As the river systems were developed the natural detention storage was often reduced in the flood plain. Measures were required in order to protect agriculture from summer floods and the settlement areas against increased floods. There has been an increase in flood water levels and peaks in the lower catchment areas.]

Especially in small scale catchments these quantitative relations between land use and water in the literature have been proven (Bormann, Dieckkrüger & Hauschild 1999, Koehler 2005). But linkages between land use, river training and flood development can be shown for larger catchments as well (Lammersen, Engel, van de Langemheen & Buitveld 2002, de Roo, Odijk, Schmuck, Koster & Lucier 2001). Dyck (1995, p. 433) describes the enormous losses in flood capacity along the Elbe in Germany over the past 800 years and refers to the inadequate or token attempts to construct flood detention works to compensate these losses within the past 100 years. He states “Infolge Flußregelung und Deichbau haben sich die Retentionsflächen vieler Flüsse verringert. Dies konnte auch durch Rückhaltebecken und HW-Schutzräume in Talsperren meist nicht kompensiert werden. [In-stream works and levee construction have reduced the flood capacities of many river systems. It was not possible to balance this by detention reservoirs or flood storage in dams.]” (Dyck 1995, p. 433).

The hydrological cycle as a physical process links detention in the catchment and in the river valley to flood development and resulting flood damages. The economic hypothesis would be: the extent of flood damages is influenced by land use in the upstream areas. Therefore, flood

damages are a function of hydrological parameters, e.g. surface characteristics, catchment and river structure, and land use and other anthropogenic impacts. The main questions, that follow are whether

- externalities, for example flood damages, can be directly linked to land use and human induced changes to hydrology and river morphology, and so quantified using hydrological models,
- externalities can be assigned to identified causers or polluters, or at least alternatively equirement to specified user groups,
- natural effects of flood development can be split from anthropogenic ones
- the costs of the internalisation process do not exceed the benefit.

In a heavily modified environment and intensively used landscape these questions could also be reversed:

- What is the benefit of natural river structures e.g. regarding detention and reduction of flood damages?
- Is it possible to include river renaturalisation in flood mitigation studies and compare the effects from an economic point of view with classical technical measures?
- Is river renaturalisation an effective and efficient mean of flood protection from an environmental and economic stand point?

Umweltbundesamt (2007, p. 5) points out: “Die Umweltpolitik muss sich heute mehr als in früheren Zeiten dem ökonomischen Kalkül stellen. Die ökonomische Bewertung von Umweltschäden ermöglicht es, den ökonomischen Nutzen umweltpolitischer Maßnahmen zu schätzen, denn Umweltpolitik heute vermeidet Umweltschäden morgen. [Environmental politics must have a greater rational now than in previous times the economic calculus. The economic assessment of environmental damages allows the benefit resulting from environmental political measures to be estimated, because environmental politics today avoids environmental damages tomorrow.] ” This must also be applied to land use management, river renaturalisation and flood mitigation.

The hypothesis addressed in this project is that internalisation of the economic costs of human actions in a catchment provides significant assistance towards preventing environmental degradation and that flood damages can be prevented. It is postulated that the external effects of human actions on other parties using a river system must be managed, The objective of this project was to investigate the impacts and reactions between humans and nature in a river catchment. The Umweltbundesamt (2007, p. 53) describes a standardized approach for the analysis and evaluation of externalities. The authors propose a methodology in seven steps:

1. definition of objectives
2. specification of the subject of analysis and the boundries of the system
3. description of impacts
4. description of cause-effect relations
5. allocation of economic benefit and cost categories
6. economic interpretation of resulting changes in benefits
7. interpretation and comparison of damages with internalized costs

The focus of this study was on relation between environmental system and human activities in the catchment. It concentrated on the items 1-4 from the list above. This is necessary to provide scientific basis for economic instruments like cost benefit analysis.

The project aimed to identify parameters environmental economic instruments can be based on, so they can successfully internalise and allocate these interactions in the case of flood development and flood damages. The proposed model structure and approach should help to apply scientific methods as a basis for environmental economics as an instrument of river basin management and flood mitigation.

CASE STUDY

The idea to identify and quantify unidirectional externalities in river basins makes it necessary to solve interdisciplinary problems. The study connects hydrology and environmental sciences, with engineering methods and economic analysis. This project is based on the hydrologic behavior of the catchment. Water related processes in the landscape, such as evapotranspiration, infiltration and surface run-off and the genesis and development of floods, are first quantified. A broad variety of computer models is available to describe and simulate different sub processes of the hydrology of a catchment. They can be used to calculate the volume and peak of design floods as well as for flood forecasting and the control of detention structures, like lakes and reservoirs. In a lot of cases they have shown that the development and extent of flood waves can be simulated accurately (Plate 2002).

When combined with a hydrodynamic model the extent, depth and velocity of floods in settlements and a relation between land use and flood affected areas in a catchment can be established. A comparison of the situation in the catchment before human land use with the status quo, can then be used to split off the human induced effects from the natural run-off. Hence it should be possible to connect human impact and the resulting changes of the natural system, to the economic consequences for flood affected citizens. These analytical linkages would establish flood-damage functions for defined design floods under these scenarios and quantify externalities.

Changes in land use and landscape structures happened in central Europe over the last 2000 years. Only the status quo of climate, land use and run-off can be evaluated using statistical and topographic data sets of the last 50 to 200 years. For small river basins no detailed recordings about discharge and precipitation pattern are available. The analysis of historic maps and recordings, but also paleontologic studies give us a very detailed idea, how our landscape looked like. This allows to make assumptions about land distribution, agricultural techniques, typical vegetation and natural river structures. These data can be input for different types of computer models.

The concept of combining different types of models, was tested on the Herzogbach catchment. The models, described later on in detail, were developed to simulate different situations of land use in the test catchment. Responsible human impacts in the catchment like land use and river training were identified for the study site. As a main approach different scenarios of land uses and river structures were used to detect the effect of land use practices and other influences on the hydrological cycle. The focus in the upstream part and middle section of the catchment was on the changes in agriculture, which influenced the hydrological characteristics. Downstream the development of urban settlements was investigated to estimate the flood damages and mitigation costs. The scenarios simulated compared the status quo (Scenario A) to a number of different alternatives, including a pristine catchment (Scenario B) or river without any human influences (Scenario C), as it existed before humans started to act in the region.

The models adopted for this project interacted by exchanging data with each other. The hydrological model calculated the main run-off data in the river at specified nodes depending on land use scenarios, river bed structure and precipitation. The hydraulic model used the run-off at the nodes to calculate the flood situation in settled areas. Outputs were the exact size of the flood plain, flow velocity and flow depth for all points of the flood plain. Empirical formulas for costs and damages were used with floods of different recurrence intervals to establish average costs per year.

The Herzogbach catchment is located in southern Bavaria (Germany). The main river reach has a length of about 20 km and a catchment size of 72.1 km² (53.9 km² above Osterhofen). It flows from west to east through a hilly landscape. The Herzogbach and all its tributaries originate in the southern hilly landscape. The areas in the upper reaches have a rural structure with about 80% agriculture and 5% forestry. Settlements are mainly located in the flat depressions along the rivulets. The lower reach passes through the city of Osterhofen, where in the past major floods have caused severe damages. The Herzogbach ends in the floodplain of the Danube and has its outlet into the Danube near the city of Vilshofen at the Danube.

Land use in the catchment followed the geomorphology except on the flood plains. The top of the tertiary hilly landscape in the south of the catchment is still mainly used for forestry. Rough winds, different climatic conditions, because of the altitude, and thinner loess levels in this region, make farming only possible in the small valleys between the hills. The open plains of the Gäuboden provide better conditions for farming, because of the fertile soils and larger field units.

The changes in agricultural production during the last century led to a focus on agriculture which replaced previous livestock farming in this area (Herbert & Maidl 2005, p. 295 et sqq.). Meadows and pastures were converted to fields (Figure 3.6). Field names and local names still refer to the old functions of areas and land strips. Especially in the flood plains of rivers and rivulets old names like "Speckwiese" (bacon meadow), "Doblwiesn" (ravine meadow) or "Puttinger Bach Wiesn" (Putting rivulet meadow) have remained and indicate the former use of these wett areas or wetlands (Maidl 2004, p. 113). This opened space for settlement development on the former meadows in the flood plain. Other important landscape structure were lost during this development, such as bushes, hedges, boundary ridges and wetlands.

Changes did not only take place in the landscape, but also the characteristics of settlements and cities were changed. The city Osterhofen shows these developments very clearly. In former times the settlements occupied the edges of the river valleys to avoid flood damages on the one hand side and reserve the open spaces for agriculture. Because of the fertility of the loess soils, the settlement development was forced towards the valleys and the flood plains. The loss of livestock farming and the availability of former meadows in the river valleys as well as the intensification of agriculture on the flat fertile plains have been the main drivers for this development.

Because of the long history of land clearance and agricultural development, there is insufficient statistical hydrological data available for the analysis of small catchments. The lack of statistical data can be compensated using hydrological models. The computer model used for this study is a conceptional deterministic river basin model to simulate precipitation-run-off processes in small and medium size catchments. "Deterministische konzeptionelle Flussgebietsmodell für den Abfluß setzen sich nach dem Baukastenprinzip aus Verfahren zur

Simulation verschiedener Teilprozesse zusammen.” [Deterministic conceptual river basin models for discharge simulation are modular systems to simulate different processes.] (Maniak 1993, p. 361). The applied model consists of three elements:

- a regionalisation approach to calculate losses from evapotranspiration, and infiltration
- and derive a flood wave as a hydrograph for each subbasin,
- a flood routing approach to estimate the superposition of flood waves from subbasins
- and simulate the detention of the river reach and flood plain,
- a reservoir routing approach to check the efficiency of detention measures.

In Bavaria the SMS - HydroAS-2D software package (Nujic n.d.) is a standard system used for 2D hydrodynamic flood routing. It is based on the SMS - Surface Water Modelling System developed by the Environmental Modeling Research Laboratory at Brigham Young University. It includes a pre- and a postprocessor for two- and three-dimensional finite element and finite difference models. HydroAS-2D is a 2D stream-flow and water level calculation package. It is based on the Finite Volume Method. For the whole catchment five models for the villages of Bachling, Neusling, Buchhofen, Wis seling and Osterhofen were prepared. Three of them were selected for the study: Bachling, Buchhofen and Osterhofen. The three selected villages represent different sections of the river system (Bachling headwater, Buchhofen middle section, Osterhofen lower reach) and different structures and settlement sizes.

Total flood damages of an object or a village over a certain period depend not only on affected buildings and discharge, but also on the probability of discharge. “The total damages caused by periods of recurrent flooding (flood return periods) are utilized to determine the probability-damage relationship [...] At the same time, this curve presents the flood damages incurred for different intervals of recurrent flooding (flood return periods). The expected annual flood damage can be determined from the above probability-damage curve. [...] the expected annual flood damage is the damage divided by its return period, or the damage multiplied by its exceedance probability.” (Lekuthai & Vongvisessomjai 2001, p. 357)

For the calculation of potential flood damages over a certain period two functions were derived (Schmidtko 1981):

- The distribution function of the flood peaks as a result of the hydrological model or statistical analysis of stream gauging.
- The flood damage function as a result of hydrodynamically simulated discharges and damage analysis.

A comparison interval of 100 years was selected in this thesis. This represents the standard design level for flood protection works. It is also the technical design period and depreciation period for technical structures like dams and levees (Worreschk 2000, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - LAWA 1998).

The analysis showed that land use and river morphology influence both peak and shape. Therefore three measures can be identified to quantify the externality on a catchment scale:

- The flood damages of scenario A (status quo) minus those of scenario C (natural situation of catchment and river)

- The costs for flood protection works for scenario A minus those of scenario C
- The costs for detention reservoirs for scenario A minus those of scenario C

Bachling is a typical small village in the steeper upper part of the catchment (Tertiary Hilly Landscape). 72% of the catchment consists of fields, mainly used for root crops and vegetables without intermediate crops (result of inspections in summer and early autumn 2004 and 2005). 15% of the catchment is covered by forest, 12% by grassland and less than 1% is sealed and impervious area. The rivulet is straight and with a deep river bed between 1 and 1.4 m below the natural surface. Within the village, the river bed lies between 1.2 and 1.4 m below the level of the streets or the courts. The peak flow of 1.5 m³/s for a 100 year flood event is mainly influenced by land use in the status quo scenario (Scenario A). The catchment with natural land cover results in a simulated peak flow of 1.2 m³/s, while a natural river structure only causes an additional decrease of 0.1 m³/s to 1.1 m³/s. The insertion of intermediate crops (Scenario D) causes a decrease of only 0.1 m³/s to 1.4 m³/s in comparison to Scenario A.

In contrast to the results at other model nodes these minor reductions can be explained by the steepness of slopes and the river bed. On the other hand the changes in river structure and land use have a significant impact on the shape of the flood wave. Land use increased the volume of the 100 year flood wave by 0.005 mio m³ to 0.019 mio m³ (Scenario A). The use of intermediate crops decreases the volume by 0.002 mio m³ to 0.019 mio m³ (Scenario D). In addition a flattened wave would result from a renaturalisation (Scenario C) and decrease the volume necessary for flood detention. A potential detention pond has a maximum available volume of 6,600 m³. Damages in the village start with a discharge of 0.6 m³/s. For scenario A a volume of 3,900 m³ would be necessary to mitigate a flood wave of 1.5 m³/s to 0.6 m³/s. For scenario B the same reduction could be achieved already with a storage capacity of 2,000 m³. In scenario C a volume of 1,800 m³ would be necessary. Assuming average building costs for detention volume of 30 Euro/m³ this will increase building costs from 54,000 Euro for scenario C to 60,000 Euro for scenario B and 117,000 Euro for scenario A. Splitting up these costs per hectare of farmland means in this catchment 580 Euro/ha for scenario B for 86 ha of farmland in this subcatchment causing this extra runoff. For scenario A the extra costs of detention in contrast to scenario B are 730 Euro/ha. The difference of buildings costs of 6,000 Euro between scenario B and C would represent the extra costs to compensate the effects of river training. For a channel length of 1.1 km in this particular subcatchment this means extra costs of 5.45 Euro/m of channel.

A reservoir is located just upstream of Osterhofen. It provides a total detention volume of 56,000 m³. It provides protection against a 20 year flood event for the village Wisselsing just 3 kilometers upstream of Osterhofen, but not for Osterhofen. It decreases the peak of a 10 year flood event in Osterhofen to 8 m³/s to 10 m³/s. Using an optimized control strategy the detention volume would result in a maximum peak of about 5 m³/s in scenario C with relevant impacts on the flood protection level of Osterhofen.

In Osterhofen mainly the wide flood plain in the lower system (section 3) contributes to the majority of damages in scenario A. Flooding results from an overtopping of the embankment and an inundation of the wide open flood plain. Therefore, also minor reductions of the flood peaks in scenarios B and C could contribute to a reduction of affected buildings and damages, because overtopping can be avoided (Fig. 1). In contrast to this backwater effects in the

middle section and the natural restriction of the valley result in a very constant extent of the flood plain in these areas and, therefore, a minor reduction of damages in scenarios B and C.

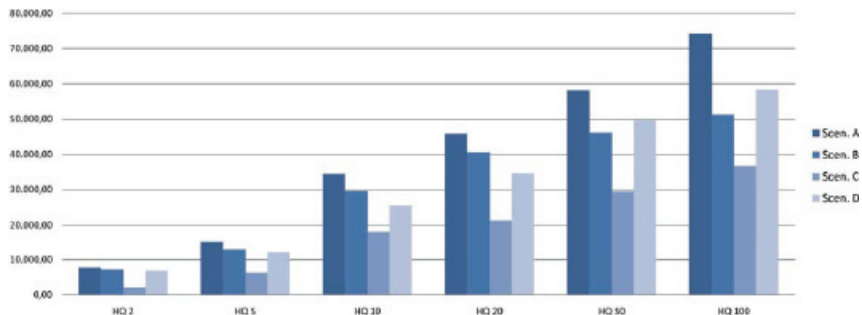


Fig. 1 Flood affected base area of buildings in Osterhofen in m² depending on the type of flood event (recurrence interval) and scenario

It is not always possible to quantify the externality with all three suggested measures: in the Herzogbach catchment no location for larger detention works are available, therefore, it is impossible to quantify the extent and costs of these structures. In larger cities also major supra regional infrastructure can also be affected. In such a case it will be difficult to calculate the total damages resulting from indirect and intangible damages. At rivulets and smaller rivers no significant flood protection systems are available and especially here land use and river training seem to have a higher relevance for flood development. The study showed that especially smaller events are influenced by land use and river training and small events contribute to the majority of damages. “Neben den sehr seltenen Katastrophen-HW sind jedoch die häufiger auftretenden HW geringerer Größe von Interesse, da sie meist den Hauptbeitrag zur Schadenssumme für längere Zeitabschnitte liefern. [Besides the rare disaster floods more common floods of smaller extent are of interest, because they provide the main contribution to the total damage over a longer period.]” (Dyck 1995, p. 430). The study proves that land use and river training contribute to flood damages in small catchments or equally that an internalisation strategy would aid to increase the level of flood protection, reduce the effects from land use or redraw negative developments.

For the whole catchment only three settlements out of over 30 known hotspots in the Herzogbach basin have been evaluated. Remaining hotspots show similar damage potential and floodplain characteristics like the villages of Bachling and Buchhofen. This means that only in the catchment of the Herzogbach a significant part of all flood damages can be called externalities. Damages in the city of Osterhofen make the majority of damages in an individual settlement. But villages like Buchhofen contribute to the total damages on a catchment scale.

CONCLUSION

The evaluation of small landscape structures on a catchment scale is generally problematic because of missing parameters in catchment models and the necessary large amount of work to collect the required detailed data. Different types of hydrologic models could be used to better represent the different processes (DVWK 1999). But this is also bound to more detailed

data and modeling efforts. Under today's conditions data gathering and model building on a catchment scale would exceed the work load for practical studies and a broader application of the suggested methodology. At the moment hydrological river basin models are not capable to deal with the problems of detailed rural structures like trenches, drains and field structures on a larger scale. There exists too little experience and statistical data to quantify the effects of these structures and assume their effect on parameters used in catchment modeling. It can be assumed, that natural structures like depressions and boundary ridges would have an additional detaining effect, whereas technical elements, like drains and trenches will increase and accelerate runoff.

The results of the hydrologic model prove three effects of human interventions:

- Reduced land cover increases surface run-off and, therefore, flood peaks and total flood volumes
- Natural river structures increase the flow time of flood waves from several branches
- and can reduce the probability of superpositioning of flood waves
- Natural flood plains store large amounts of water. In combination with decoupled flood waves this can reduce flood peaks

In general the suggested methodology can be used very well to evaluate natural detention in the catchment from an economic and technical point of view. Because classical planning often ignores "non-technical" measures of flood mitigation the approach to couple hydrologic and hydraulic modeling, economic analysis and a scenario analysis, should become the basis for future planning. Other models like erosion and diffuse pollution, sediment transport or morphology models could be integrated as well to estimate the effects of human impacts in these areas.

The results of the case study show that high probability low loss events have a high relevance for flood damages in small catchments, because technical flood protection is not available. These high probability events are influenced by non technical measures of flood detention in the catchment and floodplain. If land use and other human impacts increase floods, classical methodologies for flood mitigation underestimate the effect of non-technical measures for example the renaturalisation of trained sections of river systems. Focusing on technical measures, renaturalisation and natural detention are ignored in a technical analysis. Economic analysis, for example cost benefit analysis, also does not value the benefit of these measures. Natural detention is interpreted as costs, which means it is on the wrong side of the equation. If we apply the polluter pays principle and have to interpret missing natural detention as an emission, then it represents a benefit in the analysis. Also the state subsidies for flood mitigation project must be calculated using the compensation effect for upstream externalities and social welfare, for example resulting from increased production. This results in different forms of inefficiencies. In most studies of flood mitigation concepts, natural measures are ignored. As a consequence technical measures are favored and subsidised. The externalities caused by artificial river structures or missing natural detention are ignored and compensated through technical measures subsidised by the state and financed by the downstream riparian community. This contradicts the polluter pays principle. In addition other forms of state subsidised projects such as land clearance and reallocation, agriculture in general as well as urban development can still increase externalities.

The results of this study can not be directly transferred to other catchments or be upscaled to bigger river systems. Each catchment has its characteristics and the human impacts on the Herzogbach basin are more severe than in other basins. One big issue is the effect of river training and diking to protect land use in the flood plain of bigger rivers that is widely discussed. While environmentalists say, that the loss of natural detention causes higher flood waves, some engineers mention the low effect that these restricted uncontrolled detention volumes have on the enormous volumes of floods. In bigger river systems effects of river training, levees and the superposition of flood waves due to technical intervention maybe relevant.

In general the following counter measures could be applied to reduce the hydrological impacts of land use:

- Application of sustainable farming techniques such as direct cropping or intermediate crops (e.g. Auerswald 2002),
- renaturalisation of run-off relevant landscape structures like ditches for example into grassed waterways (e.g. Fiener & Auerswald 2003),
- methods for local rain water detention and infiltration in urban storm water management (e.g. Sieker & Klein 1998),
- renaturation of river sections and redevelopment of the natural flood plain (e.g. Umweltbundesamt 2001).

Of course these suggested instruments can only achieve a significant result if they are applied on a large scale, representative of the catchment. The effectiveness depends very much on the local climatic and hydrologic conditions and the size and structure of the catchment, like mentioned above. The broad application of these instruments on a national level also requires a review of actual policies and an evaluation of impacts on other sectors, including an economic impact assessment and cost-benefit-analysis. Especially the impacts of actions over different scales still must be developed. While the shown effects of land use and river development on flood behavior can be stated for general in smaller catchments, their dependencies in bigger catchments or international river basins is not always clear.

In general new methodologies for project assessment are necessary. To avoid future externalities, resulting from hydro-engineering projects, rural and urban development as well as other forms of land use, the effects of these measures need to be quantified in technical and economic terms. Environmental and technical models are needed to simulate different scenarios and make predictions about the impacts. Cost-benefit and cost-comparison studies must be extended and externalities be taken into account. This means that environmental, physical and economic methods and knowledge must be combined to establish new combined and integrated management and evaluation instruments to deal with often mentioned water crisis and to protect the water resource. In general can be stated that there is a need for further studies in the field of "hydroeconomics". Physical aspects of water related externalities are not well described in literature. The economic understanding of the resource water is very little. Most hydrological processes and use types known to be of economic relevance are technically well understood, but have rarely been monitored and highlighted from an economic point of view. The protection of our water resources is not only an environmental, but also an economic task. Hydro-economics as a combination of environmental and engineering knowledge with economics could provide the right instruments to increase the environmental and economic efficiency of our activities.

LITERATUR

- Auerswald, K. (2002), Landnutzung und Hochwasser, in 'Rundgespräche der Kommission für Ökologie', 24, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- Bernauer, T. (2002), 'Explaining success and failure in international river management', *Aquatic Sciences* 64, 1–19.
- Bormann, H., Diekkirüger, B. & Hauschild, M. (1999), 'Impacts of landscape management on the hydrological behaviour of small agricultural catchments', *Phys. Chem. Earth (B)* 24(4), 291 – 296.
- de Roo, A., Odijk, M., Schmuck, G., Koster, E. & Lucier, A. (2001), 'Assessing the effects of land use changes on floods in the meuse and oder catchment', *Phys. Chem. Earth (B)* 26(7-8), 593–599.
- DVWK (1999), Einflüsse land- und forstwirtschaftlicher Maßnahmen auf den Hochwasserabfluß - Wissensstand, Skalenprobleme, Modellansätze, Materialien 7/1999, DVWK.
- Dyck, S. (1995), Grundlagen der Hydrologie, 3 edn, Verlag für Bauwesen.
- Fiener, P. & Auerswald, K. (2003), 'Concept and effects of multi-purpose grassed waterway', *Soil Use and Management* 19, 65–72.
- Herbert, H. & Maidl, S. (2005), Der Strukturwandel in der Landwirtschaft dargestellt an den Dörfern der Gemeinde Buchhofen, in 'Deggendorfer Geschichtsblätter', number 27, pp. 227–314.
- Koehler, G. (2005), Vorbeugender Hochwasserschutz durch Maßnahmen in der Fläche, in 'Wasserwirtschaft in der Fläche', DWA Landesverband Bayern.
- Lammersen, R., Engel, H., van de Langemheen, W. & Buitveld, H. (2002), 'Impact of river training and retention measures on flood peaks along the rhine', *Journal of Hydrology* 267, 115 – 124.
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser - LAWA (1998), Leitlinien zur Durchführung dynamischer Kostenvergleichsrechnungen (KVR-Leitlinie), Technical report, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.
- Maidl, S. (2004), Flurnamen der Ortschaften Buchhofen, Manndorf, Nindorf und Ottmaring, in 'Deggendorfer Geschichtsblätter', Vol. 25, pp. 87–126.
- Maniak, U. (1993), Hydrologie und Wasserwirtschaft, 3 edn, Springer Verlag.
- Nujic, M. (n.d.), HYDRO AS-2D Benutzerhandbuch.
- Plate, E. J. (2002), 'Flood risk and flood management'.
- Schmidtke, R. (1981), Monetäre Bewertung wasserwirtschaftlicher Maßnahmen – Systematik der volkswirtschaftlichen Nutzenermittlung: Ergebnisse eines interdisziplinären Forschungsvorhabens., Technical report, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft.
- Sieker, H. & Klein, M. (1998), 'Best management practices for stormwater runoff with alternative methods in a large urban catchment in berlin, germany', *Water, Science & Technology* 38, 91–97.
- Umweltbundesamt (2001), Quantifizierung des Einflusses der Landoberfläche und der Ausbaumaßnahmen am Gewässer auf die Hochwasserbedingungen im Rheingebiet, Technical report, Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (2007), Ökonomische Bewertung von Umweltschäden – Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten, Technical report, Umweltbundesamt.
- Worreschk, B. (2000), Wirksamkeit von Hochwasservorsorge- und Hochwasserschutzmaßnahmen, Technical report, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

RISIKOBEWERTUNG IM BAYERISCHEN ALPENRAUM – DER WERT HISTORISCHER QUELLEN

RISK ASSESSMENT IN THE BAVARIAN ALPS – THE VALUE OF HISTORICAL DATA

Christian Frank, Claudia Copien, Michael Becht und Friedrich Barnikel¹

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die außergewöhnlichen Überschwemmungen der vergangenen Jahre stellt sich die Frage nach dem Naturgefahrenpotential des Bayerischen Alpenraums mehr denn je zuvor. Das Projekt HANG versucht, diese Frage anhand historischer Aufzeichnungen zu beantworten. Dabei wurden über 11500 Quellen, vor allem über die letzten 150 Jahre, gesammelt und ausgewertet. Durch die Untersuchung sollen neue Kenntnisse insbesondere über Amplitude und Frequenz von Naturereignissen gewonnen werden. Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auf die Erforschung der Gefahren durch Wildbäche gelegt. Hinweise konnten zu verschiedensten hydrologischen, geologisch-geomorphologischen Gefahrentypen, sowie zu Lawinen gesammelt werden. Vor allem jedoch hinsichtlich der Gefahr durch Überschwemmungen wurde eine Vielzahl wertvoller Informationen gewonnen. Neben der Beurteilung des Gefahrenpotentials dienen die gesammelten Daten schon jetzt Wasserwirtschaftlern und Geologen als wichtige Planungsgrundlage. Außerdem ermöglichen es die Quellen, die Festsetzung amtlicher Überschwemmungsgebiete zu validieren und ggf. zu überdenken.

Keywords: Bayerische Alpen, historische Quellen, Naturgefahrenpotential

ABSTRACT

Extraordinary floods of the recent years have posed the question of the hazard potential of the Bavarian Alps more than ever before. The HANG project tries to answer this question by using historical sources. More than 11.500 accounts, mainly focusing on the last 150 years, were collected and analyzed. The investigation primarily aims at gaining evidence on the amplitude and frequency of natural hazards with special attention on the danger caused by mountain torrents. Information on past natural events was collected for various hydrological, geological-geomorphologic hazard types as well as avalanches with the bulk of it concentrating on floods. The collated data already provides a basis for geologists and hydraulic engineers for the planning of measurements. Furthermore, using the sources, the determination of official flood areas can be validated and reassessed, if necessary.

Keywords: Bavarian Alps, historical data, natural hazard potential

¹ Lehrstuhl für Physische Geographie, Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt, Ostenstr. 18, 85072 Eichstätt, E-Mail: mail@chfrank.eu

STAND DER FORSCHUNG

In der Beurteilung von Naturgefahrenpotentialen erfahren historische Forschungsansätze in jüngerer Vergangenheit eine zunehmende Gewichtung. Vor allem die Bedrohung durch Hochwasser wird verstärkt auf der Basis historischer Quellen untersucht. Dabei sollen v. a. Aufzeichnungen und Hinweise über vergangene Großereignisse neue Informationen über die Häufigkeit und das Ausmaß zukünftiger Hochwasserkatastrophen liefern. Bisherige Forschungsarbeiten haben dabei ausschließlich große Flüsse und Flusseinzugsgebiete, wie z. B. den Rhein (Pörtge & Deutsch: 2000, Glaser & Stangl: 2003) und die Elbe (Brazdil: 1998), betrachtet. Weitere Untersuchungen rekonstruierten historische Hochwasser ganzer Länder, wie z. B. der Schweiz (Gees: 1997; Röthlisberger & Keller: 1992). Daneben dienen historische Quellen in vielen Analysen vor allem, um Veränderung des Klimas nachzuweisen (Wang et al: 1991; Pfister: 1988; Camuffo & Enzi: 1995).

Auch der Bayerische Alpenraum ist von Hochwasserereignissen größerer Flüsse (z. B. Isar, Inn) betroffen. Jedoch sind es v. a. Gewässer dritter Ordnung, in der Regel also die zahlreichen Wildbäche, die in diesem Gebiet Überschwemmungen und Vermurungen herbeiführen. Oft werden diese Ereignisse durch lokale Starkregen ausgelöst, die sich somit häufig nur auf wenige Bacheinzugsgebiete auswirken. Folglich ist eine Analyse des Gefahrenpotentials im Alpenraum hinsichtlich der Überschwemmungsgefahr nur im kleinräumigen Maßstab sinnvoll. Auch Rutschungen und Lawinen sind lokal ablaufende Ereignistypen, die ebenfalls einer punktuellen Betrachtung bedürfen (Barnikel & Becht: 2005).

DAS HANG-PROJEKT

Das Projekt **HANG** (**H**istorische **A**nalyse von **N**atur**G**efahren) wurde in den Jahren 2001 bis 2006 im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz durchgeführt. Gegenstand der Arbeit war die Erschließung, Sammlung und Auswertung von historischen Dokumenten, die Hinweise auf alpine Naturgefahren enthalten. Als Forschungsgebiet wurde hierfür der im Alpenplan festgelegte bayerische Alpenraum vorgegeben (vgl. Abb. 1). Ziel des Projekts war die Erweiterung des Wissens um das Potenzial alpiner Regionen hinsichtlich des gesamten Spektrums an Naturgefahren. Durch Belege, die den Zeitraum zwischen der Gegenwart und der möglichst weit zurückliegenden Vergangenheit dokumentieren, wurde der Frage nach der Häufigkeit, der Örtlichkeit und der Amplitude vergangener Naturereignisse nachgegangen. Die dabei gewonnenen Informationen wurden in einer Datenbank gespeichert und für die Nutzung in einem Geographischen Informationssystem aufbereitet. Die Daten sollen Experten als Grundlage zukünftiger Planungen in der Praxis des Risikomanagements dienen. Das Projekt HANG ist der Beitrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz zum Projekt DIS-ALP (Disaster Information System of Alpine Regions), der gemeinsamen Arbeit mehrerer Alpenstaaten zur einheitlichen Dokumentation alpiner Naturgefahren, gefördert aus dem Europäischen Regionalen Entwicklungsfonds (ERDF).

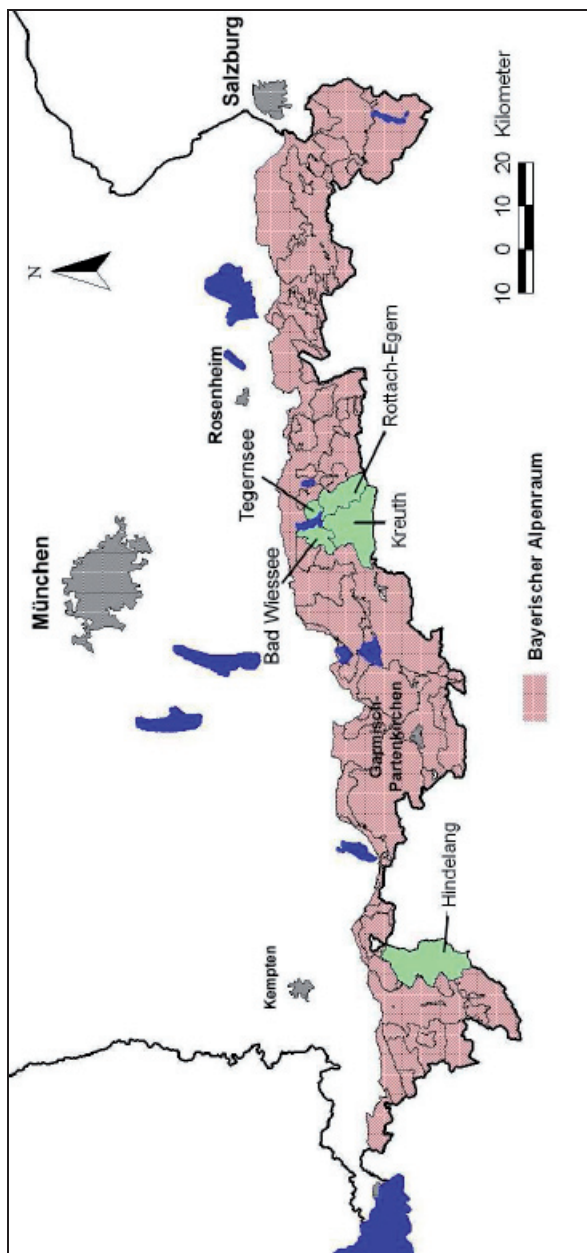


Abb. 1: Untersuchungsgebiet: Bayerische Alpen
 Fig. 1: Research area: Bavarian Alps

METHODIK

Quellenschließung

In einer Pilotphase des Projekts wurden historische Quellen zum Untersuchungsgebiet Hindelang im Allgäu sowie zu vier Gemeinden des Tegernseer Tals gesammelt (vgl. Abb. 1). Informationen konnten aus den behördlichen Registraturen, Gemeindearchiven, Privatsammlungen, kirchlichen Archiven, Zeitungsarchiven, Chroniken und dem Hauptstaatsarchiv gewonnen werden. Dabei zeigte sich, dass in aller Regel der Großteil verwertbarer Informationen aus den Archiven der Wasserwirtschaftsämter und der Gemeinden entstammt. Auch hinsichtlich der Qualität stachen Quellen dieser Archive hervor. Daraufhin wurden im weiteren Verlauf des Projekts v. a. diese Sammlungen verstärkt untersucht. Auch Privatarchive können, wie im Pilotprojekt (Barnikel: 2004), wertvolle Beiträge leisten, wurden jedoch im weiteren Verlauf aus der Untersuchung ausgeklammert, da diese i. d. R. schwer auffindbar und z. T. nicht zugänglich sind.

Die Mehrzahl der Archivfunde wurde direkt vor Ort mit Notebooks und einer eigens für die Erfordernisse der Untersuchung entwickelten Datenbank erfasst. Dabei wurde besonderer Wert darauf gelegt, nicht nur die aus der Quelle nutzbaren Einzelinformationen, wie z.B. Datum, Ereignisstelle, Art des Ereignisses, etc., zu übernehmen sondern auch den möglichst umfangreichen Originalwortlaut, durch den bei einer späteren Überarbeitung, z. B. hinsichtlich genauer Verortung, wichtige Informationen gewonnen werden konnten. Lediglich schwer lesbare Quellen, z. B. in Deutscher Schrift, die die Arbeitszeit in den Archiven unnötig ausgedehnt hätten, wurden vor Ort fotokopiert oder gescannt und zu einem späteren Zeitpunkt bearbeitet. Analog wurde mit der Vielzahl an Fotos, Skizzen und Karten verfahren.

Struktur der Datenbank

Allgemeine Erfassungsdaten:

Erfasst von: Name des Bearbeiters
Erfassungs-Datum: Datum der Erhebung

Art/Lokalität des Ereignisses:

Datum des Ereignisses: Dreigeteilte Erfassung des Ereignisdatums in Jahr, Monat und Tag
Anmerkung zum Datum: Kommentar zum Ereignisdatum
Art des Ereignisses: Grobunterscheidung in hydrologische, geologisch-geomorphologische sowie sonstige Ereignisse
Charakter: Mure, Rutschung, Felssturz, Hochwasser, Lawine, Hagel, Sturm, Unwetter, Erdbeben
Lokalitätsbezeichnung: Möglichst präzise Angabe des Schadensortes
Raum: Gemeinde, der das Ereignis zugeordnet werden kann
Einzugsgebiet: Bacheinzugsgebiet
Wildbachkennnummer: Kennnummer des Wildbacheinzugesgebiets
Koordinaten: Rechtswert und Hochwert der Schadensstelle (Gauß-Krüger)
Koordinate präzise: Angabe, ob die jeweilige Koordinate genau ist
Top-Karte: Bezeichnung der entsprechenden Topographischen Karte 1:25000

Datenquelle:

Archiv: Name des Archivs

Signatur: Signatur/Beschriftung der Datenquelle
Datenquelle (Zitat): originalgetreuer Wortlaut der Datenquelle Originalquelle

Detailangaben:

Gefährdet: gefährdete Objekte
Beschädigt: beschädigte Objekte
Zerstört: zerstörte Objekte
Konsequenzen: durchgeführte Maßnahmen
Ausdehnung/Reichweite: räumliche Ausdehnung des Naturereignisses
Ursache: Ursache für das Naturereignis
Frequenz: etwaige Frequenzen des beschriebenen Naturereignisses

Art der Quellen

Die überwiegende Mehrheit der recherchierten Quellen waren schriftliche Dokumente. Da diese, v. a. an den Wasserwirtschaftsämtern, dem Schriftverkehr zwischen dem Amt und meist anderen Behörden entstammten, kann von einer hohen Zuverlässigkeit der daraus gewonnenen Informationen ausgegangen werden. Aber auch die Quellen der Gemeindearchive waren meist behördlichen Ursprungs, so dass nur in wenigen Fällen Zweifel über die Korrektheit des Inhalts besteht.

Die Quellen der letzten ca. 50 Jahre wurden i. d. R. maschinell erstellt und konnten daher ohne Schwierigkeiten bearbeitet werden. Ältere, meist handgeschriebene Dokumente mussten jedoch mit größerem Aufwand analysiert werden, da sie teilweise schlecht erhalten oder schwer zu entziffern waren.

Weitere sehr wertvolle Quellen stellten Fotos, Karten und Skizzen bzw. Lagepläne dar. Während Karten (z. B. mit Überschwemmungsgebieten) fast ausschließlich an den Wasserwirtschaftsämtern vorlagen, waren es v. a. die Gemeinden, die über z. T. umfangreiche ältere Fotosammlungen verfügten. Skizzen und Lagepläne entstammten meistens den Wasserwirtschaftsämtern und dienten in der Regel der genauen Lokalisierung von Ereignissen, waren jedoch darüber hinaus von geringerer Bedeutung und wurden daher nur in seltenen Fällen gescannt. Die Bestimmung von Koordinaten erfolgte häufig bereits während der Datenerfassung.

Datenbestand

Über 11500 Quellen wurden in den Archiven des bayerischen Alpenraums in die Datenbank eingegeben. Die tatsächliche Zahl an Funden liegt weit höher, jedoch wurden offensichtliche Doppelnennungen und identische Hinweise nicht erfasst.

Nach weiteren Überarbeitungen der Informationen ergab sich ein Datenbestand von insgesamt 10074 Datensätzen. Davon bilden hydrologische Naturgefahren die überwiegende Mehrheit der erforschten Quellen. Auf Hochwasserereignisse entfielen 78,0%, auf Muren 3,1% der Datenmenge. Geologisch-geomorphologische Gefahren haben ein Anteil von 10,6% am Datenvolumen. Sonstige Ereignisse (Lawinen, Hagel, Sturm etc.) spielen mit 6,6% eine eher untergeordnete Rolle. Auch die Zahl an nicht näher bestimmbar Ereignissen ist mit 1,8% vergleichsweise gering (vgl. Abb. 2).

Durch die Recherche konnten Ereignisse an über 1200 Flüssen und Wildbächen ermittelt werden.

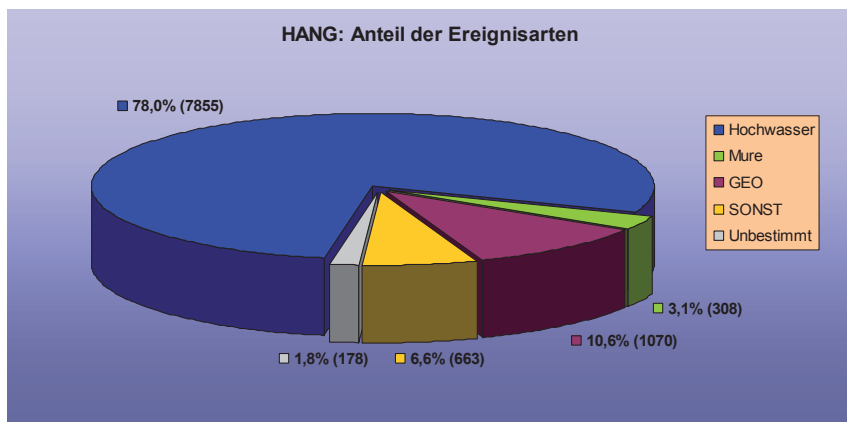


Abb. 2: Datenvolumen: Anteil der Ereignisarten
Fig. 2: Data volume: proportion of hazard types

Zeitliche Verteilung der Archivfunde

Der Hauptteil der erfassten Hinweise nimmt Bezug auf die letzten gut 150 Jahre (vgl. Abb. 3). Dies liegt darin begründet, dass die Wildbachverbauung in Bayern in der Mitte des 19. Jahrhunderts begann und Hochwasserereignisse erst im Zuge dieser Verbauungsmaßnahmen schriftlich dokumentiert wurden. Aufzeichnungen zu weiter zurückliegenden Ereignissen konnten im Vergleich dazu seltener gefunden werden. In jenen Fällen handelte es sich jedoch meist nicht mehr um Originalquellen sondern lediglich um Überlieferungen, z. B. in Chroniken, oder spätere Erwähnungen mit häufig geringerem Informationsgehalt als in Originalfunden. Die ältesten Hinweise gehen bis in das Jahr 781 zurück, treten jedoch bis ca. 1500 nur vereinzelt auf. Erst ab diesem Zeitpunkt konnten Hinweise in zunehmender Dichte entdeckt werden.

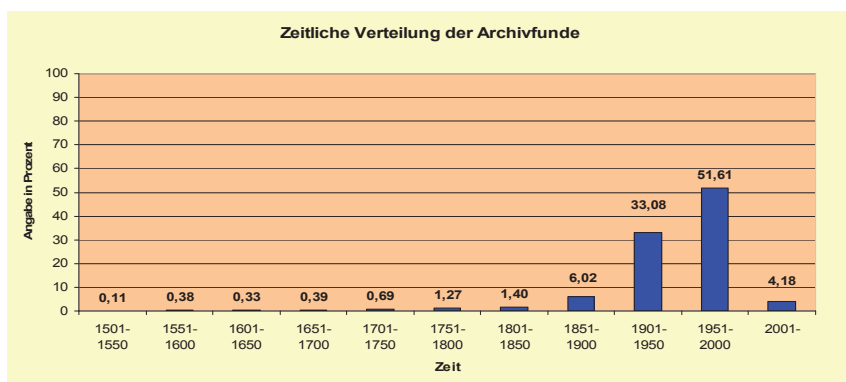


Abb. 3: Zeitliche Verteilung der Archivfunde
Fig. 3: Chronological distribution of the sources

VERWERTBARKEIT HISTORISCHER DATEN

Informationen für Experten und interessierte Bürger

Sämtliche durch das Projekt HANG recherchierten Informationen über vergangene Naturereignisse des Bayerischen Alpenraums wurden in den Informationsdienst Alpine Naturgefahren (IAN) des Bayerischen Landesamts für Umwelt integriert (<http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/ian/index.htm>). Dabei sind neben der Darstellung in Kartenform auch schriftliche Informationen im Originalwortlaut und historische Karten, Fotos und Skizzen einsehbar. Abbildung 4 zeigt die Ereignisdokumentation für einen Teilbereich der Gemeinde Schliersee. Dabei wird jeder recherchierte Hinweis durch ein eigenes Punktsymbol dargestellt.

Primär sollen die Quellen Experten (Wasserwirtschaftler, Geologen) als Planungsgrundlage für Verbauungen und Schutzmaßnahmen dienen. Darüber hinaus bietet diese Plattform aber auch Bürgern die Möglichkeit, Gefahrenschwerpunkte mit lokalem Interesse zu betrachten.



Abb. 4: Ereignisdokumentation für die Gemeinde Schliersee

Fig. 4: Event documentation for the community of Schliersee

Beurteilung von Naturgefahrenpotentialen

Die Mehrheit der gesammelten Daten bezieht sich auf hydrologische Naturereignisse (vgl. Abb. 2). Zumindest für einige Einzugsgebiete und Gemeinden liegt eine breite Datenbasis vor, um Gefahrenpotentiale hinsichtlich dieses Ereignistyps zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden alle Einzelereignisse innerhalb dieser Einzugsgebiete an jedem betroffenen Fluss und Wildbach separat untersucht und bewertet. Als Grundlage hierfür wurden sechs

Bewertungskriterien definiert (vgl. Tab. 1). Eine weitere Differenzierung erwies sich aufgrund des knappen Informationsgehalts vieler historischer Quellen als nicht praktikabel.

Tab. 1: Kategorisierung von Hochwasserereignissen

Tab. 1: Classification of floods

Kategorie Hochwasser:	Kennzeichen
0: Nicht klassifizierbar	Hochwasser nur erwähnt; aufgrund zu weniger Informationen nicht klassifizierbar
1: Hochwasserführung	Hochwasserführung, nur stellenweise leichtes Übertreten des Baches
2: Leicht	Schäden an der Verbauung, Dämmen, Brückenfundamenten; Ausspülungen und Unterspülungen
3: Mittelschwer	Schäden in ufernahen Gebieten; meist Verkiesungen und Vermurungen von Feldern und Wiesen
4: Stark	Großflächige Überschwemmungen, z. T. mit Gebäudeschäden, größere Sachschäden
5: Schwer/katastrophal	Großflächige Überschwemmungen mit z. T. erheblichen Sachschäden, evtl. auch Personenschäden

Für die Beurteilung der Aktivität eines Bachs ist neben dem Ausmaß auch die Häufigkeit von Ereignissen zu berücksichtigen. Daher wurde ein Bewertungssystem ausgearbeitet, das die Faktoren Amplitude und Frequenz kombiniert und vier Aktivitätsgrade unterscheidet.

Dabei ist zu bemerken, dass die Kategorisierung von Wildbächen auf der Basis historischer Dokumente in der Naturgefahrenforschung bisher beispiellos ist. Speziell die Abgrenzung hinsichtlich der Frequenz konnte daher nicht nach rein objektiven Gesichtspunkten erfolgen. Durch die Analyse erwies sich jedoch die Kategorisierung aufgrund der Kombination von Amplitude und Frequenz als die bisher praktikabelste. Durch die Vorgabe von Mindesthäufigkeiten für jede Kategorie schränkt sie zumindest die Auswirkung von Fehlinterpretationen ein (vgl. Tab. 2).

Tab. 2: Klassifizierung der Aktivität von Wildbächen

Tab. 2: Classification of torrent activity

Kategorie	Kriterien
Sehr hohe Aktivität	Mindestens zehn Ereignisse, darunter mind. ein starkes oder schweres Ereignis
Hohe Aktivität	Mindestens fünf Ereignisse, darunter mind. drei mittelschwere Hochwasser oder ein starkes oder schweres Hochwasser
Mittlere Aktivität	Mindestens drei Ereignisse oder mind. ein mittelschweres Hochwasser
Geringe Aktivität	Alle weiteren Bäche

Anhand dieser Kategorisierung wurden die Wildbäche eines kleinen Einzugsgebiets bei Pfronten im Allgäu bewertet.

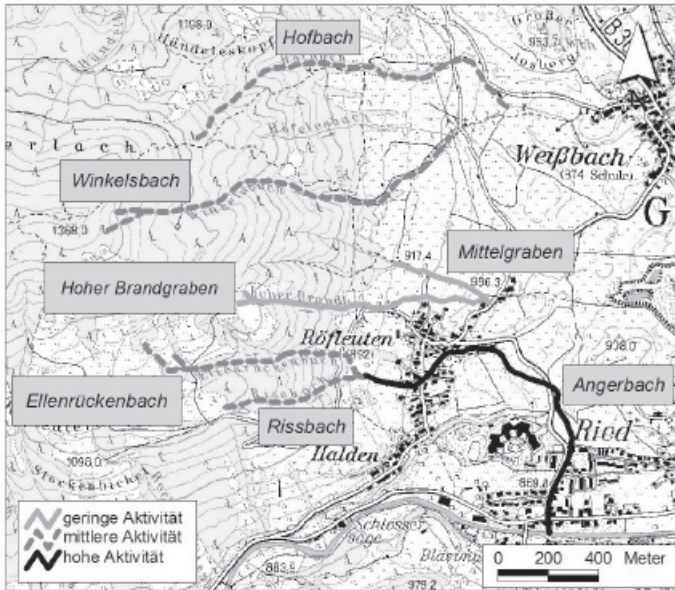


Abb. 5: Aktivität der Wildbäche bei Pfronten/Allgäu
 Fig. 5: Activity of torrents near Pfronten/Allgäu

Validierung amtlicher Überschwemmungsgebiete

Das Gesetz zur Verbesserung des vorbeugenden Hochwasserschutzes sieht bis zum Jahr 2012 für Deutschland die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten vor. Dies betrifft Gewässer bzw. Gewässerabschnitte, die bei Hochwasser nicht nur geringfügige Schäden verursachen. Als alleinige Grundlage dieser Zonierung dienen Berechnungen von Ereignissen, die statistisch einmal in 100 Jahren zu erwarten sind (HQ 100). Historische Daten von Hochwasserereignissen können herangezogen werden, um diese rein statistisch errechneten Überschwemmungsgebiete zu überprüfen und ggf. zu modifizieren. Rechenmodelle beinhalten keine lokalen Besonderheiten, die jedoch bei Hochwasser häufig von entscheidender Bedeutung sind. Vor allem Abflusscharakteristika und Schwachstellen an Deichen müssen in eine aussagekräftige Gefahrenbewertung einfließen. Diese Daten können durch historische Belege ergänzt werden.

In Bayern ist die Festsetzung von Überschwemmungsgebieten weitestgehend abgeschlossen. Abbildung 6 zeigt beispielhaft das amtlich festgesetzte Überschwemmungsgebiet an der Iller bei Fischen im Allgäu. Gemäß dieser Zonierung sind v. a. die Gebiete westlich der Iller durch Hochwasser gefährdet. Eine historische Karte aus dem Jahr 1908 belegt jedoch im Detail, dass aufgrund eines Deichbruchs nordöstlich von Fischen und durch Überströmen des Deichs an mehreren Stellen weite Bereiche östlich des Flusses überflutet wurden. Die damaligen Hochwassergrenzen konnten mithilfe dieser Karte genau lokalisiert werden. Offensichtlich stellen bestimmte Dammabschnitte besondere Schwachstellen dar, da sich nach Angaben des Wasserwirtschaftsamts Kempten beim Hochwasser im Jahr 2005 ein ähnliches Szenario an denselben Stellen ereignete und erneut Gebiete östlich der Iller überflutet wurden.

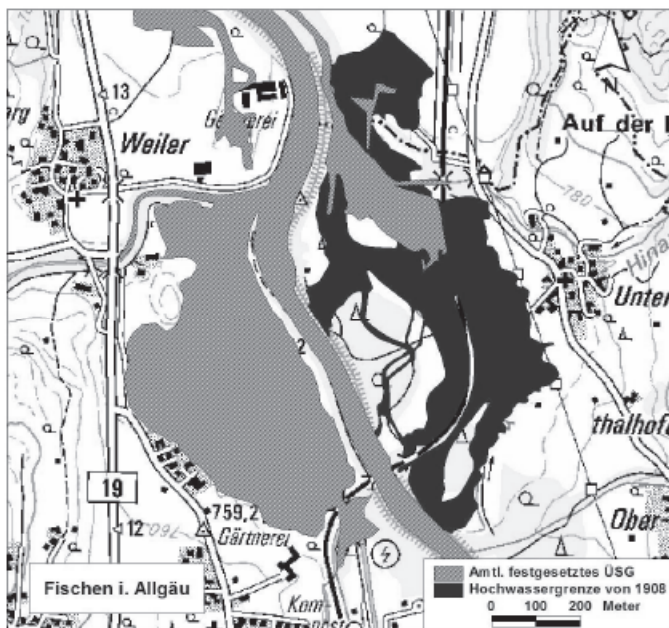


Abb. 6: Amtlich festgesetztes Überschwemmungsgebiet / Hochwassergrenze 1908
 Fig. 6: Official flood plain / flood plain of 1908

Die Kartierung des amtlich festgesetzten Überschwemmungsgebiets und der überfluteten Bereiche des Jahres 1908 zeigt eindeutig den Wert historische Daten zur Beurteilung von Gefahrensituationen.

FAZIT

Die Recherche nach historischen Quellen in verschiedenen Archiven des Bayerischen Alpenraums hat das Wissen über Gefahrenpotentiale erheblich erweitert. Vor allem zum Hochwasserrisiko konnten neue, wesentliche Informationen gewonnen werden.

Im Allgemeinen geben die meisten Daten wertvolle Hinweise auf lokale Gefährdungen und ergänzen somit bereits vorhandene Kenntnisse, wie der Vergleich mit amtlichen Überschwemmungsgebieten zeigt. Für manche Gebiete können sogar fundierte Aussagen über das mögliche Ausmaß und evtl. Häufigkeiten von zu erwartenden Hochwassern getroffen werden.

Wenngleich die Informationen zu anderen Gefahrenarten (z. B. Rutschungen, Lawinen) im Vergleich zu Hochwassern unterrepräsentiert sind, so ergänzen auch sie den bisherigen Datenbestand um zahlreiche verwertbare Hinweise.

Eine Gefahrenzonierung ausschließlich auf der Basis historischer Quellen ist für das gesamte Untersuchungsgebiet nicht durchführbar, da diese größtenteils zu wenig detailliert sind und häufig nicht flächendeckend vorliegen. Jedoch stellen die recherchierten Daten einen

wichtigen Baustein in der Gefahrenbewertung dar und sollten bei Planungen und Baumaßnahmen verstärkt Beachtung finden.

LITERATUR

- Barnikel F. (2004): „Analyse von Naturgefahren im Alpenraum anhand historischer Quellen am Beispiel der Untersuchungsgebiete Hindelang und Tegernseer Tal, Bayern“. Göttinger Geographische Abhandlungen, 2004
- Barnikel F. und Becht M. (2005): „Regional Historical Analysis of Natural Hazards in the Alps - The HANG Project“. Zeitschrift für Geomorphologie N. F., Suppl. Bd. 138, S. 27-36, 2005
- Brázdil R. (1998): „The history of floods on the rivers Elbe and Vltava in Bohemia“. - In: Pörtge K.-H. und Deutsch M.: Aktuelle und historische Hochwasserereignisse (Erfurter Geographische Studien 7; Erfurt), S. 93-108, 1998
- Camuffo D. und Enzi S. (1995): „Reconstructing the climate of northern Italy from archive sources“. - In: Bradley R. S. und Jones P. D: Climate since A.D. 1500 (London), S. 143-154, 1995
- Gees A.(1997): „Analyse historischer und seltener Hochwasser in der Schweiz“. Geographica Bernensia, G 53, Bern, 1997
- Glaser R. und Stangl H. (2003): „Historical floods in the Dutch Rhine Delta“. Natural Hazards and Earth System Sciences, S. 605-613, 2003
- Pfister C., Bütikofer N., Schuler A. und Volz R. (1988): „Witterungsextreme und Waldschäden in der Schweiz“, Bern, 1988
- Pörtge K.-H. und Deutsch M. (2000): „Hochwasser in Vergangenheit und Gegenwart“. Rundgespräche der Kommission für Ökologie 18, S. 139-151, 2000
- Röthlisberger G. und Keller H. M. (1992): „Historische Hochwasser in der Schweiz – Ursachen und jahreszeitliche Verteilung“. Interpraevent 1992/1, S. 105-116, 1992
- Wang R., Wang S. und Fraedrich K. (1991): „An approach to reconstruction of temperature on a seasonal basis using historical documents from China“. International Journal of Climatology, 11, S. 381-392, 1991

INTEGRATED AND PARTICIPATORY LAND-USE MANAGEMENT

THE IMPLEMENTATION OF INTEGRATED LAND CONSOLIDATIONS IN THE CONTEXT OF THE 3RD RIVER RHONE TRAINING PROJECT IN THE CANTON OF VALAIS, SWITZERLAND.

Martin Fritsch¹, Alexandre Repetti², Claude-Alain Vuillerat³, Gerhard Schmid⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Das Konzept der 3. Rhonekorrektur (R3) beinhaltet u.a. markante und über den gesamten Streckenverlauf von 160 km verteilte Flussraumaufweitungen. Die damit äusserst wichtige räumlichen Einbindung der R3 in den dicht genutzten und besiedelten Talboden des Kantons Wallis erfolgt über einen integrierten und partizipativ gestalteten Planungsansatz, der drei Ebenen miteinander verknüpft: 1. Die Projektebene R3 mit den ausgearbeiteten Varianten. 2. Die von der R3 initiierten Regionalen Entwicklungskonzepte, welche den generellen raumplanerischen und regionalökonomischen Rahmen aufzeichnen. 3. Die Integralmeliorationen als ebenfalls partizipativ organisiertes Landneuordnungsverfahren, mit dem insbesondere im ländlichen Raumes bis auf die Ebene des Grundeigentums sowohl die für die R3 notwendigen Flächen sichergestellt sowie gleichzeitig als Kompensation des Flächenverlustes die landwirtschaftlichen und kommunalen Infrastrukturen verbessert und die ökologische Qualität der Landschaft aufgewertet werden. Der integrale Ansatz verlangt jedoch von den Regionen und v.a. den Kommunen eine aktive Raumentwicklung. Soll das Angebot der R3 als Chance aufgenommen und die räumliche Einbindung ohne Enteignungen realisiert werden, braucht es insbesondere für das Umsetzungsinstrument der Integralmeliorationen von den Kommunen und weiteren Interessengruppen eine direkte Unterstützung.

Keywords: Integraler Planungsansatz, Land Management, Regionale Entwicklung, Integralmeliorationen, Partizipation, Hochwasserschutz.

¹ Director, consultancy m.fritsch • environmental management & communication (emac), Wildbachstrasse 46, CH-8008 Zurich, Switzerland, (Tel. +4144-380 31 42, Fax +4144-383 49 05, email: m.fritsch@emac.ch)

² Project manager, consultancy m.fritsch • environmental management & communication (emac), Avenue du Casino 45, CP 400, CH-1820 Montreux 2, Switzerland, (Tel. +4121-966 10 96, email: a.repetti@emac.ch)

³ Director, consultancy B+C Ing. SA, Avenue du Casino 45, CP 400, CH-1820 Montreux 2, Switzerland (Tel: +4121-966 10 80, Fax: +4121-966 10 89, email: mail@bcing.ch)

⁴ Chief Engineer Responsible for Agriculture for the River Rhone Project, Landwirtschaftszentrum Visp, CH-3930 Visp, Switzerland, (Tel. +4127-948 08 24, Fax +4127-948 08 13, gerhard.schmid@admin.v.s.ch)

ABSTRACT

The concept of the 3rd River Rhone Training Project (R3) includes a series of distinct riverbed enlargements along the entire project length of 160 km. To achieve the crucial spatial integration into the densely occupied river plain, an integrated and participatory planning and land management process has been initiated, combining three levels: 1. The project level with the variants; 2. The Regional Development Concepts initiated by R3; 3. The Integrated Land Consolidations (ILCs), representing the implementation tool to reorganize in particular the rural territory down to the property level, taking into account the allocation of the necessary surfaces for the R3 and in parallel the improvement of the agricultural and communal infrastructure as well as the ecological revitalization of the landscape - both as a compensation for the surface losses caused by R3. However, the integrated planning and implementation process requires an active territorial development policy from the regions and in particular from the communities. In order to perceive the R3 as an opportunity for the development of the rural and peri-urban territory without expropriations, further ILCs will need strong support from the communities and stakeholders concerned.

Keywords: Integrated planning and land management process, regional development, integrated land consolidation, participation, flood control.

THE RIVER RHONE: SUSTAINABLE FLOOD CONTROL REQUIRES MORE SPACE FOR THE RIVER SYSTEM

Both economic activities and ecological systems are always related to land and land-use. In terms of economic activities, increasing demand for land is often spatially concentrated in the large river plains and near agglomerations. Traffic, housing, consumption, tourism and recreation, industries, infrastructures for material disposal, energy production and energy supply create heavy pressure on open space, in particular on rural areas adjacent to fast growing peri-urban zones. At the same time, nature and landscape protection are legally undisputed elements of communal and regional development. In addition, the protection of agricultural land has become a sensitive and important issue, since today agricultural practices follow ecological rules and have also taken on a relevant role in maintaining and cultivating open landscapes and natural sites. However, ecological and agricultural systems depend on sufficient and suitable surfaces of land. In summary, this leads to a high spatial density of contradictory land-use types and demands with often conflicting interactions. This becomes particularly obvious where the economic and technical infrastructures are increasingly exposed to natural hazards such as floods. The numerous floods of the past decade have highlighted how closely the vulnerability of our economy is related to the lost space for our river systems. The situation becomes even more critical since with the ongoing climatic changes, floods may increase in terms of extent and frequency.

As a result, the Swiss federal and cantonal laws require that integrated river training and flood control concepts be implemented. This means that hydraulic engineering has to be combined with improving the river morphology and the ecological connectivity of a river system. Flood safety has in the first place to be assured by river maintenance and spatial planning. The effects of those measures have to be assessed in a holistic way, considering the interactions with all other relevant issues.

This integrated approach is currently being applied to the realisation of the 3rd River Rhone Training Project (R3⁵) in the Canton of Valais, Switzerland. With a length of 160 km. and an investment of approximately 800 million Euros, the project represents one of the largest river training projects at present in Europe. In applying an integrated approach the challenge is not only to guarantee flood safety, but also to integrate the river in the entire river plain, considering all interests, such as communal and regional development, environmental conservation, agriculture sustainability, leisure, tourist and traffic infrastructure, and economic promotion. One of the key elements of the project is the enlargement of the riverbed along a series of selected sections. This requires land in peri-urban and intensive farming contexts, the only zones in the densely populated river plain, where enlargements are possible. However, 80% of the economic life of the Canton is concentrated in the river plain, which additionally increases the land-use pressure on open space.

INTEGRATED LAND MANAGEMENT - THE KEY INSTRUMENT FOR ALLOCATING AND COORDINATING LAND-USE DEMANDS

In order to provide the necessary space for the riverbed enlargements, rearward flood dikes, the ecological connectivity and the residual flood risk surfaces, an integrated planning and land management approach has been developed, combining different planning and implementation instruments and a top-down with a bottom-up approach. This allows a connection to be established between different planning and decision making levels, starting from the general master plan of the project, reaching finally the important property level, where specific surfaces need to be reallocated for either the River Rhone Project itself or for other land use purposes. Overall the entire planning and land management approach includes 3 levels (see also figure 5 at the end):

1. The project level - the Sectoral Plan for the 3rd River Rhone Training:

The sectoral plan is a territorial management tool and a base line element of the cantonal master plan (Canton of Valais, 2005). On a scale of 1:25'000 it includes the potential flood risk areas (hazard index map), the so-called "River Rhone Zone" adjacent to the main riverbed, and all relevant relations and conflicts with the associated territories. The hazards index map indicates the extent of a potential 100-year flood, affecting a surface of 11'000 ha in the Canton of Valais and another 3'000 ha in the Canton of Vaud with two degrees of intensity (high or medium to low). The definition of those flood risk areas considers also current land-occupation and follows the principle of appropriate and rational land-use. Finally, an area twice as wide as the current riverbed has been assigned along the riverbanks where no major obstacles or spatial limitations, such as residential and industrial zones or other infrastructure facilities, already exist. Along the entire 160 km river section in the Canton of Valais, the River Rhone Zone will be extended over 1'100 ha in addition to the current existing river zone of 1'300 ha. Within this zone no buildings are allowed. Thus the enlargements are an indispensable element towards realizing the hydraulic and river-morphological concept and to match the expected flood protection level (see also Arborino, 2008). The spatial definition specifically refers to the three main objectives of the project (Canton of Valais, 2000):

- (i) Reinstallation and guarantee of flood security,
- (ii) Improvement of the river's environmental quality, and
- (iii) Use of the R3 for initiating a sustainable spatial development of the entire river plain.

⁵ Used as abbreviation for the rest of the paper.

2. The regional level - the Regional Development Concepts (RDC) and the agricultural development strategy:

Having a distinct impact on the territory, the R3 requires a comprehensive integration into the present and future land-use patterns. The project has therefore established 6 regional committees, corresponding to the socio-economic regions of the canton. Their main task is to develop a long-term vision of the general development frame for the entire river plain. In the course of a strong participatory driven process, each committee, including the representatives of the local municipalities and further representatives from agriculture, local industries and tourism, has jointly developed a **Regional Development Concept**. It takes into account not only the economic, social and environmental demands and needs expressed by the different stakeholders but also considers the possible synergies or conflicts with the R3 in relation to the infrastructure and land use patterns of the river plain.

In this context agriculture plays a crucial role becoming a particularly important partner of the R3. On the one hand mainly agricultural land is required to realise the enlargements, i.e. the concept to reassure flood safety. On the other hand the agricultural sector has to undergo major structural changes in order to cope with the new challenges and demands of liberalised markets. The Swiss agricultural policy for the years 2008-2011 continues with structural reforms, meaning fewer subsidies for products but more direct payments for ecological services and more market exposure. To deal with those challenges an **Agricultural Strategy** (Canton of Valais, 2005) has been worked out, with active participation of the farmers, the chamber of agriculture and the cantonal agricultural service.

3. The property level - the application of integrated land consolidations (ILC) and the evaluation of potential ILC perimeters:

The third level concerns the land property itself and is an indispensable element of the integrated land use management approach. Land consolidations are a legally well-established land management tool and procedure to reallocate and rearrange rural property, mainly in order to reduce land fragmentation, along with improving the agricultural infrastructure but also to efficiently assure surfaces for highways, railways or other infrastructure projects of high public interest. However, over the past decade land consolidations in Switzerland have drastically changed their character and scope. Today they are integrated, multi-component, multi-purpose land management projects with strong stakeholder participation, taking equally into account agricultural, ecological and public-private interests.

This double functionality - the legally effective allocation of property and its extended scope as integrated territorial land management projects - are the main reason for applying ILCs as the preferred land management tool for integrating the R3 into the rural territory.

After all ILCs also make it possible to realise the jointly agreed compensation principle, which marks the base line of the partnership between R3 and the farmers: the loss of agricultural land due to riverbed enlargements, ecological compensations or rearward flood dikes will be compensated with the improvement of the rural infrastructure and land-use patterns taking also into account the conflicts between farming and other activities such as urban spread, tourism and leisure, or landscape protection. The overall objective is to improve the farmer's position to produce high quality goods under competitive economic conditions, despite the loss of agricultural land.

In the case of the R3 River Training Programme three ILCs were first prepared between 2005 and 2007 in the context of the two priority sections, where urgent flood protection measures and enlargements have to be realised first, starting in 2008 (Hersberger, 2008). In all three

cases the ILCs followed an approach combining a project preparation with a project evaluation and a participatory approach (see figure 1 below):

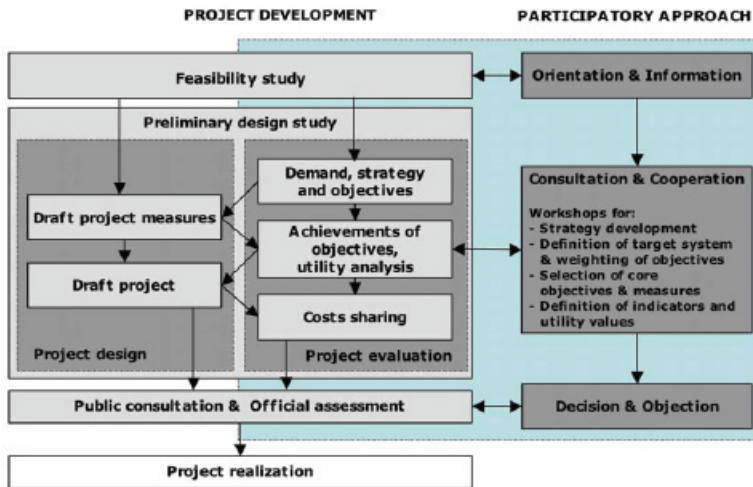


Fig. 1: Planning and project development procedure of ILCs

The project development and participatory approach include the following elements (Canton of Valais, 2005-2006):

- A feasibility study analysing the initial situation and conditions, the needs of the stakeholders, and the technical feasibility.
- A strong stakeholder participation throughout the entire project development process. Stakeholders were considered as groups of interest or individual representatives from governmental services and organizations, who have not only a general public and/or private interest in the territory but who are also affected by the project (Van der Werff, P., 2000).
- In the case of the three ILCs the following groups of interest were identified and invited to participate: farmers, non-agricultural land-owners, representatives from communal and cantonal authorities, representatives from tourist associations and NGO's in the field of nature protection (see also figure 2).



Fig. 2: Farmers and representatives from the cantonal agricultural service during one of the workshops for strategy development.

- A clear distinction of the four levels of participation (Bischoff, Selle, & Sinning, 2001): 1. Orientation and information on a general level for all persons interested, 2. Consultation & cooperation, which includes the active participation of the selected interest groups and 3. Decision & objection, which is limited to the landowners and authorities, since ILC procedures require the agreement of the landowners located in the ILC perimeter.
- A jointly elaborated definition of a sustainable development strategy for the rural territory.
- A translation of the strategy into a systematic, symmetrical and hierarchical target system with three equally valuable main objectives for *agriculture*, *ecology* and *public-private interests*. Each main objective was again subdivided into three further intermediate goals, each again subdivided into three sub-goals. This led to a comprehensive set of 27, i.e. 9 project objectives for each of the three main objectives.
- A prioritisation of the entire target system by the groups of interest.
- An assessment of the expected impacts and benefits of the planned measures by applying a utility analysis based on mainly spatially referenced indicators using GIS (Fritsch, 2004).

The process is completed by a public consultation among all communities and landowners involved and an official assessment among the cantonal and federal services. Based on the outcome, the ILC project becomes adjusted and then officially endorsed by the cantonal council, which then makes it possible to proceed with the implementation of the project.

Since the three ILCs prepared so far cover only the R3 priority sections, the rural territory along the remaining sections has been evaluated, using a set of nine indicators, based on the above-mentioned target system: *Agricultural infrastructure*; *land property structures*; *agricultural area in use*; *water bodies and aquatic environment*; *ecological networks*, *leisure, sport & tourism*, *traffic & mobility*, *communal development*.

The aim of this evaluation was to identify potential ILC perimeters, based on the demand of the rural territory in relation to the thematic fields of the nine indicators. The results demonstrate the potential for improvement, which can be achieved by an ILC independently from the River Rhone Project. This makes it possible to identify synergies between the R3 and the rural territory, e.g. in cases of significant riverbed enlargements and a high demand for a reorganization and improvement of the affected rural zone.

FIRST RESULTS AND EXPERIENCES

The regional level and the partnership with R3 for the agricultural development:

The results of the RDCs are presented in the form of maps (see below figure 3) and action sheets completed by an analysis of the potential instruments for implementation. The summary and synthesis of these concepts form an essential basis on which the final variant of the R3 will be finalised and spatially integrated. Although the RDCs are not legally binding, the municipalities and stakeholders have realised their importance in relation to the expected numerous land use changes in the densely occupied river plain, for which the River Rhone Project will be responsible only to a limited extent. Particularly in the upper part of the Valais, the ongoing construction of a new highway, the crossing of the new transalpine high-speed railway line, the extension of the existing railway lines and finally numerous intended extensions of communal residential and industrial zones during the next 10 to 15 years made it clear that the R3 is by far not the only land-demanding project. Downstream of the town of Visp, where the first priority measures will be implemented in 2008, the riverbed will be enlarged along two stretches, each of 1 km length (actual width +50%) claiming 8 ha of land out of which 4 ha. are cultivated (Hersberger, 2008). However all other present and future

neighbouring land demands amount to approximately 90 ha. in the adjacent river plain section of totally 365 ha.

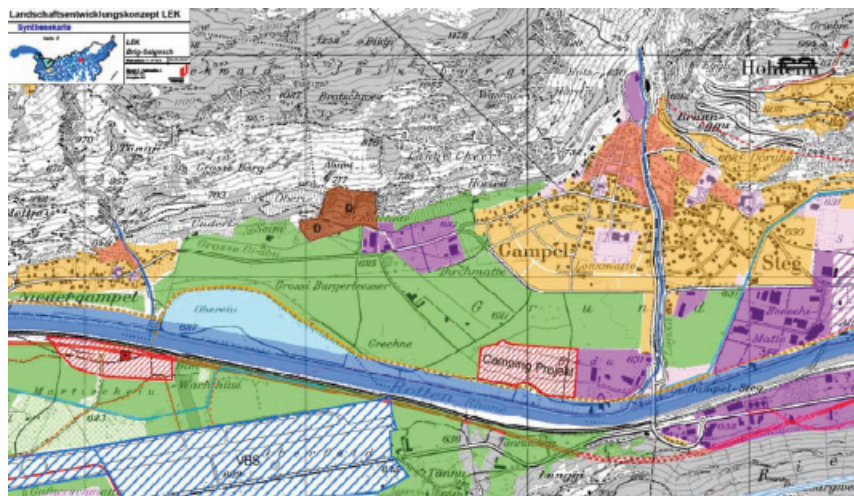


Fig. 3: Example of an RDC map, showing the main territorial demands and projects on regional level

These highly dynamic land use changes and the resulting high pressure on agricultural land once more emphasised the partnership between the R3 and the farmers. On the agricultural side the discussions with the farmers made it clear that there is an urgent need to act and reform agricultural structures - independently from any river training or other infrastructure project. The agricultural strategy report points out that not only the number of farms will decrease, but that the remaining farms can only survive if they produce high quality local specialities for niche markets. This means focussing on labelled products, which have a strong identification with the corresponding socio-economic region.

The application of Integrated Land Consolidations as implementing instrument on the property level:

Today out of the three ILCs, one project is about to implemented, one project is still in the course of legal procedures and one is still at the stage of a design project. Despite the different project status, it can be concluded that the instrument has proved to be efficient and well adapted to the purpose:

- The land demands for R3 can be fulfilled without expropriation;
- The land losses can be equally shared between all land owners;
- In return the agricultural land use patterns and infrastructure will be improved and adapted taking into account the activities of the municipalities, the economic development and the region, other infrastructure projects and the implementation of an ecological network. In the case of the three ILCs this means a total investment volume of approximately €22.3 millions, shared between the Federal Office of Agriculture, the River Rhone Project (financed through the Hazard Prevention Division of the Federal Office for the

Environment), the Canton of Valais, the communities concerned and the individual landowners, who usually have to pay only a minor share.

The results are three preliminary design studies, approved by the Cantonal and Federal Agricultural Services and published for a public consultation and assessment.

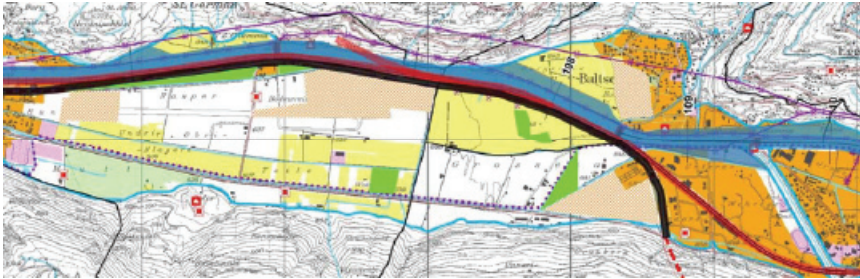


Fig. 4: Part of the ILC perimeter West of Visp, with the right-bank riverbed enlargements.

The participatory process and the project evaluation, in particular the close combination of the project design and the utility analysis, generated not only essential inputs for the technical solutions but moreover improved the perception and acceptance of the project among the communities, governmental services and landowners as deciders, as well as among all other groups with particular land-use related interests:

- The differentiation of various levels of participation (orientation & information – consultation & cooperation – decision & objection) not only made the participatory process more transparent, but also distinguished between interest groups and actors in the sense of deciders.
- However, the most critical element is the identification of the interest groups. This becomes evident while analysing the position of the farmers. On the one hand farmers are the main actors in the rural territory while cultivating land and maintaining the ecological quality of the landscape. On the other hand, in the case of the R3 they represent only a minority in terms of landowners, since most of their cultivated land is leased. This leads to conflicts with the farmers, who often felt overruled by non-agricultural interests and in consequence overestimated the impact of the surface demand for the river enlargements.
- In this context, the ILC procedure was able to create transparency related to the different and conflicting land-use demands as well as to raise awareness among non-agricultural landowners for an intact landscape, where agriculture has to play a key role.
- The target system became an important and indispensable element in the entire project development process. It represents the full range of the sphere of activities and the symmetrical structure made it possible for all interest groups and actors to agree on the equivalence of the three main domains of an ILC, i.e. *agriculture*, *ecology* and *public-private interests*. In fact this equivalence was never questioned and thus became the main basis for conflict resolution and balancing out the various interests.
- The weighting of the objectives is one of the most important steps and results of the participatory process, since all interest groups and actors are confronted simultaneously with the full range of project objectives and are asked to take a position while expressing

their priorities. The feedbacks were throughout positive and all groups showed high interest in participating.

- The application of two weighting methods is an important element for cross-checking the consistency of the weighting results. The first method is based on the analytical hierarchy process (Saaty, 1990, cited in Scholz & Tietje, 2002), and asks the participants to distribute their preferences among three objectives on each level of the target system⁶. This weighing method leads to a more strategic weighting, since the participants always have to express a relative preference among three objectives. The other method uses the classic swinging weights, where numbers between 0 and 100 are distributed to only the 27 detailed project objectives, listed in a random order. In practical use the two methods were called the "relative and the absolute weighting" and proved to serve as simple, robust and practical evaluation tools.
- The comparison of the results makes it evident that the profile of interest for each group appears in a much more distinct way when applying the relative weighting. This makes it possible to identify and confirm the core interest of each group. In contrast, the absolute weighting gives the participants more freedom to express their preference independently for each of the 27 objectives. The experience showed that the comparison of the two weighting results revealed mutual interests for groups with different and conflicting core interest profiles⁷.
- The weighting results were presented in two different ways, either by the ranking of the weights per interest group or by the preference ranking for all groups per objective. A further result is the overall ranking of the 27 project objectives for all participating groups, based on the arithmetic mean of all group results. The highest ranked objectives were considered as core objectives. In general the nine best-ranked objectives were considered as core project objectives.
- The target system and the results of the weighting are also used to define indicators and utility functions for a utility analysis. The aim of the indicator definition is not only to evaluate the effect of the drafted measures, but also to involve the stakeholders in the planning process. Defining a utility function requires also agreeing on the maximum to be achieved and the minimum to be tolerated by implementing a certain measure. Thus the utility analysis made it possible to discuss with the stakeholders the range of project performance and to assess both the effect and the efficacy of the ILC in relation to the nine core project objectives. For the decision-making process the analysis was applied for two scenarios: The realization of the R3 in combination with or without an ILC. The results made it clear that the ILC will lead to a much better achievement for all core objectives.
- The results of the utility analysis have also been partly used to establish a cost-sharing key, which provides a negotiation basis for the communal, cantonal and federal services to agree on their shares.

Finally the complementary evaluation of the rural territory confirmed a rather high demand for further potential ILC perimeters, independently from the impacts of the River Rhone Project. As a preliminary result, overall 10 potential ILCs with high priority, two ILCs with lower priority and three high priority ILCs with a focus on peri-urban and industrial zones

⁶ Example: Distribution of 100 points among the three main goals, followed by a distribution of 100 points among the three intermediate goals belonging to each of the three main goals and finally distribution of 100 points among the three detailed project goals belonging to each of the nine intermediate goals.

⁷ Example: Across the absolute weighting farmers often marked their interest in ecological objectives, whereas the representatives of NGOs in the field of nature protection expressed an interest in agricultural objectives.

have been identified. In addition the evaluation revealed also two perimeters where the territorial reorganisation would be implemented more efficiently across an integrated community project, where the focus is more on zoning and spatial planning. Finally two perimeters would require a regional development project on a larger territorial scale.

CONCLUSIONS

- The RDCs reflect the high dynamics of ongoing and intended land-use changes in the densely occupied river plain. However, the first experiences have shown that the extent of land-use demands for the enlargements need to be qualified in perspective with the considerable demands for industrial and communal development, which are often much higher and less coordinated.
- Therefore R3 does not remain in the role of simply another land-demanding large-scale project. With its integrated and participatory land-use management approach it offers a coordination function. However, it cannot take over the role of a territorial project as such. The R3 still has to be seen in the first place as a river training project, responsible for re-establishing flood safety, managing residual risks and improving the ecological and morphological functionality of the River Rhone.
- Relating to the agricultural and rural development, the decisive production factor is not the farming surface area as such, but much more the availability of adequate and up to-date farming equipment, production facilities and rural infrastructure. Consequently the latter calls for reorganising land-use and property structures as well as leaseholds.
- In this context the R3 project offers a unique opportunity in particular to the communities, to rearrange and optimise their territory, might it be urban, peri-urban or rural. This included the launching and financial support of the Regional Development Concept as well as the co-financing of ILCs as the tool for implementing the compensation principle "Surfaces for river enlargements against improvement of rural infrastructure". Implementing an ILC means also avoiding expropriations and activating the concrete perspective and opportunity for substantial investments in rural and peri-urban infrastructure.
- The results of the various utility analyses in the context of the three ILCs demonstrated clearly their multifunctional effect and the added value generated for the different private and public groups of interest and actors. Their implementation does not only make possible the management and coordination of multiple interests on the economic, social and environmental levels, but also realises spatial planning objectives on a concrete land-use and land-ownership level.
- The participatory process also revealed a number of critical points, such as its high complexity. Practical experience has shown that weighting across a target system with three levels and a total of 27 project objectives is still feasible. However, it requires the full support of the participants during the weighting process.
- A further difficulty is the representativeness, motivation and the regularity of participation. It has to be pointed out that ILCs are not applied automatically, although a series of further potential ILC projects with high improvement potential have been identified. The launching of an ILC requires active support especially from the communities. In the course of the three ongoing ILCs most of the communities supported the project. However a minority rejected the idea. In order not to block the territorial integration of the R3 and to avoid unnecessary exploitations, the Canton of Valais has the legal right to decree an ILC.

However, the cantonal authorities will only do so if the majority of the communities express their active and also financial support for an ILC.

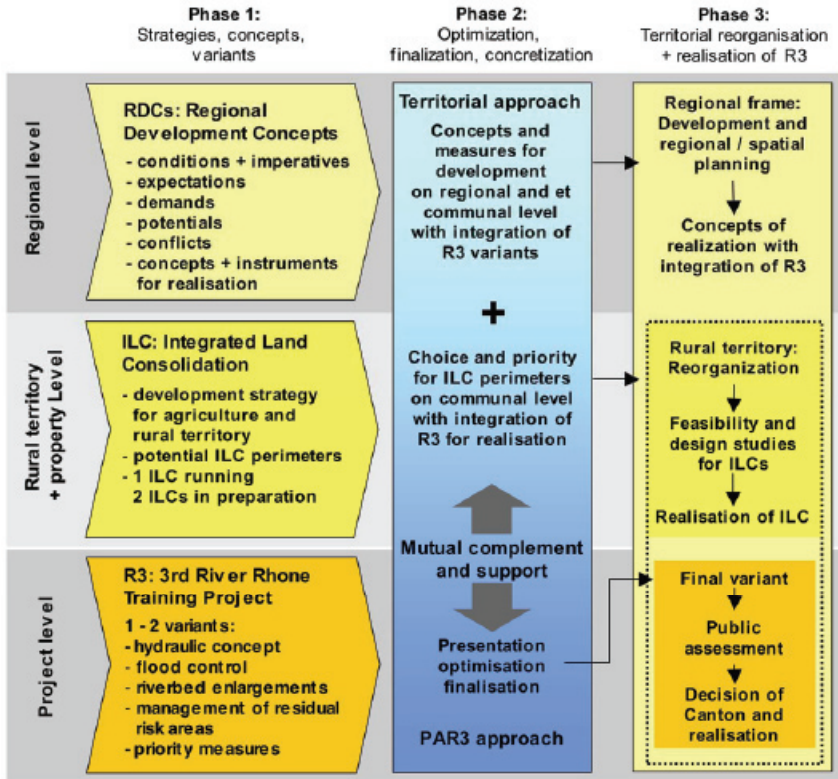


Fig. 5: The interrelations between R3, ILCs and RDCs .

In summary it can be concluded that the River Rhone Project has successfully initiated and facilitated an integrated and participatory land management approach, which has generated in a first phase a number of concrete results on three levels (figure 5, phase 1): On a regional level the six RDCs, on a rural territory and property level the three ILCs and the identification of 20 further territorial projects such as ILCs or projects for regional and communal development, and on a project level one or two R3 variants, matching the technical, hydraulic, environmental and socio-economic requirements. A successful integration of the R3 variants with a parallel investment into the development of the territory can only be achieved if the regions and communities complement the optimisation and finalisation of the R3 variants with a territorial approach (figure 5, phase 2).

For the following realisation (phase 3), the regions and communities have to prepare the overall regional development frame, whereas the communities will have to actively support the launching of ILCs in close collaboration with local stakeholders and actors in order to physically integrate the R3 into the river plain. This requires a close and ongoing

communication between the R3, the regions, communities, stakeholders and cantonal services during the optimization and finalization of the R3 variants (phase 2), which is now starting.

The R3 can have a catalytic effect, by providing, proposing and supporting the corresponding territorial procedures and implementing tools such as the RDCs and ILCs. However, the aim is, that the regions, communities and stakeholders can develop a high identification and a feeling of ownership for "their" River Rhone Project, which re-establishes the urgently needed flood protection.

REFERENCES

- Arborino, Tony (2008): "3rd River Rhone Training Project - Objectives, solutions and Spatial Development", Symposium INTERPRAEVENT 2008, Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt,
- Bischoff, Ariane; Selle, Klaus; Sinning, Heidi (2001): "Informieren, Beteiligen, Kooperieren. Kommunikation in Planungsprozessen". Eine Übersicht zu Formen, Verfahren, Methoden und Techniken. 3. Aufl., Dortmund 2001.
- Canton of Valais, Department for Traffic, Construction and Environment (2000), in German: Kanton Wallis, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt – Dritte Rhonekorrektur, "Synthesebericht: Dritte Rhonekorrektur. Sicherheit für die Zukunft".
- Canton of Valais, Department for Traffic, Construction and Environment (2005), in German: Kanton Wallis, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt – Dritte Rhonekorrektur, "Sachplan 3. Rhonekorrektur: Version für die Vernehmlassung (Text und Karten).
- Canton of Valais, Department for Economy and Spatial Development (2005), in German and French, Departement für Volkswirtschaft und Raumentwicklung, Dienststelle für Landwirtschaft in Koordination mit Departement für Verkehr, Bau und Umwelt – Rhoneprojekt sowie Walliser Landwirtschaftskammer, "Nachhaltige Walliser Landwirtschaft : Entwicklungsperspektiven der Landwirtschaft in der Rhoneebene von Oberwald bis St-Gingolph und mögliche Synergien mit der dritten Rhonekorrektur", Synthesebericht.
- Canton of Valais, Department for Traffic, Construction and Environment (2005-2006), in German: Kanton Wallis, Departement für Verkehr, Bau und Umwelt – Dritte Rhonekorrektur, Integriermassnahmen Brigierbad-Lalden-Visp and Visp-Baltschieder-Raron: Vorstudien und Vorprojekte inklusive Nutzwertanalyse im Rahmen der 3. Rhonekorrektur, Prioritäre Massnahmen Visp.
- Fritsch, Martin (2004): Die "Anwendung von Nutzwertanalysen zur Planung, Optimierung und Vorbereitung integraler Meliorationen". In: Geomatik Schweiz, 2004, Vol. 10.
- Hersberger, D. (2008): 3rd River Rhone Training: "Priority Measures - Example of Visp". Symposium INTERPRAEVENT 2008, Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt,
- Saaty, T.L. (1990): "The analytical hierarchy process" (2nd ed.), Pittsburgh: RWS, cited in Scholz R.W., Tietje, O. (2002): "Embedded case study methods: Integrating quantitative and qualitative knowledge", Sage Publication.
- Van der Werff, P. (2000), zit. in van der Kerkhof, Marleen: "A Survey on the Methodology of Participatory Integrated Assessment". Interim Report IR-01-014. Laxenburg 2001.

VULNERABILITÄT GEGENÜBER WILDBACHPROZESSEN

VORGANGSWEISE UND DISKUSSION ANHAND EINER STUDIE IN ÖSTERREICH

VULNERABILITY TO TORRENT EVENTS

METHOD AND DISCUSSION EMERGING FROM AN AUSTRAIN STUDY

Sven Fuchs¹ und Karma Heiss¹

ZUSAMMENFASSUNG

Im Naturgefahrenbereich wird Risiko als Funktion (1) der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses und (2) des Schadenausmaßes definiert, wobei sich das Schadenausmaß aus dem Schadenpotential und der Verletzlichkeit in Abhängigkeit der auftretenden Prozessintensität zusammensetzt. Für die Bewertung gefährdeter Objekte bestehen erst in jüngerer Zeit Ansätze zur Bestimmung des Schadenpotentials. Dadurch existieren bislang kaum Methoden, die Verletzlichkeit gefährdeter Objekte quantitativ zu bestimmen. Vorliegende Studie basiert auf der Auswertung von Daten eines österreichischen Testgebietes, es wird die Verletzlichkeit gefährdeter Objekte als Funktion auftretender Prozessintensitäten analysiert und bewertet. Die Beurteilung des Prozessverhaltens im Auslaufbereich basiert auf der detaillierten Ereignisdokumentation sowie auf ergänzender Modellierung. Das exponierte Schadenpotential und die Schäden werden erfasst und bewertet. Durch die Kombination von Prozessintensität, Schadenpotential und Schadenausmaß werden individuelle Verletzlichkeitswerte abgeleitet, in weiterer Folge wird eine Vulnerabilitätsfunktion in Abhängigkeit der Prozessintensität entwickelt.

Keywords: Risikoanalyse, Wildbachprozesse, Verletzlichkeit, Österreichische Alpen

ABSTRACT

In natural hazards research, risk is defined as a function of (1) the probability of occurrence of a hazardous process, and (2) the assessment of the related extent of damage, defined by the damage potential and the vulnerability according to the intensity of the hazard process. Until now, only little work has been carried out to determine vulnerability values for objects exposed to torrent processes, in particular to debris flows. The vulnerability values proposed in the literature show a wide range, in particular with respect to medium and high process intensities. In this study, data from a test site in Austria were used to empirically analyse and assess the vulnerability of buildings to torrent processes, and to establish a preliminary vulnerability function. Since the analysis was based on process intensities and is thus independent from recurrence intervals, not only the risk resulting from design events can be calculated but

¹ Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren, Peter Jordan Strasse 82, A-1190 Wien, sven.fuchs@boku.ac.at

also every other event with a different magnitude and frequency. However, a wider application of the developed method to additional test sites would allow for further improvement of the results and would support an enhanced standardisation of the vulnerability function.

Keywords: Risk analysis, torrent processes, vulnerability, Austrian Alps

EINLEITUNG

Der Begriff Verletzlichkeit wird in Abhängigkeit der jeweiligen Fragestellung und wissenschaftlichen Fachrichtung unterschiedlich definiert, ist jedoch in im Naturgefahrenbereich an die Konsequenzen aus Schadensereignissen gekoppelt. Dementsprechend finden sich in der Literatur verschiedene Bedeutungszusammenhänge, unter anderem beispielsweise die statische Verletzlichkeit von Ingenieurkonstruktionen oder Bauwerken, die Verletzlichkeit von Kommunikationseinrichtungen, mikro- und makro-ökonomische Verletzlichkeit oder soziale Verletzlichkeit (Wisner 2004). In der naturwissenschaftlich-technischen Begriffsbestimmung im Zusammenhang mit Naturgefahren wird Verletzlichkeit von Menschen und Objekten in Abhängigkeit der einwirkenden Prozessintensität sowie der Widerstandsfähigkeit definiert. Mathematisch als Quotient berechnet, wird das Ergebnis entweder auf einer metrischen Skala (beispielsweise in Währungseinheiten) oder auf einer Ordinalskala, welche auch soziale Werte inkludiert, erfasst (Varnes 1984; Fell 1994), und in der Regel mittels eines dimensionslosen Wertes zwischen 0 (kein Schaden) und 1 (totale Zerstörung) beschrieben.

Die Bewertung der Verletzlichkeit bzw. der Widerstandsfähigkeit von Gebäuden erfordert je nach Detaillierungsgrad der Analyse eine Vielzahl von Parametern, wie beispielsweise auf der Schadenpotentialeseite Angaben zu Bautyp und -material, zum Erhaltungszustand und zu eventuell vorhandenen Objektschutzmaßnahmen (Fell 1994; Fell und Hartford 1997; Holub und Hübl 2008). Auf der Einwirkungsseite ist die Prozessintensität ausschlaggebend, die sich wiederum aus einer Vielzahl von Detailparametern, wie beispielsweise Fließgeschwindigkeit und Fließtiefe des Prozesses, Staudruck im Ablagerungsgebiet und Materialzusammensetzung ergibt.

Es existieren bislang nur wenige Ansätze zur Bestimmung der Verletzlichkeit von Objekten gegenüber der Einwirkung von Naturgefahren, die sich aufgrund einer standardisierten Vorgehensweise für eine breite Anwendung eignen würden (Glade 2003). In den letzten Jahre wurden einige Arbeiten veröffentlicht, die unter anderem Fragen der Verletzlichkeit von Objekten gegenüber Wildbachprozessen zum Inhalt haben (Fuchs et al. 2007). Ein Überblick neuerer Vorschläge zur Berechnung der Verletzlichkeit für Gebäude gegenüber Wildbachprozessen findet sich in Tabelle 1. Die Studien variieren stark im Detaillierungsgrad, darüber hinaus sind die jeweils empfohlenen qualitativen und (semi-)quantitativen Werte zur

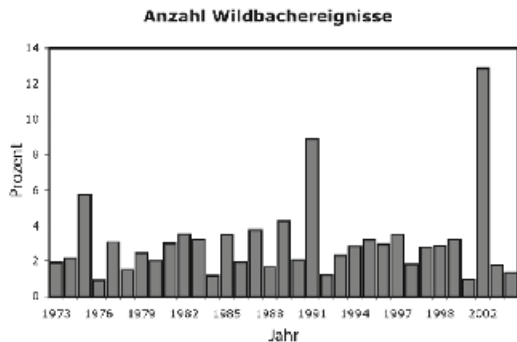


Abb. 1: Verteilung der Anzahl Wildbach-Schadensereignisse in Österreich zwischen 1973 und 2004.

Fig. 1: Damaging torrent processes in Austria between 1973 and 2004.

Bestimmung der Verletzlichkeit (1) kaum auf andere Einzugsgebiete übertragbar und (2) oftmals nicht konsistent in ihrem Bezug auf die Prozessintensität. Ein Vergleich der Studien untereinander ist aufgrund der unterschiedlichen Widerstandsfähigkeit von Objekten durch die Verwendung verschiedener Baumaterialien und Bauausführungen schwierig.

Viel versprechende Ansätze zur Quantifizierung der Verletzlichkeit gegenüber Lawinen und Sturzprozessen wurden kürzlich von Wilhelm (1997), BUWAL (1999) und Barbolini et al. (2004) publiziert. Für andere alpine Naturgefahren, vor allem Wildbachprozesse, fehlen derartige Vorschläge jedoch bislang, obwohl die dadurch verursachten Schäden im Alpenraum in den letzten Jahren beachtlich waren (vgl. Fraefel et al. 2004; Romang, 2004; Oberndorfer et al. 2007). Eine allgemeine Zunahme der Ereignisse, wie sie in der aktuellen Diskussion um Global Change oft postuliert wird, kann zwischen 1973 und 2004 allerdings nicht direkt abgeleitet werden (vgl. Abbildung 1).

Das Ziel vorliegender Arbeit ist es, zur Diskussion um die Quantifizierung der Verletzlichkeit durch Wildbachprozesse einen Beitrag zu leisten.

Tab. 1: Zusammenstellung qualitativer und (semi-)quantitativer Vorschläge zur Bewertung der Verletzlichkeit von Gebäuden gegenüber Wildbachprozessen (Fuchs et al. 2007, verändert).

Tab. 1: Compilation of suggestions related to the assessment of vulnerability of buildings with respect to torrent processes (modified from Fuchs et al. 2007).

		Vorschläge							
		Qualitativ				Semi-quantitativ			
		ganz	welt	reg	lok	ganz	reg	lok	reg
		Verletzlichkeit	Verletzlichkeit	Verletzlichkeit	Verletzlichkeit	Verletzlichkeit	Verletzlichkeit	Verletzlichkeit	Verletzlichkeit
Verfahren	Barbolini et al. (2004)	Semi-quantitativ							
	BUWAL (1999)	ganz	reg	lok	ganz	reg	lok	reg	lok
	Fuchs et al. (2007)	ganz	reg	lok	ganz	reg	lok	ganz	reg
	Wilhelm (1997)	ganz	reg	lok	ganz	reg	lok	ganz	reg

METHODIK

Der Hintergrund der in dieser Studie angewandte Methodik liegt im holistischen Risikokonzept, das die Grundlage des integralen Risikomanagements darstellt (vgl. beispielsweise Kienholz et al. 2004). In Bezug auf Naturgefahren wird Risiko ($R_{i,j}$) als Funktion der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses definierter Magnitude (p_{Si}) und dem korrespondierenden Schadensausmaß beschreiben (vgl. Gleichung 1). Das Schadensausmaß errechnet sich dabei aus dem Wert (A_{Oj}) und der Verletzlichkeit ($v_{Oj, Si}$) eines betrachteten Objektes, sowie der Präsenzwahrscheinlichkeit im Falle von beweglichen Objekten ($p_{Oj, Si}$).

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, A_{Oj}, v_{Oj, Si}, p_{Oj, Si}) \quad (1)$$

In Hinblick auf die auch im Alpenraum zu beobachtenden Prozesse des globalen Wandels, insbesondere hinsichtlich einer zukünftig möglichen Akzentuierung von Niederschlagsereignissen (IPCC 2007), wurde im Rahmen vorliegender Studie die Analyse der Verletzlichkeit von der probabilistischen Betrachtung des Risikos abgekoppelt. Die Beziehung zwischen Prozessintensität und Schadensausmaß wurde somit unabhängig von der Eintretenswahrscheinlichkeit hergestellt.

Untersuchungsgebiet

Im Rahmen vorliegender Arbeit wurde das Einzugsgebiet des Wartschenbaches in der Marktgemeinde Nußdorf-Debant (Österreich) als Testgebiet ausgewählt (vgl. Abbildung 2). Das Einzugsgebiet umfasst 2,6 km², erstreckt sich zwischen 670 m und 2.113 m ü.d.M., und entwässert in die Drau. Die Kombination aus großen Mengen mobilisierbarer Lockergesteine, vor allem Gneise und Schiefer, mit einem verhältnismäßig steilen Höhengradienten von 30-40 % hat in der Vergangenheit bei Niederschlagsereignissen hoher Intensität zu Murgängen und murartigen Abflüssen geführt (1972, 1981, 1995, 1997 (2x), 1998, 1999 und 2000). Diese haben erhebliche Schäden auf dem Schwemmkegel in der Wartschensiedlung verursacht. Für die Studie ist das gut dokumentierte Ereignis vom 16.08.1997 ausgewählt worden, um die Korrelation zwischen Prozessintensität und den durch den Prozess hervorgerufenen Schäden zu untersuchen.

Analyse der Prozesscharakteristik

Der murartige Abfluss des 16.08.1997 ist durch ein Starkregenereignis mit einer Niederschlagshöhe von 40 mm und einer Dauer von 20 Minuten ausgelöst worden. Aufgrund der Disposition des Einzugsgebietes führte dieser Niederschlag zu einer Mobilisierung von ca. 50.000 m³ Lockermaterial im oberen Einzugsgebiet. Rund die Hälfte des Materials wurde in den Retentionsbauwerken im Mittellauf zurückgehalten, ca. 20.000 m³ Geschiebe wurden in den Unterlauf transportiert und gelangten im Bereich der Siedlung auf dem Kegel zur Ablage-



Abb. 2: Untersuchungsgebiet Wartschenbach mit roter und gelber Gefahrenzone Wildbach.
Fig. 2: Location of the test site Wartschenbach, indicated is the red and yellow hazard zone.



Abb. 3: Schäden in der Wartschensiedlung aufgrund des Ereignisses vom 16.08.1996.
Fig. 3: Damage caused by the event of August 16, 1996 on the fan of Wartschenbach test site.

rung (Hübl et al. 2002, vgl. Abbildung 3). Das Ereignis beschädigte 15 Gebäude und einen größeren Gewerbebetrieb schwer, an weiteren Gebäuden waren leichte Schäden zu verzeichnen.

Aufgrund der nach dem Ereignis erfolgten Prozessdokumentation (Hübl et al. 2002) wurden, unter Zuhilfenahme weiterer Datengrundlagen der WLV sowie aufgrund einer Rückrechnung des Ereignisses, Ablagerungshöhen bzw. Überflutungstiefen für den gesamten Kegel ermittelt. Diese dienten in weiterer Folge als Proxy für die Prozessintensität im Ablagerungsgebiet.

Analyse des Schadenpotentials und der Schäden

Das Schadenpotential, definiert als Gebäude im Bereich der Wartschensiedlung, wurde in Bezug auf die räumliche Lage und Ausdehnung aufgrund von Angaben im digitalen Landnutzungskataster mittels GIS verortet und analysiert. Der Wert der Gebäude wurde über das Volumen der Gebäude bestimmt (Kanewitter 2002; Keiler et al. 2006a), wobei je nach Gebäudekategorie und -höhe verschiedene Richtpreise zur Anwendung kamen. Informationen zur Gebäudenutzung wurden dabei während einer Geländebegehung erhoben. Abschließend wurde ein durchschnittlicher Neuwert für jedes Gebäude ermittelt.

Die Schäden durch das Ereignis vom 16.08.1996 wurden, gestützt durch Informationen aus der Gemeinde und der örtlichen WLV, erhoben und zur Verwendung in den folgenden Analyseschritten inflationsbereinigt.

Analyse der Verletzlichkeit

Die Verletzlichkeit eines Gebäudes beruht auf einer Kombination ökonomischer und naturwissenschaftlicher Methoden, und ist durch den Quotienten aus jeweiliger Schadensumme am Objekt und dem nach Kranewitter (2002) und Keiler et al. (2006a) errechneten Wiederherstellungswert definiert. Dieser Quotient wurde im GIS für jedes beschädigte Objekt individuell berechnet. Im Weiteren sind die ermittelten Werte den dokumentierten Prozessintensitäten des Ereignisses vom 16.08.1996 zugeordnet, klassifiziert und als Funktion dargestellt worden. Diese Verletzlichkeitsfunktion beschreibt den empirisch ermittelten Zusammenhang zwischen Prozessintensität und aufgetretenen Verletzlichkeiten der betroffenen Gebäude.

ERGEBNISSE

Auf dem Kegel des Wartschenbaches sind 37 Gebäude lokalisiert, von denen 16 durch das untersuchte Ereignis erheblich beschädigt wurden. Der Neuwert dieser Gebäude summierte sich auf € 7,2 Mio. mit einem Mittel von rund € 311.000 pro Gebäude und einer Spannweite zwischen € 190.000 und € 518.000.

Der Gebäudeschaden belief sich auf rund € 1,2 Mio., mit einem Mittel von knapp € 70.000 pro beschädigtem Gebäude mit einer Streuung zwischen € 1.600 und € 140.000. Dieser Wert liegt deutlich über dem in BMLFUW (2005:21) beschriebenen sog. Einheitsgebäudeschaden in Höhe von € 28.800, gültig für Untersuchungsgebiete mit > 20 Gebäuden und einer ausgewogenen Mischung unterschiedlicher Gebäudekategorien.

Die resultierende Verletzlichkeitsfunktion ist für die Gebäudekategorie Wohnhäuser in Abbildung 4 wiedergegeben. Hierbei wurde die Prozessintensität in Form der Ablagerungshöhe dargestellt, und in Schritten von 0,5 m gruppiert. Ganz allgemein zeigen die Ergebnisse geringe Werte für die Vulnerabilität bei geringen Prozessintensitäten, und eine jeweils höhere Anfälligkeit bei steigenden Intensitäten. Dabei ergibt sich jedoch kein linearer Anstieg der Kurve, was in den spezifischen Charakteristika von Wildbachprozessen begründet liegt. Das

Verhältnis von Intensität zu Verletzlichkeit wurde für Ablagerungshöhen $x < 2,5$ m über ein Polynom 2. Grades ausgedrückt mit

$$y = 0,11x^2 - 0,02x \quad (2)$$

- In der Intensitätsklasse von 0,5 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude nur gering (0,00-0,07). Der Mittelwert beträgt 0,02.
- In der Intensitätsklasse von 1,0 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude ebenfalls nur gering (0,02-0,04). Der Mittelwert beträgt 0,03.
- In der Intensitätsklasse von 1,5 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude beträchtlich (0,00-0,33). Der Mittelwert beträgt 0,21.
- In der Intensitätsklasse von 2,0 m streuen die Verletzlichkeitswerte der Gebäude ebenfalls beträchtlich (0,34-0,53). Der Mittelwert beträgt 0,45.
- In der Intensitätsklasse von 2,5 m steht für die Ermittlung der Verletzlichkeit nur ein Gebäude zur Verfügung. Die ermittelte Verletzlichkeit dieses Gebäudes beträgt 0,52.

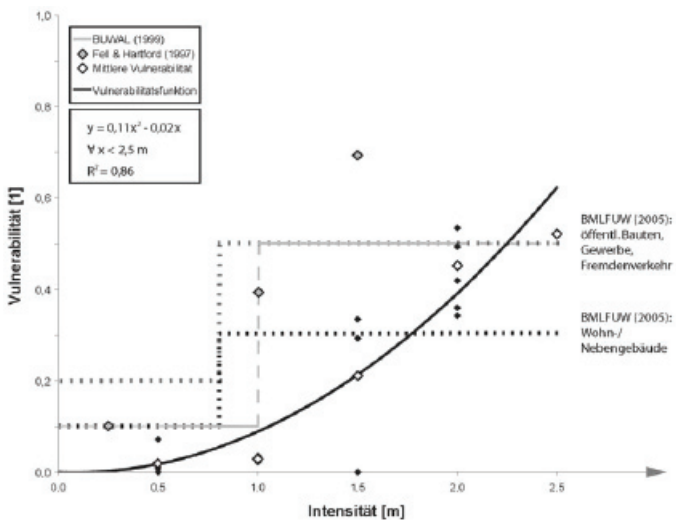


Abb. 4: Zusammenhang zwischen der Prozessintensität des Ereignisses vom 16.08.1996 und der Verletzlichkeit exponierter Wohngebäude (schwarze durchgezogene Kurve); zum Vergleich sind Vulnerabilitätskurven von BUWAL (1999, grau strichliert), Fell & Hartford (1997, graue Rauten) und BMLFUW (2005, schwarz bzw. grau gepunktet) dargestellt (Fuchs et al. 2007, Fuchs 2008, verändert).

Fig. 4: Relationship between process intensity and vulnerability of exposed residential buildings for the event of August 16, 1996 (black solid line); for comparison, vulnerability functions published in BUWAL (1999, dashed grey), Fell & Hartford (1997, grey rhombi) and BMLFUW (2005, black and grey dots) are shown (modified from Fuchs et al. 2007 and Fuchs 2008).

In Abbildung 4 sind zu Vergleichszwecken die in BUWAL (1999) und Fell & Hartford (1997) publizierten Werte in grauen Linien und grauen Rauten dargestellt. Die im Zuge vorliegender Studie für die Intensitätsklassen 0,5 m und 1,0 m errechneten Verletzlichkeitswerte entsprechen näherungsweise den Vorschlägen in BUWAL (1999), obwohl für kleine Prozessintensitäten genauere Angaben zur Schadenhöhe fehlen. Die für die Intensitätsklasse 1,5 m ermittelten Verletzlichkeitswerte liegen unterhalb der von BUWAL (1999) vorgeschlagenen Werte. Aus BUWAL (1999) ergibt sich ein gestufter Verlauf der Verletzlichkeit bei zunehmender Intensität, insbesondere ein sprunghafter Anstieg der Verletzlichkeit um 0,4 Einheiten bei einer Intensität von 1,0 m. Dieser konnte durch die Studie am Wartschenbach nicht bestätigt werden.

Die von Fell & Hartford (1997) vorgeschlagenen Verletzlichkeitswerte resultieren aus einer Studie zu Schäden in Australien, und liegen deutlich über den Ergebnissen der Studie am Wartschenbach. Diese Unterschiede liegen vor allem in unterschiedlichen Baumaterialien und Konstruktionstypen (v.a. Holzkonstruktionen) der Untersuchungsobjekte begründet. Der linear beschriebene Anstieg der Verletzlichkeit mit steigender Prozessintensität konnte weder durch die Studie am Wartschenbach noch durch vergleichbare Studien aus der Schweiz (Romang et al. 2003) bestätigt werden.

Die in BMLFUW (2005) festgelegten Verletzlichkeitswerte sind getrennt nach Gebäudekategorien in Abbildung 4 durch schwarze (Wohn- und Nebengebäude) und graue (öffentliche Gebäude, Gewerbe, Fremdenverkehrsgebäude) punktierte Linien wiedergegeben. Die im Zuge vorliegender Studie für die jeweiligen Intensitätsklassen bis 1,5 m errechneten Verletzlichkeitswerte entsprechen näherungsweise den Vorschlägen für Wohn- und Nebengebäude, liegen jedoch für die anderen Gebäudekategorien deutlich niedriger. Wie auch schon im Vergleich zu den in BUWAL (1999) publizierten Werten wird der sprunghafte Anstieg der in BMLFUW (2005) wiedergegebenen Verletzlichkeitswerte durch die Ergebnisse im Testgebiet Wartschenbach nicht bestätigt.

Die Analyse der Ergebnisse zeigt, dass teilweise beträchtliche Streuungen einzelner Verletzlichkeitswerte innerhalb einer Intensitätsklasse auftreten. Dies ist vor allem auf Details in den Konstruktionstypen der Gebäude zurückzuführen. Maßgebend für die Streuungen der Verletzlichkeitswerte kleinerer bis mittlerer Prozessintensitätsklassen (0,5-1,5 m) ist vor allem, ob Ablagerungen über Gebäudeöffnungen in das Gebäudeinnere vordringen, oder ob ein vorhandener Objektschutz dies verhindert. Diese Ergebnisse stehen in Einklang mit von Romang et al. (2003, 2004) publizierten Studien aus der Schweiz, sowie mit den Erläuterungen in Holub und Hübl (2008).

DISKUSSION

Die in Risikoanalysen bislang verwendeten Werte zur Bestimmung der Verletzlichkeit von Objekten sind vorwiegend auf Experteneinschätzung und Plausibilität gestützt, und beschreiben die Vulnerabilität in Bezug auf die Prozessintensität verbal bzw. semi-quantitativ (vgl. Tabelle 1). Es hat sich in der vorgestellten Studie gezeigt, dass diese Werte die Änderung der Verletzlichkeit in Abhängigkeit der Prozessintensität zwar näherungsweise wiedergeben können, generell scheint aber die real auftretende Verletzlichkeit geringer zu sein.

Die im Rahmen dieser Studie untersuchte Verletzlichkeit von Wohngebäuden in Abhängigkeit aufgetretener Prozessintensitäten konnte mithilfe einer polynomischen Funktion quantitativ beschrieben werden. Die ermittelte Funktion verfügt – unter Berücksichtigung der geringen Anzahl Untersuchungsgebäude – über ein gutes Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,86$; allerdings spiegelt die Funktion mathematisch betrachtet nur Prozessintensitäten mit einer Ablagerungshöhe zwischen rund 20 cm und 2,5-3,0 m wider (Gültigkeitsraum der Gleichung zwischen $x = 0,18$ und 3,11). Die Varianz der Residuen streut mit zunehmender Intensität stärker,

dies hat zur Folge, dass Verletzlichkeiten für höhere Intensitäten bislang durch das Modell nicht abgebildet werden. Aus diesem Grund wäre eine Validierung an weiteren Untersuchungsgebieten mit einer größeren Anzahl Objekten wünschenswert. Der Vergleich mit Untersuchungen an Wildbachschäden in der Schweiz ergab eine gute Übereinstimmung mit den hier ermittelten Werten, wobei auch bei diesen Untersuchungen die geringe Anzahl der Ereignisse einerseits, sowie die breite Streuung andererseits, eine Limitierung für die Ermittlung einer allgemeingültigen Vulnerabilitätsfunktion darstellte (Kimmerle 2002).

Nachdem Verletzlichkeit im Zusammenhang mit Schäden an Objekten definitionsgemäß zwischen den Werten 0 und 1 liegt, bildet eine polynomische Funktion im oberen Wertebereich liegende Intensitäten nicht zufrieden stellend ab, da für eine allgemeingültige Vulnerabilitätsfunktion die Voraussetzung aus Gleichung (3) erfüllt sein muss.

$$\lim_{x \rightarrow \infty} f(x) = 1 \quad (3)$$

Andererseits resultieren Prozessintensitäten mit Ablagerungshöhen > 2,5-3 m in der Regel in einem Totschaden der Objekte, da die notwendigen Aufwendungen für die Wiederherstellung den Neuwert deutlich übersteigen (Oberndorfer et al. 2007). Derartige Überlegungen finden sich bereits bei Wilhelm (1997) in Form eines theoretischen Modells mit der Anwendung für die Bestimmung des Lawinenrisikos. Intensitäten dieser Höhe übersteigen jedoch in den Einzugsgebieten vielfach eine Jährlichkeit von 150 Jahren und stellen somit nach derzeit gültigen Richtlinien grundsätzlich kein Projektziel dar (BMLFUW 2006).

Die Erfassung des Schadenausmaßes ist mit vielen Unsicherheiten behaftet, da die Analyse auf Angaben direkt nach dem Schadenereignis beruht. Darüber hinaus dürfte es auch politisch wünschenswert sein, Schäden eher zu über- als zu unterschätzen, was konsequenterweise zu einer Überschätzung der Vulnerabilität führt. Des Weiteren reagieren viele Objektwerte sehr sensitiv auf kleinste Veränderungen (1) bei der Methodenwahl der Bewertung von Gebäuden (z.B. Versicherungswert oder Marktpreis) sowie (2) bei erfolgten Umbauten oder Funktionsänderungen von Gebäuden. Demzufolge muss derzeit aufgrund der hohen Unsicherheit von relativ hohen Schwankungsbreiten der Werte ausgegangen werden.

Risikoanalysen, die für Naturgefahren durchgeführt werden, sind im Allgemeinen statische Ansätze (vgl. beispielsweise Jónasson et al. 1999; Keylock et al. 1999; Gächter & Bart 2002; Bell & Glade 2004), jedoch unterliegen naturgefahreninduzierte Risiken einer zeitlichen Variabilität, da risikobeeinflussende Faktoren (Prozess, Objektwerte, Verletzlichkeit) in lang- sowie kurzfristigem Rahmen variabel sind (Heigl 2000; Zischg et al. 2005; Fuchs & Keiler 2006; Keiler et al. 2006b). Prozesse des Global Change (im Sinne des Human Dimension Programms definiert als Veränderung des Naturraums und des Kulturrums) manifestieren sich speziell im Alpenraum des 20. Jahrhunderts über intensive Veränderungen. Hierbei ist zukünftig von einer gewissen Zunahme der Prozessintensität bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit der Prozesse auszugehen, an denen fließendes Wasser beteiligt ist (Hochwasser, Mur- und Rutschprozesse, IPCC 2007). Ebenso bedeutsam sind aber zeitgleich ablaufende Prozesse im Kulturräum, speziell veränderte Präsenzwahrscheinlichkeiten von Personen und mobilen Objekten sowie die damit verbundenen exponierten Werte durch Veränderungen der Wirtschafts- und Sozialstrukturen (vgl. auch Bätzing 1993). Langfristige Veränderungen im Prozess- sowie im soziökonomischen Bereich werden durch kurzfristige Fluktuationen überlagert, die zu Risikospitzen führen können (Fuchs & Keiler 2008). Diese andauernden Veränderungen sind bei einem holistischen Risikokonzept zu berücksichtigen, da sämtliche Managementstrategien eindeutig zukünftig und langfristig ausgerichtet sein müssen, im Gegensatz zu

dem bisherigen Arbeiten mit statischen Informationen, die auf einem Zeitpunkt in der Vergangenheit basieren.

Risikoanalysen in der Naturgefahrenforschung weisen einen hohen Grad von Komplexität auf. Aufgrund dessen ist es notwendig, die Probleme bei der Umsetzung sowie die Unsicherheiten aufzuzeigen, die Weiterentwicklung von Methoden und Ansätzen in diesem Bereich zu fördern und das Wissen über die untersuchten Systeme zu erhöhen.

Ein fundamentales Kennzeichen für naturgefahreninduzierte Risiken ist die Wechselwirkung zwischen dem physikalischen System (oder Geo-System, der Prozessseite) und dem sozialen System (inklusive dem Schadenpotential und der Verletzlichkeit). Beide Systeme sind dynamisch zu betrachten, die Dynamik einzelner Faktoren kann neue Interaktionen hervorrufen und somit die Wechselwirkungen zwischen den beiden Systemen beeinflussen. Infolgedessen sind zukünftig steigende Schäden, verursacht durch Naturereignisse, nicht ausschließlich auf Veränderungen der natürlichen Prozesse oder auf die Entwicklung der betroffenen Werte und deren Verletzlichkeit zurückzuführen, sondern sie sind auch das Ergebnis einer erhöhten Komplexität (Hufschmidt et al. 2005, Keiler et al. 2006b). Ziel einer Risikoanalyse ist deshalb nicht nur, einen quantitativen Wert für das Risiko zu berechnen, sondern die Schwachstellen sowie Wechselwirkungen im untersuchten dynamischen System zu erkennen und mit diesem Wissen einen optimierten Ablauf im Risikokreislauf zu erreichen.

Risikoanalysen sind in der Naturgefahrenforschung in den letzten Jahrzehnten zunehmend zu einem wichtigen Grundlagenwerkzeug für Schutzkonzepte geworden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die derzeitige rechtliche Situation in Österreich im Rahmen der Gefahrenzonenplanung auf die Prozessbeurteilung fokussiert ist (vgl. Republik Österreich 1975, BMLFUW 2001), und somit Analysen des Schadenpotentials und der Verletzlichkeit nicht zwingend erforderlich sind (Hattenberger 2006; Kanonier 2006). Deren Einbezug ist erst im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbeurteilung von Maßnahmen erforderlich (BMLFUW 2005, 2006), wobei auch hier eindeutig festgestellt wird, dass die grundlegende „Planung, Priorisierung und Umsetzung von Schutzmaßnahmen (...) auf Methoden zur Verringerung der naturräumlichen Gefährdungssituation“ beruht (BMLFUW 2006:7) – folglich zunächst ohne Einbezug einer Analyse exponierter Werte.

DANKSAGUNG

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden Studien wurden durch die Europäische Kommission im Rahmen des IRASMOS Projektes gefördert (*Integral Risk Management of Extremely Rapid Mass Movements*, Contract 018412). Die Autoren möchten in diesem Zusammenhang den Kolleginnen und Kollegen des IRASMOS-Konsortiums für anregende Diskussionen danken.

LITERATUR

- Bätzing, W. (1993): Der sozio-ökonomische Strukturwandel des Alpenraums im 20. Jahrhundert, *Geographica Bernensia*, P26, Geographisches Institut der Universität, Bern.
- Barbolini, M., Cappabianca, F., und Sailer, R. (2004): Empirical estimate of vulnerability relations for use in snow avalanche risk assessment, Brebbia, C. (ed.): *Risk Analysis IV*, WIT Press, Southampton, 533-542.
- Bell, R. und Glade, T. (2004): Quantitative risk analysis for landslides – Examples from Bildudalur, NW Iceland, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 117-131, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/117/2004/>.
- BMLFUW (2001): Richtlinien für die Gefahrenzonenplanung, Erlass des BMLFUW ZL. 52.240/07-VC6a/2001, BMLFUW, Wien.

- BMLFUW (2005): Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbautenförderungsgesetz, BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2006): Technische Richtlinie für die Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs. 1 Z. 1 und Abs. 2 des WBFG 1985 i.d.F. BGBl. Nr. 82/2003 vom 29.8.2003, Erlass des BMLFUW Zl. LE 3.3.5/0004-IV 5/2006, BMLFUW, Wien.
- BUWAL (1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- Cardinali, M., Reichenbach, P., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Antonini, G., Galli, M., Cacciano, M., Castellani, M. und Salvati, P. (2002): A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risk in Umbria, Central Italy, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 2, 57-72, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/2/57/2002/>.
- Fell, R. (1994): Landslide risk assessment and acceptable risk, *Canadian Geotechnical Journal*, 31, 261-272.
- Fell, R. und Hartford, D. (1997): Landslide risk management, Cruden, D. und Fell, R. (eds.): *Landslide risk assessment*, Balkema, Rotterdam, 51-109.
- Finlay, P. (1996): The risk assessment of slopes, PhD Thesis, School of Civil Engineering, University of New South Wales, Sydney, Australia.
- Fraefel, M., Schmid, F., Frick, E. und Hegg, C. (2004): 31 Jahre Unwettererfassung in der Schweiz, Internationales Symposium Interpraevent – Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 1, I/45-I/56.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2006): Natural hazard risk depending on the variability of damage potential, Popov, V. und Brebbia, C. (eds.): *Risk Analysis V – Simulation and hazard mitigation*, WIT Press, Southampton, 13-22.
- Fuchs, S., Heiss, K., Hübl, J. (2007): Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment, *Natural Hazards and Earth System Science*, 7, 495-506, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/7/495/2007/>.
- Fuchs, S. (2008): Vulnerability to torrent processes, *WIT Transactions on Information and Communication Technologies*, 39, 289-298.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2008): Variability of natural hazard risk in the European Alps – Evidence from damage potential exposed to snow avalanches, Pinkowski, J. (ed.): *Disaster management handbook*, Taylor & Francis, London, 264-275.
- Gächter, M. und Bart, R. (2002): Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit bei der Massnahmenplanung – Beispiel Diesbach, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 153, 268-273.
- Glade, T. (2003): Vulnerability assessment in landslide risk analysis, *Die Erde*, 134, 123-146.
- Hattenberger, D. (2006): Naturgefahren und öffentliches Recht, Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K. (eds.): *Recht im Naturgefahrenmanagement*, Studienverlag, Innsbruck, 67-91.
- Heigl, F. (2000): Für eine dynamische Zonenausweisung, Internationales Symposium Interpraevent – Villach, 26.-30. Juni, Band 2, 253-265.
- Holub, M. und Hübl, J. (2008): Local protection against mountain hazards – State of the art and future needs, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 81-99, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/8/81/2008/>.
- Hübl, J., Ganahl, E. und Schnetzer, I. (2002): Dokumentation Wartschenbach, IAN Report, 52, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Hufschmidt, G., Crozier, M., und Glade, T. (2005): Evolution of natural risk: research framework and perspectives, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 375-387, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/375/2005/>.

- IPCC (2007): *Climate change 2007, Summary for policymakers*, Cambridge University Press, Cambridge, Deutschsprachige Version online unter <http://www.proclim.ch/products/IPCC07/de/IPCC2007-FullDocument.pdf> verfügbar (Abruf 20.09.2007).
- Jónasson, K., Sigurðsson, S. und Arnalds, Þ. (1999): Estimation of avalanche risk, Icelandic Meteorological Office, Reykjavík.
- Kanonier, A. (2006): Raumplanungsrechtliche Regelungen als Teil des Naturgefahrenmanagements, Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K. (eds.): *Recht im Naturgefahrenmanagement*, Studienverlag, Innsbruck, 123-153.
- Keiler, M., Zischg, A. und Fuchs, S. (2006a): Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken, Strobl, J. und Roth, C. (eds.): *GIS und Sicherheitsmanagement*, Wichmann, Heidelberg, 118-128.
- Keiler, M., Sailer, R., Jörg, P., Weber, C., Fuchs, S., Zischg, A. und Sauermoser, S. (2006b): *Avalanche risk assessment – A multi-temporal approach, results from Galtür, Austria*, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 637-651, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/637/2006/>.
- Keylock, C., McClung, D. und Magnússon, M. (1999): Avalanche risk mapping by simulation, *Journal of Glaciology*, 45, 303-314.
- Kienholz, H., Krummenacher, B., Kipfer, A. und Perret, S. (2004): Aspects of integral risk management in practice – Considerations with respect to mountain hazards in Switzerland, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, 56, 43-50.
- Kimmerle, R. (2002): *Schadenempfindlichkeit von Gebäuden gegenüber Wildbachgefahren*, Diplomarbeit, Philosophisch-naturwissenschaftliche Fakultät, Universität Bern.
- Kranewitter, H. (2002): *Liegenschaftsbewertung*, Gesco, Wien.
- Leone, F., Asté, J.-P. und Velásquez, E. (1995): Contribution des constats d'endommagement au développement d'une méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité appliquée aux phénomènes de mouvements de terrain, *Bulletin de l'Association de Géographes*, 1995, 350-371.
- Leone, F., Asté, J.-P. und Leroi, E. (1996): L'évaluation de la vulnérabilité aux mouvements du terrain: Pour une meilleure quantification du risque, *Revue de Géographie Alpine*, 84, 35-46.
- Michael-Leiba, M., Baynes, F., Scott, G. und Granger, K. (2003): Regional landslide risk to the Cairns community, *Natural Hazards*, 30, 233-249.
- Oberndorfer, S., Fuchs, S., Rickenmann, D. und Andrecs, P. (2007): *Vulnerabilitätsanalyse und monetäre Schadensbewertung von Wildbachereignissen in Österreich*, BFW-Bericht, 139, Bundesausbildungs- und Forschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien.
- Republik Österreich (1975): *Forstgesetz 1975*, Bundesgesetzblatt Nr. 440/1975, in der Fassung BGBl. I Nr. 83/2004, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6119/> (2003, Abruf 20.09.2007), und zugehörige Verordnung: *Verordnung über Gefahrenzonenpläne*, BGBl. Nr. 436/1976, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6128/> (1976, Abruf 20.09.2007).
- Romang, H., Kienholz, H., Kimmerle, R. und Böll, A. (2003): Control structures, vulnerability, cost-effectiveness – A contribution to the management of risks from debris torrents, Rickenmann, D. und Chen, C. (eds.): *Debris-flow hazards mitigation: Mechanics, prediction, and assessment*, Millpress, Rotterdam, 1303-1313.
- Romang, H., Krummenacher, B. und Frick, E. (2004): *Unwetterereignisse im November 2002*, Graubünden, Schweiz. Internationales Symposium Interpraevent – Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 1, 1/109-1/120.
- Varnes, D. (1984): *Landslide hazard zonation: A review of principles and practice*, UNESCO, Paris.

- Wilhelm, C. (1997): Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz, Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung, 54, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.
- Wisner, B. (2004): Assessment of capability and vulnerability, Bankoff, G., Frerks, G. und Hilhorst, D. (eds.): Mapping vulnerability, Earthscan, London, 183-193.
- Zischg, A., Fuchs, S., Keiler, M. und Stötter, J. (2005): Temporal variability of damage potential on roads as a conceptual contribution towards a short-term avalanche risk simulation, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 235-242, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/235/2005/>.

PRIORISIERUNG DES HANDLUNGSBEDARFS BEI DER SICHERUNG DES LEBENSRAUMS VOR WASSERGEFAHREN AUF REGIONALER MASSTABEBENE IN DER AUTONOMEN PROVINZ BOZEN SÜD- TIROL

PRIORITISATION IN THE PLANNING OF PERMANENT PROTEC- TION STRUCTURES AGAINST FLOODS AND DEBRIS FLOWS ON THE REGIONAL SCALE IN THE AUTONOMOUS PROVINCE OF BOLZANO – SOUTH TYROL

Hanspeter Staffler¹ Rudolf Pollinger¹ und Andreas Zischg²

ZUSAMMENFASSUNG

Als Basis für die Prioritätensetzung bei der Planung und Instandhaltung von Wasserschutzbauten entwickelte die Autonome Provinz Bozen Südtirol ein Informationssystem, das für das gesamte Landesgebiet Auskunft über die potenziell von Überschwemmungs-, Übersarungs- und Murgangprozessen gefährdeten Siedlungen und Gebäude gibt. Auf der Grundlage von Gefahrenhinweiskarten wurde für die Einzugsgebiete von öffentlichen Fließgewässern die von diesen Prozessen gefährdeten Siedlungsflächen, die Anzahl der gefährdeten Gebäude und Personen zugewiesen. Die Reihung der nicht verbauten Wildbacheinzugsgebiete nach Anzahl der betroffenen Gebäude und Personen zeigt die Priorität in der Planung von neuen Schutzbauten auf. Die Reihung der Wildbacheinzugsgebiete mit bestehenden Schutzbauten nach Anzahl der betroffenen Gebäude und Personen zeigt die Priorität in der Instandhaltung und Erneuerung der Schutzbauten auf. Die Reihung der von Wassergefahren betroffenen Siedlungsflächen je Gemeinde zeigt die Prioritäten bei der Erstellung von Gefahrenzonenplänen auf. Trotz der getroffenen Vereinfachungen bildet die Analyse eine wertvolle Grundlage zur Erstellung einer Prioritätenliste für den Handlungsbedarf zur Sicherung des Lebensraums vor Wassergefahren auf regionaler Ebene.

Keywords: Überschwemmung, Murgang, Prioritätensetzung

ABSTRACT

For the best possible allocation of the limited financial resources, the Department of Hydraulic Engineering of the Autonomous Province of Bolzano - South Tyrol decided to develop a procedure for setting priorities in the long-term planning of mitigation measures and permanent protection structures against floods and debris flows on the regional scale. On the basis of

¹ Autonome Provinz Bozen Südtirol, Abteilung Wasserschutzbauten, Cesare-Battisti-Str. 23, 39100 Bozen, Italien (Tel.:+39-0471-414550; email: wasserschutzbauten@provinz.bz.it)

² Abenis AG, Chur, Switzerland (Tel.:+41-81-2507902; email: a.zischg@abenis.ch)

hazard index maps for flood, overbank sedimentation and debris flow processes, the number of potentially endangered persons and probable monetary damage values were summarized for each mountain torrent catchment. All process areas affecting settlements were listed and sorted by the number of endangered persons and monetary values. The sequence of the mountain torrent catchments without protective structures ordered by the quantity of endangered buildings and persons shows the priorities in the planning of new protection measures. The sequence of the mountain torrent catchments with protective structures ordered by the quantity of endangered buildings and persons shows the priorities in maintenance of existing protection measures. The sequence of the endangered settlement areas ordered by the summarized areas for each community shows the priorities in the creation of hazard zone maps. The prioritization of the endangered areas leads to a useful basis for decision-making at regional level, although the procedure is based on worst case scenarios without given return period.

Keywords: Flood, Debris Flow, Prioritisation

EINFÜHRUNG

Im Zuge der sozioökonomischen Entwicklung der alpinen Räume wurde die Bedeutung der technischen Schutzmaßnahmen wie Wildbach- und Lawinenverbauungen immer wichtiger. Bestehende Siedlungen und Verkehrsverbindungen müssen vor den Einwirkungen gefährlicher Prozesse geschützt werden. Die Planung und Errichtung der heute bestehenden Maßnahmen zum Schutz von Siedlungsgebieten und Infrastruktur vor gefährlichen Prozessen war in den letzten Jahrzehnten häufig eine reaktive Maßnahme auf ein bereits eingetretenes Schadenereignis. Eine Wiederholung desselben Ereignisses sollte mit baulichen Maßnahmen ausgeschlossen werden. In den letzten Jahren setzte sich aber die Erkenntnis durch, dass ein rein aktiver Schutz vor Naturgefahren auf Dauer nicht bezahlbar und ökologisch vertretbar ist. Die Akteure im Umgang mit Naturgefahren sind zunehmend versucht, dem geforderten Prinzip des nachhaltigen und risikobasierten Entscheidens und Handelns gerecht zu werden. Dies bedeutet, dass neben der Sicherung des heutigen Lebensraumes eine zukünftige Ausbreitung der wirtschaftlichen Aktivitäten in gefährdete Räume vermehrt durch raumplanerische Maßnahmen vermieden werden muss. Die knapper werdenden Mittel für Sicherungsmaßnahmen für bestehende Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen erfordern eine bestmögliche Nutzung der vorhandenen Ressourcen und damit strategische Instrumente für die Prioritätensetzung bei der Planung und Instandhaltung von Schutzmaßnahmen. Zur Zeit beginnt die Autonome Provinz Bozen mit der Erstellung von Gefahrenzonenplänen in allen Gemeinden. Eine effiziente Abwicklung dieser Projekte auf Gemeindeebene erfordert ein Vorgehen nach Prioritäten im Schutzdefizit, um den Aufwand für Betreuung und Begleitung der Gemeinden bei der Erstellung dieser Pläne zeitlich zu staffeln und damit die zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal auszunutzen.

Grundlage für die Prioritätensetzung ist ein regionaler Überblick über den Handlungsbedarf in der Maßnahmenplanung. Die Abteilung Wasserschutzbauten der Autonomen Provinz Bozen entwickelte zu diesem Zweck ein Informationssystem für hydrogeologische Risiken, das auf regionaler Maßstabsebene Auskunft über die von Überschwemmungs- und Murgangprozessen gefährdeten Gebiete in Südtirol gibt. Das Informationssystem bildet die Basis für die Prioritätensetzung bei der Initiierung von Projekten zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne und für eine langfristige Planung und für einen bestmöglichen Einsatz der vorhandenen Mittel für Verbauungsmaßnahmen.

METHODE

Mit der Überlagerung von Daten der Gefahrenbeurteilung mit Daten zum Schadenpotenzial auf regionaler Ebene können einerseits die gefährdeten Siedlungsgebiete identifiziert und lokalisiert werden und andererseits der gesamte Handlungsbedarf zur Sicherung des Lebensraumes vor Wassergefahren abgeleitet werden. Auf der Basis von Indikatoren kann dieser Handlungsbedarf in einer Prioritätenreihung aufgezeigt werden. Diese Prioritätenreihung der gefährdeten Siedlungsgebiete nach verschiedenen Indikatoren soll die Basis für eine langfristige Planung und für einen bestmöglichen Einsatz der vorhandenen Mittel für Verbauungsmaßnahmen und für die Erstellung der Gefahrenzonenpläne bilden.

Grundlagen für die Analyse waren die Gefahrenhinweiskarten zu den Prozessen Überschwemmung, Übersarung und Murgang. Diese Karten wurden flächendeckend nach dem Verfahren von Autonome Provinz Bozen Südtirol, Abteilung Wasserschutzbauten (2008) erstellt. Sie zeigen die potenziellen Prozessräume ohne Angaben über Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit auf. Für die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte für Überschwemmungen wurden potenzielle Ausbruchsorte auf Basis einer Analyse der hydraulischen Schwachstellen und potenzieller Dammbrüche identifiziert und lokalisiert. Ausgehend von den Schwachstellen wurden mittels zweidimensionalen Überflutungssimulationen die Überschwemmungsflächen abgegrenzt. Die Gefahrenhinweiskarten für die Prozesse Übersarung und Murgang wurden nach den Verfahren von Zimmermann et al (1997) und Heinimann et al. (1998) von geo7 erstellt.

Im Folgenden wird ein Ansatz zur Erhebung des Schadenpotenzials für den regionalen Maßstab vorgestellt, der mit den in Südtirol bestehenden Datengrundlagen GIS-basiert und flächendeckend angewandt werden kann. Die Erhebung konzentriert sich auf die Kategorien Personenanzahl und Gebäudewerte.

Für die Durchführung von räumlichen Analysen im regionalen Maßstab sind flächendeckend vorhandene Datengrundlagen zu den potenziell gefährdeten Objekten erforderlich. In Südtirol sind dies die Datensätze zur Landnutzung, die Bauleitpläne der Gemeinden, die Datengrundlagen zu den Infrastruktureinrichtungen und der Grundstückskataster. Die Art der Landnutzung wird flächendeckend in einem Vektordatensatz zur Realnutzung im Maßstab 1:10.000 dargestellt. Sie wurde nach dem Klassifikationsprinzip des Projektes CORINE Landcover erstellt. In diesem Datensatz wird zwischen den verschiedenen Infrastrukturtypen, landwirtschaftlichen Nutzungsformen und Landschaftseinheiten unterschieden. Weitere regionale Datensätze zu Infrastrukturanlagen sind für Verkehrswege, Kommunikationsinfrastrukturen, Lifтанlagen und Skipisten im Vektorformat vorhanden. Bis auf die drei großen Städte fehlt in Südtirol ein flächendeckender Datensatz zur räumlichen Adressenverortung. Eine flächendeckend vorhandene Datengrundlage stellt die digitale Katastermappe dar. Sie enthält die Gebäudegrundrisse und die Parzellen mit Baurecht (Bauparzelle). Ein lokaler aber landesweit verfügbarer Datensatz ist der Bauleitplan der Gemeinde. Er enthält den Flächenwidmungsplan, den Infrastrukturplan und die Durchführungsbestimmungen. Im Flächenwidmungsplan wird die aktuelle und geplante Flächennutzung des jeweiligen Gemeindegebietes abgebildet.

Schadenpotenzialbewertung

Die Klassifikation des Schadenpotenzials erfolgte prinzipiell nach zwei verschiedenen Ansätzen. In einem ersten Schritt wurden die Bauleitpläne der Gemeinden in einem Datensatz zu-

sammengefasst und reklassifiziert. Dabei werden die Flächen in drei Kategorien mit unterschiedlicher raumplanerischer Relevanz (Karte der Schadenpotenzial-Kategorien) eingeteilt. In einem zweiten Schritt wurden aus dem Grundstückskataster die Bauparzellen extrahiert und mittels statistischer Grundlagen nach Anzahl Personen und monetärem Wert bewertet.

Die „Karte der Schadenpotenzial-Kategorien“ wird nach den „Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des Spezifischen Risikos (KSR)“ (Autonome Provinz Bozen Südtirol 2006, Gius 2005) aus den Datensätzen der Bauleitpläne und der Wald- und Weidewirtschaftlichen Realnutzungskarte abgeleitet. Nach den oben genannten Richtlinien wird das Gemeindegebiet auf der Basis der Elemente des Bauleitplanes (BLP) und der wald- und weidewirtschaftlichen Realnutzungskarte in die folgenden drei Kategorien eingeteilt:

- Kategorie 3: Flächen mit starker Urbanisierung und solche, die zu urbanisieren sind. Das sind alle Baugebiete sowie die Grünflächen, Erholungseinrichtungen und Aufstiegsanlagen, soweit sie nicht in die Kategorie 2 fallen.
- Kategorie 2: Flächen, die nicht bebaut sind, jedoch Infrastrukturen von öffentlichem Interesse beinhalten. Das sind die Verkehrsflächen außerhalb der Siedlungsgebiete sowie Erholungseinrichtungen, die auch im landwirtschaftlichen Grün errichtet werden können, wie Golf- und Reitplätze, Skipisten, Langlaufloipen und Rodelbahnen.
- Kategorie 1: Flächen und Einrichtungen, die hinsichtlich der Gefahrenzonenplanung nicht von urbanistischem Interesse sind. Das sind die unbebaute natürliche Landschaft sowie im Allgemeinen die Leitungsinfrastrukturen und die Flächen für Infrastrukturen von untergeordneter Bedeutung.

Für die Erstellung der „Karte der Schadenpotenzial-Kategorien“ werden die oben aufgezeigten Datengrundlagen reklassifiziert. Die Erstellung der Karte basiert auf der Überlagerung von sechs verschiedenen GIS-Layern, wobei Punkt-, Linien- und Flächen-Layer zu überlagern sind. Um diese Überlagerung zu vereinfachen, wurde ein Modell zur Reklassifizierung der Datensätze entwickelt, das die Neuberechnung und Aktualisierung der „Karte der Schadenpotenzial-Kategorien“ nach jeder Bauleitplanänderung, bzw. Änderung der Grundlagendaten erlaubt. Im Wesentlichen wurde die Karte in den folgenden Arbeitsschritten erstellt:

- Als Grundlage für die Berechnungsschritte wurde eine Reklassifikations-Tabelle erstellt, die jedem Legenelement des Bauleitplans die zutreffende Schadenpotenzial-Kategorie zuweist.
- Im ersten Bearbeitungsschritt werden den vier GIS-Layers des Bauleitplans Attributdaten hinzugefügt, die aufgrund der Schadenpotenzialangaben in der mittels der verknüpften Reklassifikations-Tabelle berechnet wird.
- Im zweiten Schritt wird aus der Realnutzungskarte das Legenelement „Einzelhäuser, Streusiedlung“ extrahiert und dem resultierenden Datensatz die Attributdaten hinzugefügt, die aufgrund der Schadenpotenzialangaben in der mittels der verknüpften Reklassifikations-Tabelle berechnet wird.
- Im dritten Schritt wird aus den reklassifizierten Datensätzen für jede Lokalität der Maximalwert der Schadenpotenzial-Kategorien ermittelt.

Resultat dieses ersten Schritts ist die Einteilung des Landesgebiets in Flächen mit unterschiedlicher raumplanerischer Relevanz.

Aufgrund fehlender Adressverortungsdaten wurde die von Naturgefahren potenziell betroffene Wohnbevölkerung durch die Gebäude lokalisiert. Der Gebäudebestand wurde aus der digitalen Katastermappe extrahiert (Bauparzellen) und durch Überlagerung mit dem Bauleitplan (Flächenwidmungsplan) der Gemeinde in die Klassen Wohngebäude, Beherbergungsbetriebe

und Wirtschaftsgebäude untergliedert. Die exakte Anzahl der Personen je Gebäude kann aus den bestehenden Daten nicht ermittelt werden, jedem Gebäude wird eine für die Gemeinde gültige aus den Volkszählungsdaten (ISTAT, ASTAT) ermittelte durchschnittliche Personenanzahl zugewiesen (Zischg et al. 2002). Die Gebäudewerte von Wohngebäuden werden nach den gültigen Baupreisen je Grundrissfläche einheitlich bewertet (Zischg et al. 2002). Die Grundrissfläche der Gebäude wurde mit der nach Bauleitplan maximal zulässigen Gebäudehöhe multipliziert. Die so ermittelte Kubatur wurde mit dem in der Autonomen Provinz Bozen Südtirol gültigen von der Kubatur abhängigen Richtpreis für die Berechnung der Baukosten für den öffentlichen Wohnbau (Autonome Provinz Bozen-Südtirol 2004) multipliziert. Für den geförderten Wohnbau gelten Richtpreise von 271 € je Kubikmeter bzw. 1.084 € je Quadratmeter (Autonome Provinz Bozen Südtirol 2003). Ein vereinfachter Ansatz ist die Multiplikation der Wohnfläche mit dem Baukostenwert je Quadratmeter Wohnfläche. Bei Wirtschaftsgebäuden und Beherbergungsbetrieben wird ein Bewertungsansatz von 3.000 € je Quadratmeter angenommen (Rizzolli 2004). Unbebaubare Grundstücke und sonstiges Schadenpotenzial, wie Verkehrsachsen, Nutztiere und bewegliche Güter, wurden nicht bewertet.

Prioritätenreihung

Die Prioritätenreihung erfolgte prinzipiell nach zwei verschiedenen Ansätzen. In einem ersten Schritt wurde die „Karte der Schadenpotenzialkategorien“ mit den Gefahrenhinweiskarten für Murgang und Übersarung verschnitten. Aus dem Verschnitt dieser Datengrundlagen wurden auf Gemeindeebene die von den oben genannten Prozessen betroffenen Flächen summiert. Die Gemeinden wurden nach der Größe der Summe der betroffenen Flächen gereiht. In einem weiteren Schritt wurden für jede Prozessfläche der Gefahrenhinweiskarten die Anzahl der betroffenen Gebäude berechnet. Auf dieser Basis wurden die Anzahl der von Murgängen und Übersarung betroffenen Personen und monetären Werte für jeden Prozessbereich ermittelt. Zusätzlich wurde die Anzahl der betroffenen Personen auf Gemeindeebene aufsummiert.

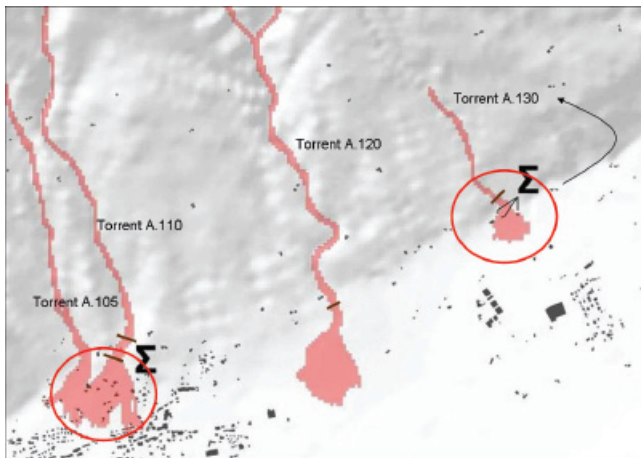


Abb. 1: Summierung der Anzahl betroffenen Gebäude und Personen je Wildbacheinzugsgebiet und dessen Wirkungsbereich.

Fig 1: Summarization of the endangered buildings and persons for each torrent catchment.

Ergebnis dieses Arbeitsschritts ist die Kenntnis über die Anzahl der betroffenen Gebäude und Personen, sowie die Werte der Gebäude für jedes Wildbacheinzugsgebiet. Dieser Datensatz kann nach verschiedenen Kriterien abgefragt und sortiert werden. Die Gefahrenhinweiskarten für Murgang und Übersarung berücksichtigen nicht die Wirksamkeit der Schutzbauten. Unter Annahme der vollen Wirksamkeit der bestehenden Schutzbauten gegen diese Prozesse wurde die Information über die Höhe des betroffenen Schadenpotentials mit dem Schutzbautenkataster räumlich verknüpft. Somit kann die Bedeutung der Gesamtheit aller Schutzbauten in jedem Wildbacheinzugsgebiet für den Schutz des Lebensraums gegen Wildbachprozesse quantifiziert werden. Ein System von Sperren und Geschieberückhaltebecken eines Wildbaches erhält somit die Information, welche potenziellen Schäden es verhindert. Dieser Datensatz kann wiederum nach verschiedenen Kriterien abgefragt und sortiert werden. Die Schutzsysteme in Wildbacheinzugsgebieten, die die am meisten Schäden verhindern, erhalten die höchste Priorität bei der Instandhaltung der Schutzbauwerke. Für die Prioritätenreihung in der Instandhaltung von Wasserschutzbauten wird analog vorgegangen. Dabei werden für jede Schwachstelle und für jeden Dammbbruch die möglichen Folgen einer Überflutung berechnet und die potenziellen Schäden quantifiziert. Die Schwachstellen in Wasserschutzbauten, die bei einem Funktionsausfall des Bauwerks die größten Schäden zur Folge haben, werden bei der Instandhaltung und Erneuerung der Schutzbauten am prioritärsten behandelt.

ERGEBNISSE

Die „Karte der Schadenpotenzial-Kategorien“ stellt die reklassifizierten Legendenelemente der Bauleitpläne dar. Sie unterteilt das Landesgebiet in Flächen mit unterschiedlicher Bedeutung für die Raumplanung und für die Erstellung der Gefahrenzonenpläne. Aufgrund der Abhängigkeit vom Bearbeitungsstand der Datengrundlagen ist die Karte für einen bestimmten Zeitpunkt gültig und wird laufend aktualisiert.

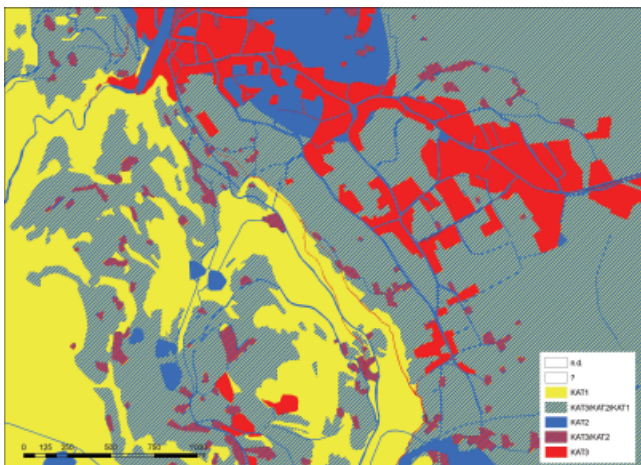


Abb. 2: Karte der Schadenpotenzialkategorien (Ausschnitt bei Lana).

Fig 2: Map of the damage potential categories (the map sections show parts of the community of Lana).

Der Handlungsbedarf zur Sicherung des Lebensraums vor Murgang- und Übersarungsprozesse auf regionaler Ebene auf Basis der Schadenpotenzial-Kategorien hat ohne Berücksichtigung

der Wirksamkeiten der Schutzbauten und ohne Berücksichtigung von Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität folgende Prioritätenreihung:

Tab. 1: Summe der potenziell von Murgang betroffenen Flächen der Schadenpotenzial-Kategorie 3 je Gemeinde, in absteigender Reihenfolge (ersten zehn Ränge).

Tab. 1: Summarized areas of damage category 3 endangered by debris flow processes, in descending order (upper ten echelons).

Rang	ISTAT code	Gemeinde	SPKAT	Betroffene Fläche [ha]
1	21011	Brixen	KAT3	66.77
2	21042	Laas	KAT3	63.56
3	21093	Schlanders	KAT3	47.00
4	21051	Meran	KAT3	38.74
5	21040	Leifers	KAT3	36.34
6	21012	Branzoll	KAT3	32.19
7	21008	Bozen	KAT3	30.44
8	21037	Latsch	KAT3	30.34
9	21027	Graun	KAT3	28.03
10	21108	Ahrntal	KAT3	26.44

Tab. 2: Summe der potenziell von Übersarung betroffenen Flächen der Schadenpotenzial-Kategorie 3 je Gemeinde, in absteigender Reihenfolge (ersten zehn Ränge).

Tab. 2: Summarized areas of damage category 3 endangered by overbank sedimentation processes, in descending order (upper ten echelons).

Rang	ISTAT code	Gemeinde	SPKAT	Betroffene Fläche [ha]
1	21051	Meran	KAT3	189.86
2	21011	Brixen	KAT3	106.52
3	21093	Schlanders	KAT3	87.00
4	21004	Eppan	KAT3	55.10
5	21042	Laas	KAT3	50.49
6	21038	Algund	KAT3	46.46
7	21037	Latsch	KAT3	46.16
8	21046	Mals	KAT3	40.93
9	21111	Vahrn	KAT3	38.44
10	21062	Partschins	KAT3	37.25

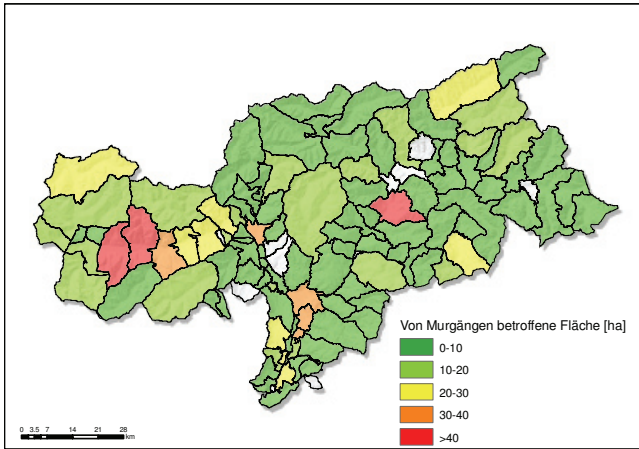


Abb. 3: Von Murgang potenziell betroffene Flächen der Schadenpotenzial-Kategorie 3 je Gemeinde.
Fig 3: Summarized areas of damage potential category 3 (settlements) endangered by debris flow processes.

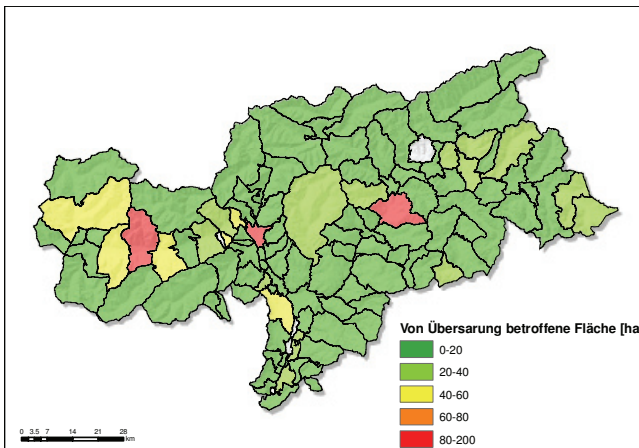


Abb. 4: Von Übersarung potenziell betroffene Flächen der Schadenpotenzial-Kategorie 3 je Gemeinde.
Fig 4: Summarized areas of damage potential category 3 (settlements) endangered by overbank sedimentation processes.

Der Handlungsbedarf zur Sicherung des Lebensraums vor Murgang- und Übersarungsprozesse auf regionaler Ebene auf Basis des Grundstückskatasters hat ohne Berücksichtigung der Wirksamkeiten der Schutzbauten und ohne Berücksichtigung von Eintretenswahrscheinlichkeit und Intensität folgende Prioritätenreihung:

Tab. 3: Anzahl der potenziell von Murgang betroffenen Gebäude und Personen je Gemeinde, in absteigender Reihenfolge (erste zehn Ränge).

Tab. 3: Number of buildings and persons endangered by debris flow processes, in descending order (upper ten echelons).

Rang	ISTAT code	Gemeinde	Betroffene Gebäude	Betroffene Personen
1	21042	Laas	628	2359
2	21093	Schlanders	382	1814
3	21040	Leifers	339	3273
4	21051	Meran	321	3157
5	21015	Kaltern	267	1227
6	21108	Ahrntal	266	1177
7	21012	Branzoll	261	1676
8	21018	Kastelbell-Tschars	259	1162
9	21027	Graun	236	844
10	21037	Latsch	232	991

Tab. 4: Anzahl der potenziell von Übersarung betroffenen Gebäude und Personen je Gemeinde, in absteigender Reihenfolge (erste zehn Ränge).

Tab. 4: Number of buildings and persons endangered by overbank sedimentation processes, in descending order (upper ten echelons).

Rang	ISTAT code	Gemeinde	Betroffene Gebäude	Betroffene Personen
1	21051	Meran	1505	14802
2	21093	Schlanders	668	3173
3	21004	Eppan	579	3132
4	21042	Laas	479	1799
5	21037	Latsch	382	1632
6	21011	Brixen	357	2288
7	21038	Algund	319	1889
8	21056	Naturns	302	1457
9	21046	Mals	298	1257
10	21060	Auer	264	1586

Zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieses Artikels waren die Modellierungen für die Erstellung der Gefahrenhinweiskarte für Überschwemmungsprozesse noch nicht vollständig abgeschlossen. Eine definitive Erstellung der Prioritätenliste für den Handlungsbedarf bei der Sicherung des Lebensraums vor Überschwemmungen war deshalb noch nicht möglich.

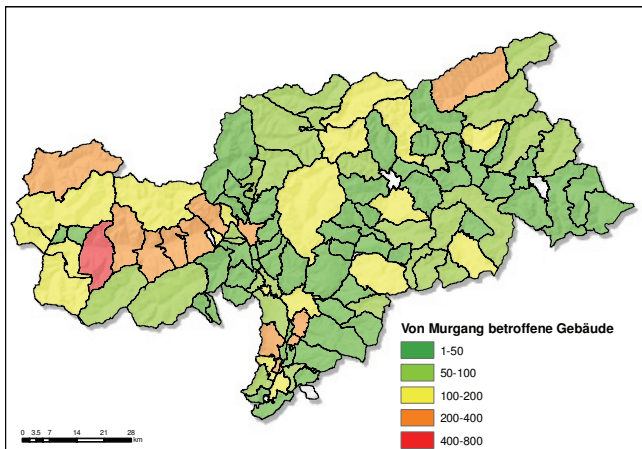


Abb. 5: Anzahl der potenziell von Murgang betroffenen Gebäude je Gemeinde.
Fig 5: Number of buildings endangered by debris flow processes.

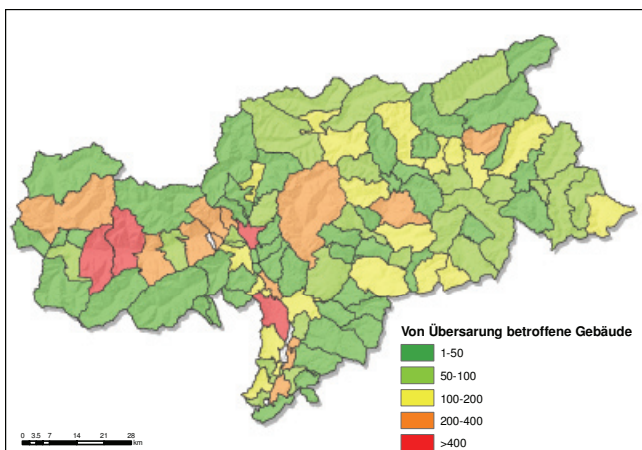


Abb. 6: Anzahl der potenziell von Übersarung betroffenen Gebäude je Gemeinde.
Fig 6: Number of buildings endangered by overbank sedimentation processes.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND DISKUSSION

Die nach dem beschriebenen Verfahren entstandenen Datensätze bilden eine Grundlage für die Ableitung des Handlungsbedarfs im Schutz des Lebensraums vor Wassergefahren und für die Erstellung der Prioritätenliste. Für die Erstellung der Gefahrenzonenpläne stellt die Karte eine Basis für den ersten Entwurf der „Karte der Bearbeitungstiefen“ und eine Diskussionsbasis bei der ersten Sitzung der Dienststellen mit der Gemeinde. Die Karte der Bearbeitungstiefen stellt für jede Gemeinde die Flächen dar, für die ein Gefahrenzonenplan mit hoher Bearbeitungstiefe und hohem Detaillierungsgrad erstellt werden muss. Die Unterteilung des Ge-

meindegebietes in Flächen, die aufgrund der raumplanerischer Relevanz bei gegebener Gefährdung mit hoher bzw. niedriger Bearbeitungstiefe bearbeitet werden sollen und in Flächen, für die aufgrund mangelnder raumplanerischer Relevanz oder fehlender Gefährdung kein Gefahrenzonenplan erstellt werden muss erlaubt eine effiziente Einteilung der zur Verfügung stehenden Ressourcen. So können sich die mit der Erstellung der Gefahrenzonenpläne beauftragten Techniker auf die raumplanerisch relevantesten Gebiete konzentrieren.

Da die Bauleitpläne sich stetig ändern, muss die „Karte der Schadenpotenzial-Kategorien“ nach jeder Bauleitplanänderung aktualisiert werden. Aus diesem Grund wurde das Verfahren so konzipiert, dass die Karte ohne händische Nachbearbeitung dynamisch neu erstellt und damit jederzeit flächendeckend für das gesamte Landesgebiet oder nur für eine Gemeinde aktualisiert werden kann. Die Implementierung von neuen Klassifikationsvorgaben von Seiten der Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne kann relativ einfach durch die Änderung einzelner Attribute in den Klassifizierungstabellen erfolgen. Das Verfahren ist hinsichtlich der Ergänzung mit weiteren Datengrundlagen flexibel.

Insgesamt sind in Südtirol 1053.74 ha der Schadenpotenzial-Kategorie 3, 9205 Gebäude und 46674 Personen potenziell von Murgang und betroffen. Von Übersarung sind potenziell 1568.97 ha der Schadenpotenzial-Kategorie 3, 12214 Gebäude und 67397 Personen betroffen. Die Analyse zeigt, dass auf der Basis der Gefahrenhinweiskarten ein erster Überblick über die potenzielle Gefährdungssituation geschaffen werden kann, die Vernachlässigung der Schutzbauten und der Prozesseigenschaften Wiederkehrdauer und Intensität aber die Interpretation der Ergebnisse erschwert. Bei vorhandenen und als wirksam angenommenen Schutzbauten, zeigen die Ergebnisse, wie viele Gebäude von den bestehenden Schutzbauten geschützt werden.

Die Verknüpfung der Prozessflächen mit den öffentlichen Fließgewässern und dem Schutzbautenkataster ermöglichte eine Prioritätenreihung auf Basis der Codizes der öffentlichen Fließgewässer. Damit können einerseits Wildbacheinzugsgebiete mit Geschiebesperren aus der Reihung ausgeschlossen und die Reihung realitätsnaher gestaltet werden und andererseits die Anzahl der vor gefährlichen Prozessen geschützten Gebäude und damit die Bedeutung des Schutzsystems für die Sicherung des Lebensraums bestimmt werden. Die langfristige Planung der Instandhaltung und Erneuerung von Schutzbauten kann somit auf einer zusätzlichen Informationsquelle beruhen und kann deshalb nachvollziehbarer und transparenter erfolgen. Trotz der getroffenen Vereinfachungen und der fehlenden Information über Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit der betrachteten Prozesse bildet die Analyse eine wertvolle Grundlage zur Erstellung einer Prioritätenliste für den Handlungsbedarf zur Sicherung des Lebensraums vor Wassergefahren auf regionaler Ebene.

LITERATUR

- Autonome Provinz Bozen-Südtirol (2003): Amtliche Baukosten. www.provinz.bz.it/lpa/news/news_d.asp?art=52756 (25.06.2003).
- Autonome Provinz Bozen-Südtirol (2004): Richtpreisverzeichnis Tiefbau 2004. Bozen.
- Autonome Provinz Bozen Südtirol (2006): „Richtlinien zur Erstellung der Gefahrenzonenpläne (GZP) und zur Klassifizierung des Spezifischen Risikos (KSR)“. Bozen.
- Autonome Provinz Bozen Südtirol, Abteilung Wasserschutzbauten (2008): „Plattform IHR – Informationssystem Hydrogeologische Risiken. Methodischer Endbericht“. Bozen (In print).

- Gius, S. (2005): „Die Gefahrenzonenplanung in Südtirol“. Wildbach- Und Lawinenverbau 152, S. 49-61.
- Heinimann, H.; Hollenstein, K.; Kienholz, H.; Krummenacher, B., Mani, P. (1998): „Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren“. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (Hrsg.): „Umwelt-Materialien Naturgefahren 85“. Bern.
- Rizzolli, S. (2004): Die Entwicklung des Schadenpotenzials in den überschwemmungsgefährdeten Gebieten im Etschtal bei Salurn seit Beginn des 19. Jahrhunderts. Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- Zimmermann, M.; Mani, P., Gamma, P. (1997): „Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz. Schlußbericht NFP 31“ Zürich.
- Zischg, A.; Keiler, M.; Fuchs, S., Meissl, G. (2002): „Konzept zur flächendeckenden Risikoanalyse für Naturgefahren im regionalen Maßstab“. Strobl, J.; Blaschke, T., Griesebner, G. (Hrsg.): „Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2002“. Heidelberg, S. 607-615.

VON PRÄVENTION ZU SUBVENTION

FROM PREVENTION TO SUBVENTION

Franz Heigl¹

ZUSAMMENFASSUNG

Präventionsmaßnahmen sind unverzichtbar, wenn starkes Bevölkerungswachstum erfordert, auch die Nutzung suboptimaler, ja sogar gefährdeten Baulandes ins Auge zu fassen. Präventionen dürfen jedoch nicht durch willkürliches Ausweiten sichernder Projekte gestatten, Präventionskosten im Interesse einzelner Gemeinden auf Bund und Land zu verlagern und/oder zur Erschließung von Überschwemmungsgebiet heranzuziehen, um dieses Bauland zu subventionieren.

Keywords: Prävention – Subvention – Raumplanung

ABSTRACT

If population growth requires the utilisation of suboptimal, even endangered building land, prevention activities are indispensable, Public preventions are not allowed to enlarge the building land including floated zones in interest of communities on account of republic or country, otherwise this building land would get subsidized.

Keywords: prevention – subvention – land use planning

DIE FEHLENTWICKLUNG

Tirol rühmt sich, auf einer besiedelbaren Fläche von 12,3 % des Bundeslandes, seine Bevölkerung innerhalb von ca. 60 Jahren um ca. 60 % angehoben zu haben. Zugleich wurden Nutzungsbeschränkungen im Rahmen von Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG 1959) und/oder Forstgesetz 1975 (ForstG 1975) verfügt. Zunächst als Prävention gedacht, wurde diese Gesetzesmaterie zur Erschließung neuer Baugebiete missbraucht. Vernachlässigt man die Bundeshauptstadt, so zeigen gerade die Bundesländer mit dem größten Gebirgsanteil – bezogen auf ihre risikofreie Fläche – die stärkste Zunahme der Bevölkerungsdichte, die bis zu ca. 0,8 %/a beträgt. Zudem erweist die Gegenüberstellung von 9 % risikofreier Gesamtfläche und 12,3 % besiedelbarer Gesamtfläche dieses Bundeslandes, dass risikobelastete Flächen im Ausmaß von 3,3 % der Gesamtfläche als besiedelbar eingestuft, d.h. auch Risikogebiete erschlossen wurden.

¹ Hugo-Wolf-Gasse 7, 8010 Graz, Österreich, (Tel.: +43-316-321481; email: office@heigl-consulting.at)

Tab. 1: Anteile der Risikogebiete an der Fläche der Österreichischen Bundesländer sowie deren Bevölkerungsdichte, bezogen auf deren nutzbare Gebiete

Tab. 1: The shares of the regions of risk in the area from the Austrian provinces as well as whose population density relating to whose useable areas

Bundesland	Fläche (km ²)	Wildbach-Lawinen-Risikogebiete (km ²)	% Fläche	Nutzbare Gebiet (km ²)	EW 01.01.2006	EW/km ²	EW 01.01.2005	EW/km ²	EW/km ² Δ 05/06
Burgenland	3.965	622	16	3.343	279.317	83,55	278.215	83,22	0,33
Kärnten	9.533	7.817	82	1.716	560.300	326,52	559.891	326,27	0,25
Niederösterreich	19.174	8.974	47	10.200	1.581.422	155,04	1.569.596	153,88	1,16
Oberösterreich	11.981	8.981	75	3.000	1.402.050	467,35	1.396.228	465,41	1,94
Salzburg	7.155	6.368	86	787	528.351	671,35	526.017	668,38	2,97
Steiermark	16.386	9.800	60	6.586	1.202.087	182,52	1.197.527	181,83	0,69
Tirol	12.649	11.510	91	1.139	697.435	612,32	691.783	607,36	4,96
Vorarlberg	2.601	2.211	85	390	363.526	932,12	360.827	925,20	6,92
Wien	434	81	19	353	1.651.437	4.678,29	1.626.440	4.607,48	70,81
Σ	83.878	56.364	67	27.514	8.265.925	300,43	8.206.524	298,27	

Bereits vor mehr als 25 Jahren verwies H. Marrer in „Vorschläge für Maßnahmen im Interesse der Fischerei bei technischen Eingriffen in Gewässern“, herausgegeben im Auftrag des Bundesamtes für Umweltschutz an das Büro für Gewässer- und Fischereifragen, Solothurn, 1981, auf Gefahren und Folgen des Bauens in Gebieten bei nur beschränkten Baulandreserven:

„... Allzu sorglos werden auch heute noch Feuchtwiesen entwässert, für die Retention wichtige Gebiete überbaut, ... Gebäude in Überschwemmungsgebieten erstellt, ... Kies und Sand aus Bächen und Flüssen gewonnen und v.a.m., ohne dass man sich meist Rechenschaft über die Folgen dieses Tuns gibt. Es kommt deshalb auch nicht von ungefähr, dass Hochwasserintensität und -häufigkeit heute allgemein größer sind als früher und dass sich allein schon aufgrund dieser neuen Verhältnisse z.T. Gewässerzustände herausgebildet haben, die Anlass zu umfangreichen Korrektionsarbeiten bieten können. ...“

um schließlich zu folgern

„... Dem Hochwasserschutz gebührt zweifellos der Vorrang, wo es um Schutz des Lebens und wichtiger Volksgüter geht; er ist aber vermehrt auch dort aktiv, wo kein derartiges Sicherheitsbedürfnis geltend gemacht werden kann und wo den großen finanziellen Aufwendungen für den Gewässerbau keine entsprechenden volkswirtschaftlichen Vorteile gegenüberstehen. Man erhält den Eindruck, dass allzu oft die Natürlichkeit unserer Gewässer partikulären Interessen geopfert wird. ...“

WELCHE SIND NUN DIE WURZELN DIESER FEHLENTWICKLUNG?

1. Die sog. „örtliche Raumplanung“

- 1.1 Die Flächenwidmungspläne, bei deren Erstellen ein Votum des Gemeinderates – die „gesunde Volksmeinung“ – das fundierte Gutachten eines Sachverständigen (SV) überstimmen kann.
- 1.2 Die Tendenz, Standorte in Berggräben ohne jegliche wirtschaftliche Entwicklungsmöglichkeiten, jedoch mit langen Pendel- und Transportdistanzen, zu stützen und zu fördern.
- 1.3 Die Subvention des – gerade in Gebirgsgegenden – im Durchschnitt hoch verschuldeten Tourismus, wiewohl Europa während vieler Jahre Wirtschaftskonjunktur hatte.

Dies zeigt, dass Alpentourismus keinen nachhaltigen Wirtschaftszweig bildet, sondern nur Eliten dient. Zudem sinkt seine wirtschaftliche Tragfähigkeit durch klimabedingt sich verkürzende Wintersaisons, sodass jeglicher Ressourceneinsatz keine ökonomische Nachhaltigkeit gewährleisten kann.

1.4 Die Scheu extrem gelegenen Standorte „einzufrieren“ oder aufzulassen wie in der Vergangenheit üblich.

2. Methodische Fehler im Forstgesetz

2.1 Dieses geht beim Ermitteln von Gefahrenzonen von einer 150-jährlichen Wiederkehrwahrscheinlichkeit aus. Dieser Zeitraum schien vernünftig, da man etwa ab 1825 zumindest partiell über Aufzeichnungen von Wasserführungen verfügt und sog. „stumme Zeugen“ in diesem Zeitraum relativ klar zu interpretieren waren, Klimaänderungen als allmählich ablaufender Prozess verstanden und Nutzungsänderungen, da in der Vergangenheit zyklisch erfolgend, als vernachlässigbar angesehen wurden.

2.2 Die aus dem Zeitraum von 1825 bis 1975 abgeleiteten maximalen Ereignisse sind daher bezüglich bestehender und zu erwartender Nutzungs- sowie Klimaänderungen zu kalibrieren.

3. Managementfehler bei Erstellen der Gefahrenzonenpläne

In ÖROK (Österreichisches Raumentwicklungskonzept), Band Nr. 168, wird auf Seite 19 der Stand der Gefahrenzonenpläne in Österreich für den 01.01.2004 referiert:

Tab. 2: Übersicht Gefahrenzonenplanung (Stand 1. Jänner 2004)

Tab. 2: Overview danger zone planning (conditions: January 2004)

Bundesland	Anteil der Gemeinden mit GZP
Niederösterreich	20 – 25 % Rest soll in 10 Jahren fertig sein
Oberösterreich	100 % davon mehr als die Hälfte älter als 15 Jahre
Salzburg	100 % davon mehr als die Hälfte älter als 15 Jahre
Steiermark	50 % der WLV-relevanten Gemeinden, flächendeckende Bearbeitung in etwa bis zum Jahr 2010
Tirol	60 – 70 % Fertigstellung in ca. 5 bis 10 Jahren

Somit konnten in einem Zeitraum von 29 Jahren seit Rechtskraft des Forstgesetzes 1975 (ForstG 1975) lediglich

in	2 Bundesländern	100 %	der Gefahrenzonenpläne
in	1 Bundesland	ca. 70 %	der Gefahrenzonenpläne
in	1 Bundesland	50 %	der Gefahrenzonenpläne
in	1 Bundesland	25 %	der Gefahrenzonenpläne

fertig gestellt werden, wobei mit Vorliegen aller Gefahrenzonenpläne erst 2014, somit 39 Jahre nach Rechtskraft des Forstgesetzes 1975 (ForstG 1975), gerechnet wird, wiewohl zur Zeit bereits die Überarbeitung der ersten Gefahrenzonenpläne ansteht, da die vorliegenden ob Klima- und Nutzungsänderungen überholt sind.

4. Organisatorische Fehler bei Erlassen von Gesetzen

Während das Forstgesetz 1975 (ForstG 1975) eine „Rote Gefahrenzone“ bei Katastropheneignissen mit 150-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit kennt, so bezeichnet die RIWA-T 1994 (Technische Richtlinien Wasserbau) bereits Bereiche bei Katastropheneignissen mit 100-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit als „Rote Gefahrenzonen“. Missverständnissen und Irrtümern ist damit Tür und Tor geöffnet.

5. Mangelnde Phantasie der Sachverständigen

- 5.1** Mehr als 150-jährliche Ereignisse werden als mehr oder minder ausgeprägte „Ausreißer“ eines als konstant angenommenen Trends gewertet, wobei eine Regression von Wasserführung und Zeit mit $r = \pm 0$ angenommen wird. Diese Annahme zeugt von mangelndem Vorstellungsvermögen der Sachverständigen (SV): Die Dobratsch-Katastrophe, die in der Folge zu einem extremen Hochwasserereignis durch die Gail führte, ereignete sich vor rund 700 Jahren, während Staudämme und –mauern auf ein 5000-jährliches Ereignis auszulegen sind.
- 5.2** Die Wirkungen präventiv gedachter Maßnahmen werden unrichtig eingeschätzt: Die Kraftwerkskette an der Salzach sollte Hochwasserspitzen aufnehmen und das Abflussgeschehen über einen längeren Zeitraum ausgleichen. Die Stauräume verlandeten jedoch fallweise bereits zu mehr als 70 %, sodass Stauräumspülungen an der geringen Mittelwasserführung, an, ob Verlandung, nur geringer Stauhöhe und an fehlenden Lagerflächen für geräumtes Material scheitern. Ähnlich sind die Verhältnisse bei vielen Geschiebesperren: Ihre Räumung hinkt hinter dem Geschiebeanfall nach, zumal hochgelegene Quelleitungen die Verlandung beschleunigen.
- 5.3** Von Sachverständigen der Steiermärkischen Landesregierung wurde die Auffassung vertreten, in Hochwasserabflussgebieten oder „Gelben Gefahrenzonen“ lt. Forstgesetz 1975 (ForstG 1975) könne ohne sichernde Maßnahmen gebaut und die Auswirkungen auf die Infrastruktur vernachlässigt werden.
- 5.4** Die Aufwertung durch Prävention gesicherten Landes wird unterschätzt und/oder nicht beachtet.

WELCHES WAREN DIE FOLGEN?

1. Unklarheiten und unvollständige Unterlagen beim Erstellen der Flächenwidmungspläne wurden genützt, auch risikogeneigte Flächen als Bauland zu widmen, da weder Pläne noch Stellungnahmen vorlagen, die dies ausdrücklich untersagten, während vor Einführung der Flächenwidmungspläne herangezogene Bausachverständige – da eigenverantwortlich handelnd – diese Flächen nicht als Bauland anerkannt hatten.
2. Präventiv gedachte Maßnahmen werden als Sanierungen solcher subventioniert, die seit Rechtskraft des Forstgesetzes 1975 (ForstG 1975) in HQ₃₀-Bereichen oder „Roten Gefahrenzonen“ lt. Forstgesetz 1975 (ForstG 1975) contra legem gesetzt wurden, um Amtshaftungsverfahren zu umgehen (zum Beispiel der Bau des Speichers Grünberg nahe Schwanberg/Steiermark).
3. Der „normale“ Vorgang, Bauland in Hochwasserabflussbereichen zu schaffen, wäre
 - zu klären, ob eine Prävention technisch möglich ist.
Ist dies nicht der Fall, kann kein Bauland geschaffen werden,
ist dies der Fall
 - sind die in Aussicht genommenen Flächen als Bauland-Aufschließungsgebiet im Flächenwidmungsplan auszuweisen. Die Kosten der Prävention sind vom Antragsteller oder – wenn als Entwicklungsziel festgelegt – von der Gemeinde zu tragen.
Sind die finanziellen Voraussetzungen gegeben, so ist in der Folge eine Umwandlung von Aufschließungsgebiet in vollwertiges Bauland möglich.

- Sind jedoch die finanziellen Voraussetzungen nicht gegeben, wird versucht, Land und Bund in die Finanzierung einzubinden, wobei aus der Sicht der Gemeinden die optimale Lösung dann gegeben ist, wenn die kapitalisierten Steuerkraftkopffquoten der im neu gewonnenen Bauland ansiedelbaren Bevölkerung die erforderlichen Aufwendungen der Gemeinde decken.

All dies zu erreichen, werden, je nach Sachverhalt, unterschiedliche Wege eingeschlagen:

Ziel 1: Prävention als Voraussetzung gewinnbringender Vermarktung.
Folge: Rahmenbedingungen schaffen, um eine Subventionsberechtigung zu konstruieren. Diese Vorgangsweise wird sogar in „Bescheiden“ von Landesregierungen sanktioniert, wenn in diesen festgehalten wird:

„... Unter Punkt (3.3) der „Kosten/Nutzen-Untersuchung 1993“, verfaßt von Dipl. Ing. Robert Zach, Zivilingenieur für Kulturtechnik und Wasserwirtschaft, Ligist, wird als Ziel und schadensmindernder Faktor festgehalten:

„Bodenwertsteigerung: Bauland“ ...“

Somit ist a priori beabsichtigt, im unmittelbaren Anschluss an das zu sichernde Fließgewässer Bauland auszuweisen.

- Beispiel:**
- Planungsperiode 1 des Flächenwidmungsplanes der Gemeinde westlich des Baches.
 Die HQ₃₀- und die HQ₁₀₀-Bereiche sind ersichtlich gemacht. Baugebiet, sog. „Dorfgebiet“ im HQ₁₀₀-Bereich festgelegt. Neben den Hofflächen dreier Landwirtschaften wird Baugebiet großzügig ausgewiesen.



Abb. 1: Planungsperiode 1, Bauland längs des Baches ausgewiesen

Fig. 1: Planning period 1, Building land along the brook proven



Abb. 2: Planungsperiode 1, Bauland sowie HQ₃₀ und HQ₁₀₀ ausgewiesen

Fig. 2: Planning period 1, Building land as well as HQ₃₀ and HQ₁₀₀ proven

- Planungsperiode 2 des Flächenwidmungsplanes der Gemeinde westlich des Baches

Der HQ₁₀₀-Bereich wird – nach Belehrung - gesetzeskonform als „Freiland“ ausgewiesen und ein Retentionsbecken geplant, um das ehemals festgelegte Bauland wiederum zu reaktivieren und weitere in der Zwischenzeit, konsenslos in diesem Gebiet errichtete Bauten zu legalisieren.

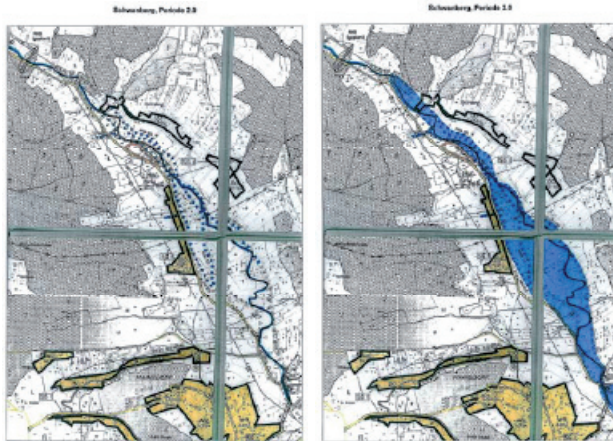


Abb. 3: Planungsperiode 2,
Bauland zurückgenommen

Fig. 3: Planning period 2,
Building land taken back

Abb. 4: Planungsperiode 2
Bauland sowie HQ₃₀ und HQ₁₀₀
ausgewiesen

Fig. 4: Planning period 2,
Building land as well as
HQ₃₀ and HQ₁₀₀ proven

- Planungsperiode 3 des Flächenwidmungsplanes der Gemeinde westlich des Baches

Das Retentionsbecken wurde gebaut.

Bauland wird wiederum bis zur Grenze der ehemaligen HQ₃₀-Linie ausgewiesen.

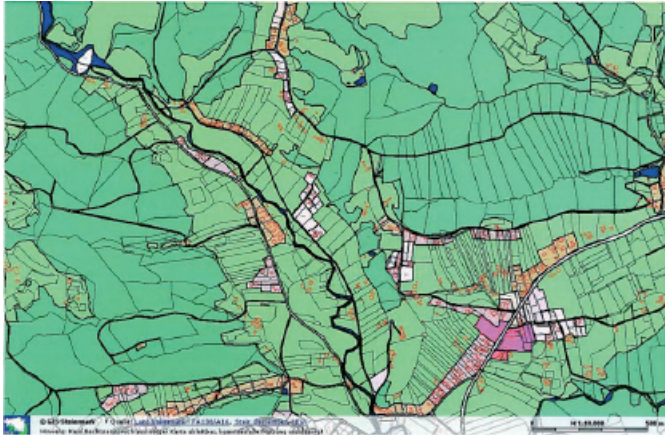


Abb. 5: Planungsperiode 3, Bauland wiederum erweitert
Fig. 5: Planning period 3, Building land extends again

Diese HQ₃₀-Linie bildet jedoch einen Sonderfall: Aufgrund unsicherer Bodenverhältnisse und um nicht mit der Staubeckenkommission konfrontiert zu werden, wurde das Rückhaltebecken unterdimensioniert, sodass ein HQ₁₀₀ lediglich auf ein HQ₃₀ reduziert werden konnte.

Hierdurch bedingt mussten bachabwärts des Retentionsbeckens alle Brücken über den Bach angehoben werden.

Ein Vertreter der federführenden Behörde gab – nach dem Vorhalt, dass Einzelsicherungen der bestehenden und durch Hochwasser gefährdeten Gehöfte bei weitem wirtschaftlicher gewesen wären – mit dem Ersuchen, seine Antwort nicht zu protokollieren, zu, dass die Prävention durch eine Rückhaltebecken gewählt wurde, da

- Bauland gewonnen werden konnte und
- derartige Großprojekte die Belastungen von Gemeinde und Land auf Kosten des Bundes minimiert würden.

Effektiv konnte durch die gewählte Präventionsmethode nach der Faltformation „Wasserwirtschaft Land Steiermark“ nachstehende Kostenteilung zugunsten der betroffenen Gemeinden erreicht werden:

Bund	60 % bzw.	14.400.000,-- S
Land	35 %	8.400.000,-- S
Wasserverband		
bestehend aus den Gemeinden		
Holleneegg und Schwanberg	5 %	1.200.000,-- S

Bei im Jahre 1995 angegebenen Baukosten des geplanten Retentionsbeckens von 24 Mio. Schilling, ohne „Nebenkosten“ für Brücken, etc. entfallen bei einer Reduktion der gefährdeten, landwirtschaftlichen Flächen von ca. 43,75 ha auf 32,13 ha – das heißt um ca. 11,63 ha – längs der als gefährdet bezeichneten Bachlänge von ca. 1,2 km auf das gesicherte Freiland im Durchschnitt Präventionskosten von 206,36 S/m² bzw. 16,71 €/m² zu Lasten der öffentlichen Hand. Berücksichtigt man die Veränderung des Lebenshaltungskostenindex 1945/I in den Jahren von 1995 – 2007 von 22,31 %,

so ergibt dies eine Subvention von	20,44 €/m ²
als Zuschlag zum Freilandpreis von	1,00 €/m ²
somit eine Aufwertung auf insgesamt	21,44 €/m²

Baugründe für freistehende Einfamilienhäuser werden in diesem Gebiet in peripherer Lage lt. Immobilienpreisspiegel 2007 um 27,5 – 27,8 €/m² angeboten, das heißt ca. 77 % der Wertsteigerung von „Freiland“ auf „Bauland“ wurden durch den Bau des Retentionsbeckens subventioniert.

Noch wesentlich günstiger zeigt sich die Situation aus dem Blickwinkel der Gemeinden Holleneegg und Stadt Schwanberg:

bei einem Aufwand	von	1.200.000,-- S
	bzw.	87.207,40 €
konnte eine Fläche	von	11,63 ha
	um	10,31 S/m ² #
	bzw.	0,75 €/m ²

hochwasserfrei gestellt und in potentiell Bauland überführt werden.

Unter Berücksichtigung der Veränderung des Lebenskostenindex 1945/I ergibt dies auf Basis des Jahres 2007

	12,61 S/m ²
	bzw. 0,92 €/m ² .

Das heißt „Freiland“ mit einem Verkehrswert von ≤ 1,-- €/m² konnte durch Investitionen der Gemeinden von ca. 0,92 €/m² zugunsten ihrer Bürger auf einen Verkehrswert von im Durchschnitt 27,65 €/m² gepuscht werden.

Für die betroffenen Gemeinden selbst ist eine solche Prävention vorteilhaft und gewinnbringend.

Die Steuerkraft-Kopfquoten im Jahre 1997 betragen in

Holleneegg	7.622,-- S/P
Stadt Schwanberg	7.862,-- S/P

Ausgehend von der im Baubewilligungsbescheid des Rückhaltebeckens angeführten 5 % - Verzinsung – wird der gesamte Aufwand beider Gemeinden bereits durch die kapitalisierte Steuerkraft-Kopfquote

$$\frac{1.200.000,-- S}{20 * 7622,-- S/P} = 7,87 P \sim 8 P$$

Hierbei bedeuten:
P Personen

von nur weiteren 8 zugewanderten Personen, die in den nunmehr gesicherten Grundflächen angesiedelt werden, gedeckt.

Ziel 2: Prävention als Vorwand, Baumängel zu beseitigen und konsenslos errichteten Bauten einen Konsens zu schaffen.

Folge: Auf kurzfristig aufgetretene Änderungen verweisen und diese mit höheren Wasserständen begründet.

Beispiel: Der Anrainer eines an einem Bach rainenden Grundstückes errichtete unkonsentiert eine „Grillanlage“, mit einer verbauten Fläche von ca. 1 m/1 m. Das für die „Grillanlage“ verwendete Baumaterial war neuester Produktion. Der Anrainer klagte, diese „Grillanlage“ sei bereits von seinem Großvater errichtet worden und stelle für ihn eine wertvolle familiäre Erinnerung dar. Die an der Verhandlung teilnehmenden Amtspersonen beschlossen die Sanierung der konsenslos errichteten „Grillanlage“ mit folgendem Aufwand:

- 1 Lieferrn und Verbauen eine Lkw-Ladung Großblocksteine
- 1 Antransport einer schweren Erdbaumaschine
- 1 Tag = 8 Stunden Arbeitseinsatz einer schweren Erdbaumaschine + Fahrer
- 1 Abtransport einer schweren Erdbaumaschine
- 8 m Entfernen eines intakten Holzverbaues zur Ufersicherung, da für das Gewicht der von der Baubezirksleitung geplanten Grobblockschichtung unterdimensioniert
- 2 Anschlüsse des Holzverbaues an die Grobblocksicherung mit neuen Rundholz
- 2 Arbeiter à 8 Stunden = 16 Stunden



Abb. 6: Die abrutschende Grillanlage
Fig. 6: The slipping grill plant



Abb. 7: Der Präventionseinsatz
Fig. 7: The employment of prevention

Unter dem Vorwand der Prävention erfolgte die Subvention der Sanierung eines konsenslos auf angeschüttetem Material errichteten und ungenügend fundierten Bauwerkes.

Ziel 3a Kurzfristigen in langfristigen Konsens zu transformieren

Folge: Deklaration als konsentierten Bestand.

Beispiel: Eine während des Krieges erbaute Baracke für Forstarbeiter – ein Provisorium für die Kriegszeit – liegt in einer „Roten Gefahrenzone“ lt. Forstgesetz 1975 (ForstG 1975).

Durch das Steiermärkische Baugesetz 1995 wurden alle vor dem 01.01.1969 errichteten Bauten – auch alle unkonsentiert errichteten Bauten – als konsentiert erklärt.

Damit gingen Gebäude und Bauwerke, die als Provisorien zeitlich limitiert errichtet worden waren – auch wenn in „Roten Gefahrenzonen“ lt. Forstgesetz 1975 (ForstG 1975) gelegen – automatisch in Bauten für dauernden Bestand mit Präventionsanspruch über.

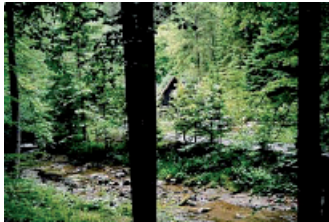


Abb. 8: Die alte Baracke
Fig. 8: The old barrack



Abb. 9: Das „Hobby-Wehr“
Fig. 9: The hobby resistance

Ziel 3b Einem Steckenpferd zu frönen.

Folge: Einen emotional begründeten Antrag stellen.

Beispiel: Das Gebäude lt. Beispiel 3a wurde von einem pensionierten Elektriker erworben, dessen Lebenstraum war, ein E-Werk zu besitzen.

Wiewohl eine öffentliche E-Leitung 2 – 3 Mastabstände entfernt verlief, wurden die wasserrechtlichen und bautechnischen Genehmigungen für den Bau von Wehr und Mini-E-Werk erteilt.

Um die nötige Fallhöhe zu erreichen, wurde der Bach ca. 50 m bachaufwärts des Gebäudes gestaut, die Sohle des Baches durch das Wehrbauwerk ca. 2 m angehoben und eine kleine Felsformation, die den Bach vor der Baracke umgelenkt hatte, entfernt.

Die Voraussetzungen für eine weitere geforderte Präventionsmaßnahme waren geschaffen.

Ziel 4 Prävention als Rechtfertigung

Folge: Wiederaufbau – eigentlich Wiederaufbau – eines Gebäudes am selben, gefährdeten Standort

Beispiel: In den unterinntaler Bergen wurde seitens des Landes der Bau eines Schießstandes der Tiroler Schützen genehmigt und finanziert..

Der Schießstand wurde in einem bekannten Lawenstrich errichtet.

Im ersten Winter nach Betriebsbeginn wurde er – wie zu erwarten – durch eine Lawine zerstört.
Die Landesregierung beschloss einen Wiederaufbau des Schießstandes an derselben Stelle sowie das Errichten der erforderlichen technischen Präventionsmaßnahmen.

WIE KANN DIESEN FEHLENTWICKLUNGEN BEGEGNET WERDEN?

1. Durch Ändern des Betrachtungszeitraumes
Die RIWA-T 1994 (Technische Richtlinien Wasserbau) geht bereits von einem Betrachtungszeitraum mit 300-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit aus. Analog hätte das Forstgesetz 1975 (ForstG 1975) Katastropheneignisse mit 450 – 500-jährlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit zu berücksichtigen – zumindest bis zur Klärung, ob ein Klimawandel erfolgt oder nicht.
2. Der zur Zeit ablaufende Klimawandel wird anthropogen begründet, jedoch das Klima im 14. und 15. Jh., mit seiner Hochlagenbesiedelung als geogen betrachtet. Eine analoge Entwicklung ist jedenfalls auch in unseren Zeiten in Betracht zu ziehen.
3. Durch Annahme eines worst-case bei Nutzungsverteilung und Rückhaltevermögen der Flächen im Einzugsgebiet.
4. Durch Einstellen jeglicher Subventionen
zur Sicherung von Bauten, die nach dem Jahre 1975 in Hochwasserabflussgebieten oder Gefahrenzonen lt. Forstgesetz 1975 (ForstG 1975) errichtet wurden und zur Stützung von Tourismuseinrichtungen in Hochlagen.
5. Durch wirtschaftliche Erwägungen, da es volkswirtschaftlich unvertretbar ist, Staudämme und Rückhaltebecken zu errichten, deren Kosten jene der zu schützenden Gebäude und Anlagen übersteigen oder Ufereinrisse bei landwirtschaftlich genutzten Flächen im Ausmaß von 4 m² – 10 m² um Beträge von € 3.000,-- – € 4.000,-- zu sanieren, statt den Grund abzulösen.
Der Verkehrswert einer guten Wiese beträgt in Österreich zur Zeit 1,00 €. Da in diesem Fall der Verkehrswert dem Ertragswert gleichgesetzt werden kann, entspricht er der Ablösesumme der erforderlichen Grundflächen. Die übliche Sanierung liegt um den Faktor 100 bis 1.000 über einer Ablösesumme im Außerstreitverfahren von insgesamt 4,00 – 10,00 €.
6. Durch begleitendes Ermitteln der „Umweggewinne“ auf Basis anfallender Subventionen.
7. Durch kritisches Prüfen jedes Präventionsumfanges um dem Verlagern dieser Kosten auf Bund und Land zu steuern.
8. Durch Limitieren der Prävention auf das absolute Minimum, da Präventionen zunehmend zu Großprojekten tendieren, die Subventionen gestatten.

FOLGERUNG

Die Tragfähigkeit von Berggebieten ist begrenzt. Sie kann auch mittels technischer Maßnahmen nicht entscheidend gesteigert werden. Daher sind Ressourcen nur mehr zur Stabilisierung, keinesfalls für Sanierung oder Subvention einzusetzen.

LITERATUR

Statistik Austria, Volkszählung für die Bezirke Tirols „Die Wohnbevölkerung in den Gemeinden Tirols“

ÖROK (Österreichisches Raumentwicklungskonzept), Band Nr. 168, Stand 01.01.2004

Steirische Statistiken: „Steuerkraft-Kopfquoten 1997 Land-Bezirke-Gemeinden“, Heft 8/1998

Steiermärkisches Baugesetz (STBauG), LGBl. 1995/59 i.d.F. LGBl. 2003/78

Wasserrechtsgesetz (WRG 1959), BGBl. 1959/215 i.d.F. BGBl. 2006/123

Forstgesetz 1975, BGBl. 1975/440 i.d.F. BGBl. 2005/87

Veröffentlichung des Bundesamtes für Umweltschutz und der Eidgenössischen Fischereinspektion, Nr. 40, „Vorschläge für Maßnahmen im Interesse der Fischerei bei technischen Eingriffen in Gewässer, aus dem Jahre 1981

SCHUTZZIELE IM UMGANG MIT NATURRISIKEN

WANDELN AUF DEM PFAD DER GERECHTIGKEIT...

PROTECTION OBJECTIVES IN NATURAL RISK MANAGEMENT

A WALK ON THE PATH OF JUSTICE...

Josef Hess¹

ZUSAMMENFASSUNG

Experten sind sich einig, dass absolute Sicherheit im Management von Naturrisiken weder technisch machbar noch wirtschaftlich tragbar ist. Die Frage „Wie sicher ist sicher genug?“ ist von zentraler Bedeutung. Als Antwort auf diese Frage entwickelte die Praxis zahlreiche Schutzzielvorschläge. Schutzziele umschreiben das Mass des tolerierbaren Risikos und die Verteilung des Restrisikos in der Gesellschaft. Schutzziele sind somit auch eine Frage der Gerechtigkeit. Massgebend für Schutzziele sind Bedürfnisse der Risikobetroffenen und das gesellschaftliche Umfeld (Kontext), die Mitverantwortung der Risikobetroffenen, sowie die Effizienz und Sozial- und Umweltverträglichkeit risikovermindernder Massnahmen. Nebst einer kritischen Beurteilung der gebräuchlichen Schutzziefestlegungen wird ein Vorschlag zur umfassenden Berücksichtigung dieser Aspekte im regionalen Risikomanagement skizziert.

Keywords: Schutzziel, Naturgefahr, tolerierbares Risiko, Gerechtigkeit, Fairness, risikobasiertes Recht

ABSTRACT

There is a wide agreement among experts, that absolute safety in natural risk management is neither technically feasible nor economically affordable. The question “How safe is safe enough?” plays a crucial role. To answer this question, risk management practitioners elaborated suggestions of protection objectives. Protection objectives express both the level of tolerable risk and the distribution of residual risk among society. Hence questions of protection objectives are questions of justice. Social needs, the risk bearers own responsibility and the context of a risk situation are guiding aspects of protection objectives as well as efficiency and social and environmental compatibility of risk mitigation measures. Commonly suggested protection objectives are analyzed in the light of these aspects and a procedure to implement those aspects in regional risk management is suggested.

Keywords: Protection Objective, Natural Hazard, tolerable risk, justice, fairness, risk based regulation

¹ Bau- und Raumentwicklungsdepartement Obwalden, Leiter Abteilung Naturgefahren, Tel: +41-41-666-6325
Fax: +41-41-660-9577; email: josef.hess@ow.ch

SCHUTZZIELE IM MANAGEMENT VON NATURRISIKEN

Entwicklung von Schutzziele

Dem klassischen Umgang mit Naturgefahren wird der Makel nachgesagt, Gefahrenabwehr statt Risikominderung zu betreiben (PLANAT, 2002). Doch seit jeher wurden nie alle denkbaren Massnahmen zur Reduktion einer Gefahr tatsächlich auch realisiert. In neuerer Zeit rücken ökonomische, ökologische und technologische Schranken der Reduktion von Risiken zunehmend ins Bewusstsein. Dies verlangt nach der ausdrücklichen Festlegung von Schutzziele, also nach Vorstellungen zum Mass und der Verteilung des tolerierbaren Risikos in der Gesellschaft.

Die längste Tradition haben Schutzziele im Bereich technischer Risiken. Zuerst waren dies Grenzwerte für tolerierbare Wahrscheinlichkeiten unerwünschter Vorgänge (z.B. Versagen eines Bauwerkes). Zunehmend wurden diese Grenzwerte auch nach den Auswirkungen derartiger unerwünschter Vorgänge abgestuft.

Diese Abstufung wurde weiterentwickelt mit der Einführung von „Boundary-Lines“ (Farmer, 1967), welche zur Darstellung tolerierbarer Risiken in Wahrscheinlichkeits-/Ausmass-Diagrammen (F/N-Diagramme) führte. Diese Diagramme sind heute noch verbreitet.

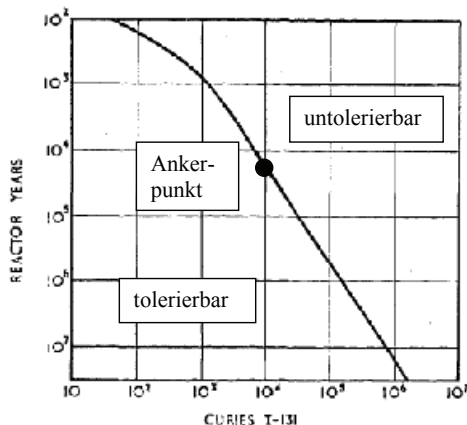


Abb1: „Farmer-Kurve“ zur Abgrenzung zwischen tolerierbarer und untolerierbarer Freisetzung von radioaktivem Jod I-131 (Farmer, 1967)

Fig1: „Farmer-Curve“ to delimit tolerable and intolerable release of radioactive Iodine I-131 (Farmer, 1967)

Einen weiteren Entwicklungsschritt stellte der Einbezug von Effizienz- und Verhältnismässigkeitsüberlegungen dar. Das Mass des tolerierbaren Risikos wurde korreliert mit dem Nutzen der riskanten Tätigkeit sowie mit den Kosten der Risikoverminderung. Viele der bereits erwähnten Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagramme tragen diesem Aspekt Rechnung, indem sie zwischen tolerierbaren und untolerierbaren Risiken einen Bereich einfügen, in dem Risiken nach Massgabe der Verhältnismässigkeit zu reduzieren sind (ALARA „as low as reasonably achievable“ oder ALARP „as low as reasonably possible“).

Der heute immer noch sehr verbreitete Ansatz der Darstellung von tolerierbaren Risiken in Wahrscheinlichkeits-Ausmass-Diagrammen stiess in den 1990-er Jahren auf Kritik. Die Darstellung tolerierbarer Risiken in F/N-Diagrammen berücksichtigt keine einheitlichen und oft keine explizit definierte Systemgrösse. Die Akzeptanzlinien in F/N-Diagrammen beurteilen

zumeist nur die Tolerierbarkeit einzelner Szenarien, ohne das gesamte Risikoprofil zu berücksichtigen. Zudem beziehen sie wirtschaftliche Überlegungen (Nutzen des Risikos, Kosten risikovermindernder Massnahmen) nur teilweise ein.

Diese Kritik führte zur Entwicklung des sog. Grenzkostenansatzes für die Darstellung tolerierbarer kollektiver Risiken. Risikovermindernde Massnahmen sollten bis zu dem Punkt ergriffen werden, bei dem die Kosten für einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn ein bestimmtes Mass überschreiten.

Schutzzielmatrices im Management von Naturrisiken

Weitgehend losgelöst von dieser Entwicklung wurden für den Umgang mit Naturrisiken qualitative Schutzzielmatrices entwickelt. Nach dem Hochwasser 1987 wurde im Kanton Uri in der Zentralschweiz eine erste Schutzzielmatrix für den Hochwasserschutz eingeführt (Uri, 1992). Diese Schutzziele wurden später für den Umgang mit allen gravitativen Naturgefahren erweitert (Borner, 1999) und sind zwischenzeitlich von verschiedenen Kantonen als Standard übernommen (z.B. Glarus, 2001).

Abb2: Schutzzielmatrix Naturgefahren (Richtlinien zum Schutz vor Naturgefahren. Kanton Glarus, 2001)

Fig2: Matrix of Protection Objectives against Natural Hazards (Guidelines on Protection against Natural Hazards, Kanton Glarus, 2001)

In diesen Matrices fliessen Nutzenüberlegungen und teilweise auch die Kosten risikovermindernder Massnahmen implizit ein durch die Abstufung des tolerierbaren Risikos nach Objektkategorien.

Seit einigen Jahren wird versucht, die für technische Risiken gebräuchlichen quantitativen Schutzzielumschreibungen auch für das Management von Naturrisiken zu übernehmen. Neue Darstellungen geben daher Grenzwerte für tolerierbare individuelle Risiken an und um-

schreiben tolerierbare kollektive Risiken durch Angaben zu Grenzkosten risikovermindernder Massnahmen (Planat, 2004). Sowohl Grenzwerte als auch Grenzkosten sind abgestuft nach der Freiwilligkeit oder Selbstbestimmung beim Eingehen des Risikos (sog. Risiko-Kategorien).

Schutzziele im schweizerischen Recht

Obwohl für das Management von Naturrisiken von zentraler Bedeutung, sind Schutzziele weder in der Verfassung noch in Gesetzen oder Verordnungen des Schweizerischen Bundes und der Kantone enthalten. Schutzziele relevant sind höchstens Artikel 19 des Schweizerischen Waldgesetzes (WaG, SR 921.0) und Artikel 1 des Schweizerischen Wasserbaugesetzes (WBG, SR 721.100), welche die staatlichen Pflichten und Massnahmen auf den Schutz von Menschen und erheblichen Sachwerten begrenzen. Erst auf der Regulationsstufe von Ausführungsbestimmungen, Richtlinien, Empfehlungen und Weisungen des Bundes und der Kantone liegen detaillierte Aussagen zu Schutzziele vor.

Die Rechtsprechung und die Rechtslehre anerkennen eine (staatliche) Schutzpflicht, die sich aus der Rechtsordnung und einer Schutzpflicht der Grundrechte wie Leben, persönliche Freiheit oder körperliche und geistige Unversehrtheit (Schweizerische Bundesverfassung Artikel 7 bis 36, BV, SR 101) ergibt. Gleichzeitig ist in der Rechtsprechung und Rechtslehre unbestritten, dass die Schutzpflicht begrenzt ist (Egli, 2002). Dies ergibt sich allein schon aus den faktisch begrenzten Mitteln des Staates (BGE 126 II 300 E. 5b). Es besteht somit eine Eigenverantwortung des Betroffenen. Schutzziele sind zudem von der jeweiligen Situation abhängig: In Fällen konkret erkennbarer und dringlicher Gefährdung bestehen höhere Sicherheitsanforderungen als bei abstrakten Gefahrenlagen ohne unmittelbar drohendes Ereignis.

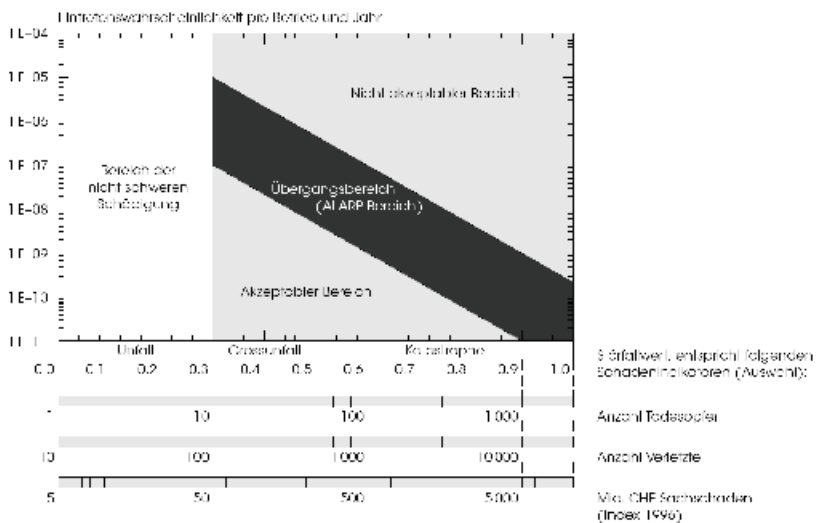


Abb3: F/N-Diagramm der schweizerischen Störfallverordnung (BUWAL, 1991).

Fig3: F/N-Diagramm in compliance to Swiss Ordinance against Hazardous Incidents (BUWAL, 1991).

Im (Umwelt-)Recht bedeutend ist das sog. Dreistufenkonzept „Untolerierbarer Bereich – ALARA-Bereich – tolerierbarer Bereich“ (Seiler, 1997). Das Dreistufenkonzept ist im Hand-

buch zur Störfallverordnung (BUWAL, 1991) in den F/N-Diagrammen mit Akzeptanzlinien, ebenso wie in zahlreichen internationalen Schutzzieldarstellungen umgesetzt (siehe Abb. 3).

Der in der Schweiz noch wenig verbreitete Ansatz des risikobasierten Rechts hat das Dreistufenkonzept in abgewandelter Form übernommen. Vom traditionellen Sicherheitsrecht mit seinen oft detaillierten Handlungsvorschriften zur Risikominderung unterscheidet sich das risikobasierte Recht dadurch, dass es sich auf die Vorgabe von Schutzziele beschränkt und die Wahl der Massnahmen zur Erreichung der Schutzziele den Rechtsunterworfenen überlässt (Seiler, 2000).

Ein verbreiteter Vorschlag derartiger Schutzzielvorgaben umfasst zwei Regeln (Seiler, 2000; Flueller und Seiler, 2003):

- *Regel 1:*
Begrenzung des maximalen individuellen Risikos (Grenzwert für das maximal akzeptierbare Todesfallrisiko);
- *Regel 2:*
(zusätzliche) Begrenzung des Kollektivrisikos (z.B. durch ein Grenzkostenkriterium).

SCHUTZZIELE ALS FRAGE DER GERECHTIGKEIT

Gerechtigkeits-theoretische Grundlagen

Schutzziele sollen das gesamte Risiko der Gesellschaft auf ein tolerierbares Mass reduzieren und gleichzeitig vermeiden, dass das Restrisiko für ein einzelnes Individuum untolerierbar wird. Die Tolerierbarkeit von Risiken ist somit einerseits eine Frage der Höhe des Risikos und andererseits eine Frage der Risikoverteilung in der Gesellschaft (Seiler, 1996; Flueller und Seiler, 2003). Wie Risiken in einer Gesellschaft verteilt werden, ist eine Frage der Gerechtigkeit. Was heisst „gerechte Risikoverteilung“?

Nach einer neueren Darstellung lassen sich unter den Gerechtigkeits-Theorien drei Grundrichtungen beschreiben (Konow, 2003):

- Gerechtigkeit nach dem Prinzip von *Gleichheit und Bedarf* (equality and need), welche Güter auf alle Mitglieder der Gesellschaft gleich verteilen möchte und damit vor allem auf das Wohl der schlechtestgestellten Mitglieder einer Gesellschaft ausgerichtet ist;
- Gerechtigkeit nach dem Prinzip von *Nutzen und Effizienz* (utilitarian and welfare economics), welche bei der Güterverteilung das Ergebnis und die Folgen ins Zentrum rückt und die Maximierung des Gesamtnutzens zum Ziel hat;
- Gerechtigkeit nach dem Prinzip von *Gleichmässigkeit, Verdienst und Zurechenbarkeit* (equity desert and attribution), welche die Güterverteilung vom Beitrag und der persönlichen Verantwortung des Einzelnen abhängig macht.

Als Teil der dritten Grundrichtung oder als eigenständige Ausrichtung gilt die Theorie, die auf dem Prinzip des *Kontextes* beruht. Nach diesem Prinzip hängt das Verständnis von Gerechtigkeit ab von der jeweiligen Situation der Risikobetroffenen (Vorgeschichte, Beteiligte, involvierte Güter, Gewohnheiten, Prozeduren). Ein häufig genannter Aspekt der Kontexttheorien ist die in der Gesellschaft verbreitete Orientierung an einem Referenzpunkt. Referenzpunkte sind Werte, an die sich die Beteiligten angepasst haben oder auf die sie sich mit Vereinbarungen oder gegenseitigem Einverständnis geeinigt haben. Veränderungen (Verluste oder Gewinne sowie Risiken oder Chancen) werden von diesem Referenzpunkt aus beurteilt (Kahnemann und Tversky, 1979; Plattner, 2005). Negative Abweichungen vom Referenz-

punkt (Verluste) werden dabei stärker gewichtet als positive (Gewinne). Dieser Unterschied wird als Verlustaversion bezeichnet.

Die verschiedenen Theorien werden oft gleichzeitig und vermischt angewendet. Der Gleichmässigkeitstheorie kommt dabei führende jedoch nicht alleinbestimmende Bedeutung zu. Güterzuteilungen und damit sinngemäss auch die Verteilung von Risiken werden als besonders fair empfunden, wenn sie in direktem Zusammenhang mit Faktoren stehen, die beeinflussbar sind. Beeinflussbar sind persönliche Beiträge und Entscheidungen (effort, choice), nicht beeinflussbar sind Herkunft (birth), Pech (brute luck) und risiko-irrelevante Entscheidungen (choices that do not affect productivity) (Konow 2003).

Die erwähnten Theorien sind in erster Linie auf gerechte Behandlung von Einzelpersonen in der Gesellschaft (Personalität) ausgerichtet. Diese Sichtweise blendet den wesentlichen Aspekt der Umweltethik aus, nämlich die Vernetzung der Einzelperson mit der Gesellschaft und der Umwelt (Retinität) (RSU, 1994). Nach gängiger Praxis und Rechtsordnung ist diesem Aspekt im Management von Naturrisiken ebenfalls zentrale Bedeutung zuzumessen.

Prinzipien für die Festlegung von Schutzziele

Aus den dargelegten Theorien lassen sich fünf Prinzipien für die Festlegung von Schutzziele ableiten, welche das Handeln im Management von Naturrisiken lenken können:

- *Bedarf*: Schutzziele sollen von der Art und Bedeutung verletzbarer Werte – im Recht als Rechtsgüter bezeichnet – namentlich Leib, Leben und Gesundheit, Vermögen, Einrichtungen des öffentlichen Lebens, Lebensqualität und Umwelt abhängen;
- *Einfluss*: Schutzziele sollen dem Mass der Selbstbestimmung (Freiwilligkeit) und dem Nutzen für die risikobetroffene Person Rechnung tragen;
- *Kontext*: Schutzziele sollen Aspekte der Standortgebundenheit und der Verlustaversion berücksichtigen;
- *Effizienz*: Schutzziele sollen von der Effizienz risikomindernder Massnahmen abhängen;
- *Vernetzung*: Schutzziele sollen von der Umwelt- und Sozialverträglichkeit risikomindernder Massnahmen mitgeprägt sein.

OPERABILITÄT VON SCHUTZZIELEN

Anforderungen an die operationelle Eignung

Schutzziele bezwecken – wie bereits dargelegt - eine wirtschaftlich optimale Reduktion von Risiken und gleichzeitig eine möglichst gerechte Verteilung der Restrisiken auf die Mitglieder der Gesellschaft. Die operationelle Eignung von Schutzziele beschränkt sich daher nicht auf Eignung für einzelne Riskosituationen, sondern misst sich am Anspruch der Einsetzbarkeit für das regionale Risikomanagement. Grundvoraussetzungen hierfür sind die Berücksichtigung aller relevanten Risiken, die Beachtung aller massgeblichen Gerechtigkeitsprinzipien, die Messbarkeit und Vergleichbarkeit der tolerierbaren Risiken sowie die Anbindung der Schutzziele an grossräumig vorhandene oder einfach zu beschaffende Informationen.

Lücken bei den Informationsgrundlagen

Grossräumig liegen Informationen zur Raumnutzung weitgehend vor (Zonenpläne, Schadenpotenzialkarten). In vielen Gebieten sind heute zudem Angaben zur Gefährdungslage vorhanden (Gefahrenkarten).

Bezüglich Messbarkeit und Vergleichbarkeit der tolerierbaren Risiken bestehen jedoch bedeutende Lücken: Gefahren sind hinsichtlich Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit oft ungenügend erkannt und erkennbar. Ebenso sind die durch Gefahrenprozesse bewirkten Effekte (z.B. spezifisches Schadenausmass) ungenügend erforscht und quantifiziert. Das Vorliegen und die Relevanz eines Schadens und damit die Bestimmbarkeit eines Risikos sind einzelfallbezogen (subjektiv) und lassen sich grundsätzlich nicht verallgemeinern (Berg, 1994). Was den einen zum Schaden gereicht, kann anderen einen Nutzen bringen. Die Messbarkeit eines Schadens als Voraussetzung für die Berechenbarkeit eines Risikos ist in vielen Fällen nicht gegeben, vor allem, wenn gesellschaftliche Institutionen, ökologische Werte oder die Lebensqualität betroffen sind.

Schliesslich fehlen allgemeine Angaben zur Wirksamkeit von Risikoverminderungsmassnahmen. Dies erfordert – soweit überhaupt ermittelbar – umfangreiche Abklärungen im Einzelfall.

Operationelle Eignung bekannter Schutzziel Darstellungen

Von Interesse ist die Frage, wie weit die heute im Management von Naturrisiken bekannten Schutzziele sich angesichts der erwähnten Anforderungen an das regionale Risikomanagement eignen (vgl. Abb. 4).

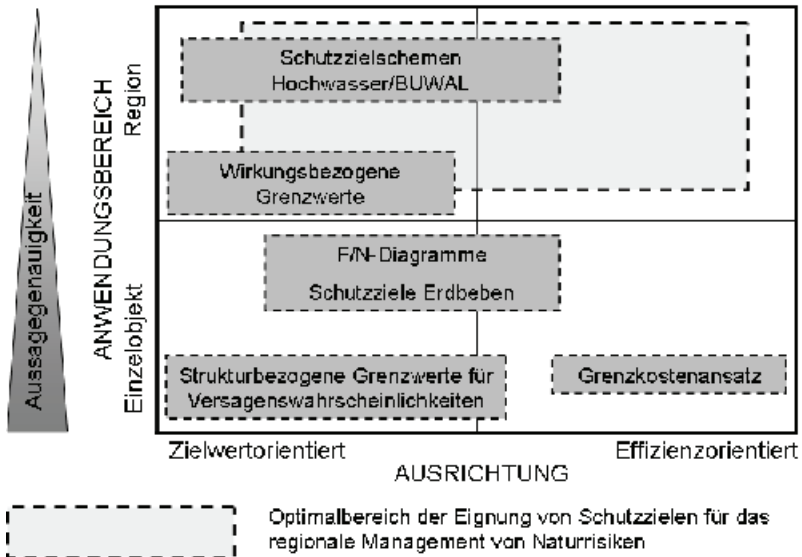


Abb4: Schutzziel-Darstellungen und Anforderungen an das regionale Management von Naturrisiken
Fig4: Protection objectives and requirements of regional management of natural risks

Die meisten Schutzzieldarstellungen, namentlich die Angaben zu Grenzwerten und Grenzkosten fokussieren auf die am besten messbaren verletzbarsten Werte (menschliches Leben und Vermögen). Sie bilden daher nur einen Teil des tolerierbaren Risikos ab. Grenzwertangaben zum tolerierbaren Risiko blenden den Aspekt der Effizienz risikovermindernder Massnahmen aus. Diesem Mangel unterliegen auch weitgehend die im Management von Naturrisiken verbreitet angewendeten Schutzzielmatrices. Auf Grenzkosten basierende Schutzziele fokussieren demgegenüber auf effizienzorientiertes Risikomanagement. Deren Anwendung setzt Wissen nicht nur über die Risiken, sondern auch über die (örtlichen) Optionen der Risikoverminderung voraus. Diese Kenntnisse fehlen weitgehend, womit mit dem heutigen Wissensstand grenzwertbasierte Schutzziele auf regionaler Ebene kaum einsetzbar sind.

GERECHTIGKEITSORIENTIERTE UND OPERATIONELLE SCHUTZZIELE

Grundzüge

Basierend auf diesen Erkenntnissen schlagen wir gerechtigkeitsorientierte und operationelle Schutzziele nach folgenden Grundsätzen vor:

- Anwendung des Zwei-Regel-Ansatzes gemäss risikobasiertem Recht, d.h. Begrenzung des maximalen individuellen Risikos und (zusätzliche) Begrenzung des Kollektivrisikos (vgl. Kapitel 1.3 oben);
- Aufbau auf grossflächig vorhandenen Informationen, namentlich Schadenpotenzialkarten und Gefahrenkarten;
- Bestmögliche Messbarkeit/Nachvollziehbarkeit;
- Anwendung aller Schutzziel-Prinzipien zur Begrenzung des Kollektivrisikos;
- Partizipative Schutzziel festlegung.

Der Vorschlag wird zur Zeit im Rahmen einer Disseration vertieft und an Fallbeispielen getestet.

Schritt 1: Eliminierung untolerierbarer individueller Risiken

Dem oben erwähnten Zwei-Regel-Ansatz folgend sind in *Schritt 1* untolerierbare individuelle Risiken zu eliminieren. Zur Beschreibung individueller Risiken eignen sich Grenzwerte. Der heutige Wissensstand erlaubt es nur, zu den verletzbarsten Werten „Menschenleben“ und „Vermögen“ quantitative Angaben zu machen. Der Vorschlag beschränkt sich somit auf die Schadenindikatoren Todesfälle und Geldwerte.

Tab1: Schutzziele zur Begrenzung des maximalen individuellen Risikos

Tab1: Protection objectives to limit individual risk

Risikokategorie	Objekt-Index (Bedarf, Einfluss und Kontext)	Schutzziele	
		Maximal tolerierbares individuelles Todesfallrisiko pro Jahr	Maximal tolerierbares Sachrisiko in Franken pro Jahr (für Kt. OW, CH)
1	1-333	10^{-2}	Fr. 30'000.--
2	333 - 666	10^{-3}	Fr. 25'000.--
3	> 666	10^{-4}	Fr. 20'000.--

Die maximal tolerierbaren Risiken sind nach Kategorien abgestuft (vgl. Tab. 1). Die Zuordnung zu den Risikokategorien erfolgt durch eine Bewertung der Objektarten der Schadenpotenzialkarte. Bewertet werden verschiedene Kriterien zu den Schutzzielprinzipien *Bedarf* (Art der betroffenen Rechtsgüter, Bedeutung der betroffenen menschlichen Bedürfnisse), *Einfluss*

(Fremdbestimmung, Drittnutzen) und *Kontext* (Standortgebundenheit, Bestandsschutz, Verlustaversion). Die Kriterien werden jeweils mit einem Index von 1 – 10 bewertet. Die Summe der Bewertungen wird auf eine Spannweite von 1 bis 1000 skaliert (geringster Wert entspricht 1, höchster Wert entspricht 1000). Mit dieser Spannweite wird die empirische Abstufung des „Freiwilligkeitsfaktors“ von 1:1'000 nachgebildet (Schneider, 1996).

Als Grenzwerte formulierte Schutzziele sind zu erreichen, ungeachtet des Aufwandes, der zur Zielerreichung erforderlich ist. Diese Schutzziele klammern somit den Aspekt der Effizienz aus. Um Effizienz in der Risikoverminderung trotzdem zu wahren, wurden die Grenzwerte für das maximal tolerierbare individuelle Risiko im Vergleich zu ähnlichen Angaben in der Literatur hoch angesetzt (vgl. Tab. 1). Allgemein darf nämlich angenommen werden, dass Risikoverminderung vor allem im Bereich hoher Risiken besonders effizient ist.

In der Risikokategorie 3 soll das tolerierbare individuelle Todesfallrisiko nicht höher als 10^{-4} /Jahr liegen. Die Risiken dieser Kategorie stehen in Verbindung mit der Sicherung körperlicher Grundbedürfnisse und weisen minimale Beeinflussbarkeit sowie hohe Standortgebundenheit auf. Der Wert von 10^{-4} /Jahr entspricht dem Todesfallrisiko aus der Summe aller Ursachen für die Altersklasse mit der geringsten Sterblichkeitsrate, nämlich jene der 10-14-Jährigen. (Flueler and Seiler, 2003). Dieser Wert gilt gemäss zahlreicher Literaturangaben auch für maximal zulässige individuelle Todesfallrisiken am Arbeitsplatz (Bienz, 2000).

Für Risikosituationen ohne Bezug zur Sicherung körperlicher Grundbedürfnisse, mit hoher Beeinflussbarkeit und geringer Standortgebundenheit wird das maximal tolerierbare individuelle Todesfallrisiko bei 10^{-2} angesetzt. Dieser Wert entspricht verbreiteten Angaben in der Literatur für vollkommen freiwillige Risiken (u.v.a. Merz et al., 1995) und etwa dem mittleren individuellen Todesfallrisiko aus der Summe aller Ursachen für alle Altersklassen (mittlere natürliche Sterbewahrscheinlichkeit).

Bei den Sachrisiken sind Risikokosten (Schäden und Elementarversicherungsprämien) zu vermeiden, welche das durchschnittliche Volkseinkommen unter das Einkommen reduzieren, das einem Existenzminimum entspricht. Es wird dabei von mittleren Verhältnissen ausgegangen. Individuelle wirtschaftliche Verhältnisse bleiben aus Gründen der Datenverfügbarkeit, aber auch aus prinzipiellen Gründen eines objektivierenden und rechtsgleichen Risikomanagements unberücksichtigt. Die Anwendbarkeit dieses Ansatzes beschränkt sich auf Privathaushalte, namentlich Wohngebäude und Landwirtschaftsbetriebe, da für andere Arten von Schadenobjekten, z.B. Industriebetriebe, keine allgemeingültigen Angaben zu Existenzminima bekannt oder eruierbar sind. Den berücksichtigten Objektkategorien kommt somit eine Indikator-Funktion zu. Die in Tab. 1 dargestellten Werte wurden aufgrund von Angaben zum primären Einkommen pro Kopf der Bevölkerung (Zahlen 2004 aus BFS, 2007 für Kanton OW, Schweiz) und den Einkommensverhältnissen im Fall des Existenzminimums (SKOS, 2005) abgeschätzt. Der Wert für Risikokategorie 1 ist so angesetzt, dass das absolute Existenzminimum, welches dem verfassungsmässigen Recht auf Hilfe in Notlagen (Art. 12 BV, SR 101) entspricht (SKOS, 2005), nicht unterschritten wird.

Aus dem Vergleich zwischen den errechneten individuellen Risiken und den erwähnten Grenzwerten ergeben sich die Schutzdefizite, welche schliesslich den Handlungsbedarf in *Schritt 1* aufzeigen. Zur Risikoverminderung sind Massnahmen mit möglichst optimaler Effizienz sowie Umwelt- und Sozialverträglichkeit einzusetzen. Zur Unterstützung der Massnahmenwahl wurden die verbreitetsten Risikoverminderungsmassnahmen nach Kriterien der Schutzzielprinzipien *Effizienz* und *Vernetzung* bewertet (Massnahmen-Index).

Schritt 2: Begrenzung kollektiver Risiken

In *Schritt 2* wird in einer semiquantitativen Prozedur eine *Prioritätenliste* erstellt, welche unter Berücksichtigung aller Schutzzielprinzipien eine möglichst optimale Reihenfolge der Risikostellen aufzeigt, an denen Massnahmen zur Risikoverminderung ergriffen werden sollen. Die bereits in Schritt 1 erfolgte Bewertung der Risikoobjekte nach Kriterien zu den Schutzzielprinzipien Bedarf, Einfluss und Kontext (Objekt-Index) wird mit einem Gefährdungsfaktor zu einem gefährdungsbereinigten Objekt-Index aufgerechnet (vgl. Abb. 5). Der Gefährdungsfaktor stellt die Abstufung der Risiken dar, die sich bei unterschiedlichen Gefahrenstufen und Gefahrenprozessen ergeben.

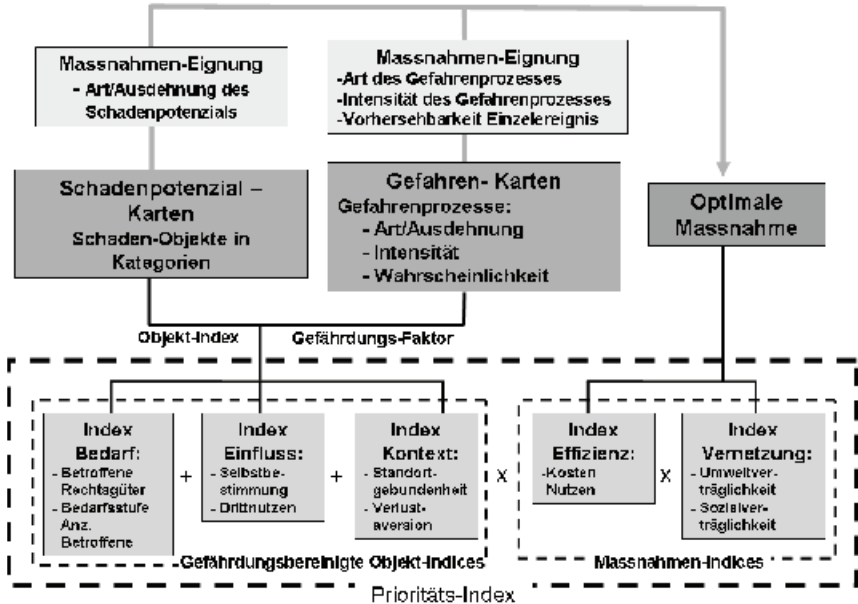


Abb5: Ermittlung eines Prioritätsindex aufgrund der Schutzzielprinzipien und auf Basis von Schadenpotenzial- und Gefahrenkarten

Fig5: Evaluation of a Priority-Index, basing on damage potential and hazard maps

Aufgrund schadenobjekt- und gefahrenspezifischer Merkmale wird pro Gefahrenquelle (z.B. pro Lawenzug oder Wildbach) eine möglichst geeignete (optimale) Massnahme ermittelt (vgl. Abb. 5).

Der gefahrenspezifische Objekt-Index wird mit dem ebenfalls schon in Schritt 1 erwähnten Massnahmen-Index aufgerechnet und kann pro Gefahrenquelle oder pro definierte Flächeneinheit zu einem Prioritätsindex aufsummiert werden. Anhand des Prioritätsindex kann nun eine Rangliste der Risikogebiete erstellt werden, in denen Massnahmen zu treffen sind. Der Umfang der Risikoverminderungsmassnahmen in den einzelnen Risikogebieten kann anschliessend anhand detaillierterer Abklärungen, z.B. auch Grenzkostenbetrachtungen ermittelt werden.

Partizipative Projektplanung

Wie im Kapitel 2.1 dargelegt, trägt der Umstand, dass Betroffene auf Entscheide oder eine gemeinsame Festlegung von Werten Einfluss nehmen können, wesentlich dazu bei, ob und inwieweit eine Verteilung von Gütern oder Risiken als fair empfunden wird. Die Bedeutung eines expliziten und systematischen Einbezugs der Betroffenen in die Planung von Projekten wird zunehmend erkannt. In den letzten Jahren wurden interessante methodische Ansätze wie LearnRisk/Riskplan (Greminger et al., 2005) oder ein Handbuch für partizipative Planung von Wasserbauprojekten (Hostmann et al., 2005) entwickelt. Neuere Bestimmungen zur öffentlichen Förderung von Schutzbauten unterstützen ausdrücklich eine partizipative Projektplanung (BAFU, 2007).

Der oben beschriebene Vorschlag eignet sich gut für einen partizipativen Planungsprozess. Beispielsweise kann die Bewertung der Kriterien zu den einzelnen Schutzzielprinzipien oder insbesondere die Gewichtung der einzelnen Schutzzielprinzipien für die Entscheidungsfindung unter Mitwirkung der Beteiligten erfolgen. Ebenso können die Beteiligten partizipativ entscheiden, bis zu welcher Priorität noch Massnahmen ergriffen werden sollen. Das Gedankenmodell erlaubt es, die Diskussion unter den Betroffenen und Projektbeteiligten transparenter zu gestalten und systematisch zu strukturieren.

SCHLUSSFOLGERUNG

Die aus gerechtigkeits-theoretischen Grundlagen abgeleiteten Schutzziele versprechen einen Beitrag zur Verbesserung des regionalen Risikomanagements. Die Schutzziele werden im Vergleich zu den bisherigen pragmatischen Schutzzielvorgaben auf eine breitere und wissenschaftlichere Basis gestellt. Die schon früher praktizierte Zuordnung von Risikosituationen zu Kategorien („Freiwilligkeitsklassen“) erfolgt nachvollziehbarer aufgrund festgelegter Kriterien und Prinzipien. Ein auf fünf Schutzzielprinzipien abgestützter Vorschlag erlaubt eine regionale Priorisierung von Projekten, welcher nicht nur die Sicherheitsdefizite, sondern auch die Effizienz sowie die Umwelt- und Sozialverträglichkeit von Risikoverminderungsmassnahmen berücksichtigt. Ausserdem kann der Einbezug der Betroffenen mit dem Ansatz besser strukturiert erfolgen. Weitere Forschungsarbeiten i) zur Quantifizierung von Effekten der Einwirkung von Gefahrenprozessen, ii) zur Erfassung und Quantifizierung von Schäden in den Bereichen Umwelt und Gesellschaft, und iii) zur Wirksamkeit sowie Sozial- und Umweltverträglichkeit von Risikoverminderungsmassnahmen sind erforderlich, um den Ansatz und das Management von Naturrisiken insgesamt substanziell zu verbessern.

LITERATUR

- BAFU (2007). Fachspezifische Erläuterungen zur Programmvereinbarung im Bereich Schutzbauten und Gefahrengrundlagen. Handbuch NFA. G. Bundesamt für Umwelt, Bern, Bundesamt für Umwelt, Gefahrenprävention: 51 S.
- Berg, M. e. a. (1994). Was ist ein Schaden? Zur normativen Dimension des Schadensbegriffes in der Risikowissenschaft. Zürich, vdf.
- Bienz, A. F., Niederhäuser, F.R. (2000). Sicherheitskonzept für den Umgang mit Munition und Explosivstoffen in Armee und Militärverwaltung. Bern, Stämpfli Verlag AG, Bern.
- Borter, P. (1999). Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Methode/Fallbeispiele und Daten. Umweltmaterialien Naturgefahren. BUWAL. Bern.
- Bundesamt für Statistik BFS (2007). Taschenstatistik der Schweiz 2007. BFS. Bern: 36 S.
- BUWAL (1991). Handbuch I zur Störfallverordnung, StfV. Richtlinien für Betriebe mit Stoffen, Erzeugnissen oder Sonderabfällen: 74 S.

- Egli, P. (2002). Drittwirkung von Grundrechten - zugleich ein Beitrag zur Dogmatik der grundrechtlichen Schutzpflichten im Schweizer Recht. Zürich, Schulthess Juristische Medien AG.
- Farmer, F. R. (1967). "Siting Criteria - A New Approach." Journal of the British Nuclear Energy Society 6(3): 219.
- Flueler, T. and H. Seiler (2003). "Risk-based regulation of technical risks: lessons learnt from case studies in Switzerland." Journal of Risk Research 6(3): 213-231.
- Greminger, P. et al. (2005). RiskPlan & LearnRisk - Pragmatisches Risikomanagement - Im Dialog zu mehr Sicherheit. BABS, BUWAL, BWG. Bern.
- Hostmann M., B. M., Ejderyan O., Geiser U., Junker B., Schweizer S., Truffer B. & Zaugg and S. M. (2005). Wasserbauprojekte Gemeinsam Planen - Handbuch für die Partizipation und Entscheidungsfindung bei Wasserbauprojekten. W. Eawag, LCH-EPFL, VAW-ETHZ. Kastanienbaum: 48 S.
- Kahnemann, D., Tversky, A. (1979). "Prospect Theory: an analysis of decision under risk." Econometrica 47(2): 263-291.
- Kanton Glarus (2001). Richtlinien zum Schutz vor Naturgefahren: 4 + 1 Appendix.
- Kanton Uri (1992). Richtlinie für den Hochwasserschutz: 17 p.
- Konow, J. (2003). "Which is the fairest one of all? A positive analysis of justice theories." Journal of Economic Literature 41(4): 1188-1239.
- Merz, H. A., Schneider Th., Bohnenblust, H. (1995). Bewertung von technischen Risiken, Beiträge zur Strukturierung und zum Stand der Kenntnisse, Modelle zur Bewertung von Todesfallrisiken. Zürich, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- PLANAT (2002). Vision und Strategie - Sicherheit vor Naturgefahren. Nationale Plattform Naturgefahren. Davos: 26 p.
- PLANAT (2004). Strategie Naturgefahren Schweiz - Synthesebericht. Umsetzung des BRB vom 20. August 2003. PLANAT. Davos, SLF: 86 S.
- Plattner, T., Hollenstein, K., Heinimann, H.R. (2005). Risikobewertung bei Naturgefahren - Schlussbericht. ETH. Zürich, PLANAT: 85 pp.
- RSU, Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1994). Umweltgutachten 1994. Stuttgart etc., Kohlhammer später Metzler-Poeschel.
- Schneider, J. (1996). Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. Zürich und Stuttgart, vdf, Hochschulverlag an der ETH Zürich und Teubner 1996.
- Seiler, H. (1996). "The legal implementation of regional safety planning: Taking into account the risk based regulation approach." International Journal of Technology Management 12(4): 438-448.
- Seiler, H. (1997). Recht und technische Risiken, Grundzüge des technischen Sicherheitsrechts. Zürich, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- Seiler, H. (2000). Risikobasiertes Recht, wie viel Sicherheit wollen wir? Risk based regulation - ein taugliches Konzept für das Sicherheitsrecht? Bern, Stämpfli.
- SKOS (2005). Richtlinien für die Ausgestaltung und Bemessung der Sozialhilfe. Bern, Schweizerische Konferenz für Sozialhilfe: 169 S.

GESETZESGRUNDLAGEN

- Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999, SR 101
- Waldgesetz (1991). Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (Waldgesetz, WaG). SR 921.0
- Wasserbaugesetz (1991). Bundesgesetz vom 21. Juni 1991 über den Wasserbau. SR 721.100

TECHNISCHER OBJEKTSCHUTZ STAND DER TECHNIK UND KÜNFTIGE ANFORDERUNGEN

LOCAL STRUCTURAL PROTECTION MEASURES STATE OF THE ART AND FUTURE NEEDS

Markus Holub¹

ZUSAMMENFASSUNG

Während der letzten Jahrzehnte nahmen die Siedlungsaktivitäten in europäischen Bergregionen stetig zu. Aufgrund fehlender Flächen, die für eine dauerhafte Besiedlung geeignet wären, wurden Siedlungen und Infrastruktureinrichtungen in Bereiche erweitert, die im Allgemeinen eine beträchtliche Verwundbarkeit der dort akkumulierten Vermögenswerte gegenüber alpinen Naturgefahren aufweisen. Integrale Risikomanagementstrategien können als wertvolles Instrument zur Beurteilung und Reduktion des Schadenspotenzials derartiger Vermögenswerte betrachtet werden. Hierbei sind unter anderem Technische Objektschutzmaßnahmen als Mittel zur Risikoreduktion zu nennen. Im vorliegenden Dokument werden zahlreiche – zumeist technisch einfach zu realisierende und im Verhältnis der Gesamtbaukosten von Gebäuden kostengünstige – Methoden von Objektschutzmaßnahmen aufgezeigt. Unter Berücksichtigung unterschiedlicher alpiner Gefahrenprozesse und den konstruktiven Elementen von Objekten wird ein Bautypenkatalog von Objektschutzmaßnahmen präsentiert, der sich an auftretenden Prozesswirkungen und definierten Schutzziele orientiert. Dabei werden verschiedenste konstruktive Maßnahmen sowohl zum Schutz von Neubauten als auch zur Nachrüstung von bereits bestehenden Objekten empfohlen. Auf Grundlage dieser Empfehlungen wird der zukünftige Bedarf nach einer nachhaltigen Reduktion des Risikos in von Massenbewegungen gefährdeten Siedlungsbereichen betont und Schritte für eine künftig forcierte Implementierung von Objektschutzmaßnahmen angeregt.

Keywords: Integrales Risiko-Management, Vulnerabilität, Technische Schutzmaßnahmen, Technischer Objektschutz, Bauvorschriften

ABSTRACT

During the last decades, settlement activities increased in European mountain regions. Due to the scarceness of areas suitable for development, residential estates were extended into areas endangered by natural hazards such as mass movements. These settlements generally show a considerable vulnerability to tangible assets.

Integral risk management strategies to reduce the vulnerability to tangible assets are presented for the assessment of such endangered areas. According to different natural hazard processes and various structural elements of buildings, a catalogue of local structural measures is

¹ Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien, Peter Jordanstrasse 82, 1190 Wien, Austria (Telefon: +43-1-47654-4350, Fax: +43-1-47654-4390, email: markus.holub@boku.ac.at)

presented with respect to occurring process impacts and protection objectives. Thereby, different local structural measures are classified and recommended according to a possible implementation for newly-erected buildings and for upgrading existing buildings, respectively. Based on these recommendations, future needs for a sustainable and comprehensive reduction of risk in settlement areas endangered by mass movements are outlined.

Keywords: Integral risk management, vulnerability, technical mitigation measures, local structural measures, building codes

EINLEITUNG

Während der letzten Jahrzehnte konnte eine ständig wachsende Siedlungstätigkeit in den europäischen Alpenregionen beobachtet werden. In Österreich stieg dabei der durchschnittliche Flächenverbrauch pro Person von 22 m² (1972) auf 38 m² (2001) an, obwohl lediglich 37,2% des österreichischen Staatsgebietes zur Dauerbesiedlung geeignet ist (Statistik Österreich, 2004). Parallel zu dieser Entwicklung ist eine stetige Zunahme von Schäden, hervorgerufen durch Naturgefahren, zu beobachten. Diese Entwicklung kann mit der Tatsache in Zusammenhang gebracht werden, dass sich Siedlungen immer weiter in Regionen ausdehnen, die zur Besiedlung nur bedingt oder gar nicht geeignet sind und daher die dort akkumulierten Werte Naturgefahren gegenüber besonders exponiert sind (Munich Re, 2007). Parallel zur Entwicklung der Flächenwidmungsplanung in der Mitte der 1970er wurden erstmals Gefahrenzonenpläne erstellt, um die Siedlungstätigkeit in gefährdeten Bereichen kontrollieren bzw. verhindern zu können (Länger, 2005). Derartige Gefahrenzonenpläne dienen nicht nur der Steuerung der Siedlungstätigkeit, sondern werden auch als Planungsgrundlage für konventionelle Verbauungsmaßnahmen zum Schutz gegen alpine Naturgefahren herangezogen. Da aber Verbauungsmaßnahmen generell keine hundertprozentige Zuverlässigkeit und damit vollständige Sicherheit bieten können, bleibt ein Restrisiko für Gebäude, Infrastruktur und Personen bestehen (Fell, 1994; BMLFUW, 2006). Vielmehr zeigen die Erfahrungen der letzten Jahre, dass exponierte Werte und räumliche Planung zunehmend innerhalb des Rahmens der Reduktion von Schäden durch Naturgefahren berücksichtigt werden sollten (Kanonier, 2006). Um diesem Ziel zu entsprechen, scheinen integrale Risikomanagementstrategien, und hier im speziellen Konzepte zum Schutz einzelner Objekte durch konstruktive Maßnahmen (Technischer Objektschutz) bzw. angepasste Nutzung dieser Objekte, bestens geeignet das Schadenspotenzial von Gebäuden und Infrastruktur gegenüber Naturgefahren zu reduzieren und Konzepte für eine erhöhte Widerstandsfähigkeit zu entwickeln (Holub und Hübl, 2008).

TECHNISCHER OBJEKTSCHUTZ - GRUNDLAGEN ZUR UMSETZUNG

Die Prinzipien zur Planung und Durchführung von Objektschutzmaßnahmen um die Verletzlichkeit gegenüber Naturgefahren zu reduzieren, sind weder technisch hoch entwickelt noch sehr innovativ. Vielmehr folgt die Entwicklung von Technischem Objektschutz im Allgemeinen mehr der "nachträglichen Erkenntnis nach einer Katastrophe als der Vorausplanung zur Prävention" und wird zumeist mehr "auf Grundlage von einzelnen Erfahrungen als auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhend" vorangetrieben (IBHS, 2005). Häufig jedoch werden die Möglichkeiten von Objektschutzmaßnahmen unterschätzt

und geraten der Weisheit zu folge, dass billige Lösungen nicht wirksam sein können, in Vergessenheit.

Einige Grundprinzipien sollten für die Durchführung von Objektschutzmaßnahmen zwingend berücksichtigt werden:

1. Kenntnis der Interaktionen aller potenziellen Gefahrenprozesse innerhalb des betroffenen Bereichs ist erforderlich (Multifahr- und Multirisikoansatz).
2. Raumplanerische Maßnahmen sollten technischen Maßnahmen vorgezogen werden. Die wirksamste Art das Schadenspotenzial niedrig zu halten besteht in der Freihaltung exponierter Flächen.
3. Permanente (fix installierte) Maßnahmen sind temporären (mobilen) Lösungen vorzuziehen. Da alpine Naturgefahren zumeist hohe Prozessgeschwindigkeiten aufweisen und daraus äußerst kurze Vorwarnzeiten resultieren, bleibt in den seltensten Fällen Zeit zur Montage von mobilen Schutzeinrichtungen wie z.B. Dammbalkensystemen.
4. Schäden an Dritten sind zu vermeiden, daher darf Technischer Objektschutz keine negativen Auswirkungen für angrenzende Grundstücke oder Unterlieger verursachen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Ziele Technischen Objektschutzes die Begrenzung des Schadenspotenzials von Objekten sowie die Verhinderung von Schäden für Dritte bzw. an der Umwelt verfolgen (Egli, 1999, 2002). Das Wissen um Gefahrenprozesse und ihre korrespondierenden Lastfälle, die Machbarkeit einzelner Objektschutzmaßnahmen wie auch die Wirkung der Kombination einzelner Maßnahmen sind für die Effektivität von Technischem Objektschutz entscheidend.

BAUTYPENKATALOG VON OBJEKTSCHUTZMASSNAHMEN

Der folgende Katalog von in Europas Alpenregionen verwendeten Objektschutzmaßnahmen stellt einen Überblick über vorhandene und bewährte Schutztechniken dar und kann künftig dazu beitragen, die Robustheit von Gebäuden und Infrastruktureinrichtungen gegenüber Naturgefahren zu erhöhen. Folglich kann der Katalog – speziell für Planer und Praktiker – ein wertvolles Werkzeug sein, um die Schadanfälligkeit von Objekten zu reduzieren. Vor der Umsetzung von technischem Objektschutz sollten einige Grundlagen, speziell in Hinblick auf die Klassifizierung von derartigen lokalen strukturellen Maßnahmen berücksichtigt werden.

Klassifikation von Objektschutzmaßnahmen

Objektschutzmaßnahmen können auf verschiedene Weisen klassifiziert werden. Nachstehend sind die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale angeführt:

- Gefährdungsprozess
- Wirkungsdauer (permanent – temporär)
- Lage der konstruktiven Maßnahme (direkt am oder um das Objekt)
- Maßnahme am Neubau oder Nachrüstung am Bestand
- Konstruktionsmaterialien (Stahlbeton, Stahl, (Rund-)Holz, Erde ...)

Unter Berücksichtigung der potenziellen Gefährdungsbilder zeigen verschiedene Baumaterialien verschiedenes Verhalten unter Lasteinwirkung. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über gängige Baustoffe bzw. Produkte und deren Eignung für verschiedene Prozesseinwirkungen.

Im Folgenden wird getrennt nach Gefährdungsprozess das jeweilige Gefährdungsbild mit der korrespondierenden Leitschadwirkung gezeigt. Resultierend daraus werden entsprechend dem

definierten Schutzziel mögliche Objektschutzmaßnahmen aufgelistet, die die Erfüllung des Schutzzieles erlauben.

Tab. 1: Widerstandsfähigkeit von Baumaterialien gegenüber Naturgefahren (Hübl et al., 2006)
Tab. 1: Resistance of conventional construction materials to natural hazards (Hübl et al., 2006)

	<i>Widerstandsfähigkeit gegen</i>			
	<i>Lawinen</i>	<i>Muren</i>	<i>Steinschlag</i>	<i>Wasser</i>
<i>Baustoffe oder Ausführungsformen</i>				
Schüttmaterial - Erde	++	--	o	o
Steinmauerwerk	o	o	o	++
Mauerwerk	o	o	o	++
Beton	++	o	++	++
Stahlbeton	++	++	++	++
Holz *)	++	++	++	o
Stein	o	o	o	o
Stahl	++	++	++	++
<i>Wände</i>				
Kalksandstein	o	--	--	++
gebrannte Vollziegel	o	o	o	++
Hochlochziegel	o	o	o	o
Klinker	o	o	o	++
Beton	++	++	++	++
Gasbeton	--	o	o	o
Holz *)	o	o	o	o
Holz-Blockbauweise	++	++	++	o
Holzfachwerke - Fertigteil-(FT)-Häuser	--	--	--	o
Stahlbetonelemente - (FT)-Häuser	o	o	o	++
Glasbausteine	o	o	o	++
<i>Fenster</i>				
Holz *)	++	++	o	o
Kunststoff	o	o	o	++o
Aluminium	++	++	++	++
verzinkter Stahl	++	++	++	++
<i>Fensterbänke</i>				
Marmor	++	o	o	--
sonstiger Naturstein	++	o	o	++
Holz *)	++	o	o	o
beschichtetes Aluminium und Metall	++	++	++	++
Sandstein	++	o	o	--
Schiefer	++	o	o	o
<i>Türen</i>				
Holzargen / Holzstöcke	o	o	o	--
Metallargen	++	++	++	++
Holztüren *)	++	++	++	--
Edelstahltüren	++	++	++	++
<i>Treppen</i>				
Beton	++	++	++	++
Vollholz	o	o	o	o
verzinkte Stahlkonstruktion	o	o	o	++
Massivtreppen aus Naturstein	o	o	o	++

*) Die Bewertung beruht auf einer massiven - robusten Konstruktionsform.
 Die Widerstandsfähigkeit wird wesentlich von der Konstruktion beeinflusst.

Bautypenkatalog – Statische und dynamische Überflutung sowie fluvialer Feststofftransport

Lastfälle, die sowohl von Oberflächenabfluss außerhalb eines Gerinnes als auch von statischer oder dynamischer Flut, begleitet von Geschiebetransport bzw. Transport einzelner Feststoffe herrühren können, gefährden die Stabilität des Gebäudes (Abbildung 1). Neben Auftrieb durch das Grundwasser und Erosionsprozesse, die ebenfalls die Standfestigkeit des Objektes beeinflussen, führt der Eintritt von Wasser, Schmutz und Geschiebe durch Gebäudeöffnungen (auch Leitungsdurchführungen und Kanalsystem) im Gebäudeinneren zu großen Schäden. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die zahlreichen Objektschutz-Möglichkeiten zur Reduktion oder Verhinderung derartiger Schäden.

Berücksichtigt man Tabelle 2, so wird offensichtlich, dass mannigfaltige Objektschutz-Maßnahmen sowohl für Neubauten als auch zur Nachrüstung bestehender Bauten zur

Verfügung stehen. Eine Auswahl bewährter Bautypen wie z.B. erhöhte Bauweisen und Schutz von Gebäudeöffnungen zeigen Abbildung 2 bis Abbildung 4.

Tab. 2: Objektschutzmaßnahmen gegen Hochwasser entsprechend der Leitschadwirkung.

Tab. 2: Local structural measures with respect to possible impacts of floods.

Leitschadwirkung	Schutzziel	Objektschutzmaßnahme	Neubau	Bestand	
Wassereintritt in das Objekt	Schadlose Ableitung des Hochwassers	Gartengestaltung ohne abflusshemmende Elemente	++	++	
		Schaffung von Flutmulden	++	o	
		Versickerung von Oberflächenwässern	++	++	
		unterbrochene Einfriedungen mit Ablenk- und Leitwirkung	++	o	
		Geländegestaltung zum Objekt hin ansteigend	++	--	
	Objekt dem Gefahreinfluss entziehen	Wasserdichte Bauweise	Erhöhte Bauweise durch Geländeanschüttung	++	--
			Erhöhte Bauweise durch aufgeständerte Bauweise	++	--
	Abdichtung von Gebäudeöffnungen	Abdichtung von Gebäudeöffnungen	Automatische Rückstauklappen in Abwasserleitungen	++	++
			Lage der Gebäudeöffnungen zur Anströmrichtung	++	o
			Kellerlichtschächte aus Beton statt aus Kunststoff	++	--
			Kellerlichtschächte über Hochwasserniveau gezogen	++	++
			Kellerlichtschächte mit Glasbausteinen abgedichtet	++	++
			Kellerlichtschächte mit Stahldeckeln abgedichtet	++	++
			Lüftungsschächte über Hochwasserniveau gezogen	++	++
			Außenliegende Kellerabgänge mit Stufenpodest	++	++
			Türstöcke aus Metall	++	o
			Fenster und Türen von außen angeschlagen	++	o
			Fensterstock in Stahlrahmen auf Mauer aufgelegt	++	o
Schäden an quellfähigen Materialien verhindern	Heizungsanlage und Öltanks sichern	Verstärkte Fenster aus Aluminium oder Kunststoff	++	o	
		Wasserunempfindliche Baustoffe im Innenausbau	++	o	
		Verankerung des Öltanks gegen Auftrieb und Kippen	++	++	
Beschädigung bzw. Zerstörung der Außenwände verhindern	Beschädigung bzw. Zerstörung der Außenwände verhindern	Haustechnik im Obergeschoß	++	o	
		Leitungsdurchführungen abgedichtet	++	++	
Gefährdung der Standsicherheit des Objektes	Freilegen bzw. Unterspülen der Fundamente verhindern	Statische Verstärkung der Prallwände	++	--	
		Stahlbetonsockel für Dach- oder Balkonstützen	++	o	
	Gefährdung durch Feststoffablagerungen auf Geschoßdecken und erdbedeckten	Gefährdung durch Feststoffablagerungen auf Geschoßdecken und erdbedeckten	ausreichend tiefe Fundierung	++	--
			Plattenfundament	++	--
			Kolkschutz an Gebäudefundamenten	++	--
	Gefährdung durch Feststoffablagerungen auf Geschoßdecken und erdbedeckten	Gefährdung durch Feststoffablagerungen auf Geschoßdecken und erdbedeckten	verstärkende Elemente aus Stahlbeton	++	--
			geringere Spannweiten der Deckenelemente	++	--
			Geschoßdecken durch Säulen gestützt	++	o
			Nutzungskonzept der Innen- und Aussenräume	++	++
			Maßnahmenkombination	++	++
			Mobile Hochwasserschutzsysteme vormontiert	++	++
Notfallsysteme (Sandsäcke, Bretter, Dichtmasse)			++	++	
technisch gut realisierbar				++	
technisch schwer realisierbar		o			
technisch nicht realisierbar		--			

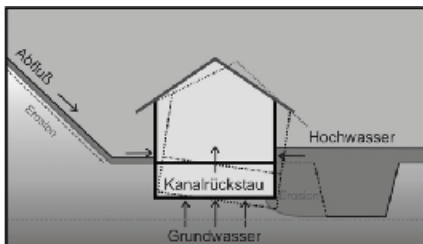


Abb. 1: Gefährdungsbilder durch Hochwasser.

Fig. 1: Damage patterns due to static and dynamic floods.



Abb. 2: Erhöhte Anordnung von Gebäuden mittels aufgeständerte Bauweise (Bild: Fuchs, 2007).

Fig. 2: Object built on stilts (courtesy of: Fuchs, 2007).



Abb. 3: Verhinderung von Eintritt von Wasser und Feststoffen durch über das Flutniveau gezogene Kellerlichtschächte.

Fig. 3: Enhancement (raising) of light wells above flood level.



Abb. 4: Verhinderung von Eintritt von Wasser und Feststoffen durch über das Flutniveau gezogene Kellerabgänge.

Fig. 4: Enhancement (raising) of basement stairs above flood level.

Bautypenkatalog – Murartiger Feststofftransport und Mure

Aufgrund hoher dynamischer Belastungen sowie Reibung wirken durch murartige Transportprozesse und Muren hohe Kräfte auf die Gebäudehülle. Lasten, die von der dynamischen oder statischen Last der Murmatrix ebenso wie von den mitgeführten Feststoffen wie z.B. Felsblöcken oder Wildholz stammen, gefährden die Stabilität des Gebäudes (Abbildung 5). Neben statischen Schäden an der Gebäudehülle durch Muranprall können durch Eintritt der Murmasse in das Gebäudeinnere starke Schäden an der Inneneinrichtung hervorgerufen werden.

Wie in Tabelle 3 gezeigt, sind unterschiedliche Objektschutz-Maßnahmen möglich. Eine Auswahl bewährter Bautypen wie z.B. Ablenkmauern und -dämme zeigt Abbildung 6.

Tab. 3: Objektschutzmaßnahmen gegen Muren entsprechend der Leitschadwirkung.

Tab. 3: Local structural measures with respect to possible impacts of debris flows.

Leitschadwirkung	Schutzziel	Objektschutzmaßnahme	Neubau	Bestand
Gefährdung der Standsicherheit des Objektes	Schäden generell verhindern	Erhöhte Anordnung	++	--
		Spaltkeil für Gebäude und Sonderobjekte vorbauen	++	o
		Auffangdamm	++	o
		Ablenkdammbzw. Ablenkmauer	++	o
	Schäden der Außenwände verhindern	Keilförmige Bauweise (Bauwerk wirkt als Spaltkeil)	++	--
		Verstärkung der Außenmauern (Stahlbeton)	++	--
		Vorsatzschale aus Stahlbeton	++	++
		Freistehende Säulen aus Stahlbeton	++	o
		verstärkende Elemente aus Stahlbeton	++	--
		geringere Spannweiten der Deckenelemente	++	--
Schäden der Geschoßdecken verhindern	Geschoßdecken durch Säulen gestützt	++	o	
	Eintritt von Murmaterial	Schäden durch mechan. Zerstörung und Verschmutzung	++	o
		Fenster in der Prallwand vermeiden	++	o
		Fenster klein und hoch über Bodenniveau	++	o
Eintritt von Murmaterial	Schäden durch mechan. Zerstörung und Verschmutzung	Öffnungen in der Prallwand abdecken	++	++
		Nutzungskonzept der Innen- und Aussenräume	++	++
		Maßnahmenkombination	++	++
		technisch gut realisierbar		++
		technisch schwer realisierbar		o
		technisch nicht realisierbar		--



Abb. 5: Gefährdungsbilder durch Muren.
 Fig. 5: Damage patterns due to debris flows.



Abb. 6: Ablenkmauer bzw. -damm.
 Fig. 6: Deflection wall and dam.

Bautypenkatalog – Rutschungen

Kräfte, die von der dynamischen bzw. statischen Last des Rutschungskörpers durch Anprall an das Gebäude bzw. Ablagerung an demselben stammen, gefährden die Stabilität des Gebäudes ebenso wie wenn sich das Objekt auf der Rutschmasse mitbewegt (Abbildung 7). Zahlreiche Objektschutz-Maßnahmen können ergriffen werden, bewährte Strategien sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Tab. 4: Objektschutzmaßnahmen gegen Rutschungen entsprechend der Leitschadwirkung.
 Tab. 4: Local structural measures with respect to possible impacts of land slides.

Leitschadwirkung	Schutzziel	Objektschutzmaßnahme	Neubau	Bestand
Gefährdung der Standsicherheit des Objektes	Schäden generell verhindern	Rutschkörper entwässern	++	++
		Rutschkörper stabilisieren (Stützelemente, Vegetation)	++	++
	Schäden der Außenwände verhindern	Verstärkung der Außenmauern (Stahlbeton)	++	--
		Vorsatzschale aus Stahlbeton	++	++
	Schäden der Geschoßdecken verhindern	Freistehende Säulen aus Stahlbeton	++	o
		verstärkende Elemente aus Stahlbeton	++	--
		geringere Spannweiten der Deckenelemente	++	--
		Geschoßdecken durch Säulen gestützt	++	o
		Stockwerke statisch voneinander trennen	++	--
		Anbauten statisch voneinander trennen	++	--
Setzung, Kippung, Verschiebung verhindern	verstärktes Plattenfundament mit Stahlbetonkeller	++	--	
	Lastableitung in den unbewegten Untergrund	++	--	
	durchgehende Bewehrung vom Fundament bis in die Wände	++	--	
	Leichte Konstruktionen aus Holz	++	--	
Eintritt von Rutschungsmaterial	Schäden durch mechan. Zerstörung und Verschmutzung	Fenster in der Prallwand vermeiden	++	o
		Fenster klein und hoch über Bodenniveau	++	o
		Öffnungen in der Prallwand abdecken	++	++
	Nutzungskonzept der Innenräume	++	++	
	Maßnahmenkombination	++	++	
	technisch gut realisierbar		++	
	technisch schwer realisierbar		o	
technisch nicht realisierbar		--		

Eine Auswahl bewährter Bautypen wie z.B. Drainage zur Entwässerung instabiler Schichten zeigt Abbildung 8.

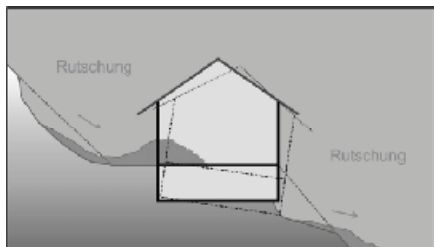


Abb. 7: Gefährdungsbilder durch Rutschungen.
Fig. 7: Damage patterns due to land slides.



Abb. 8: Drainage zur Entwässerung instabiler Schichten.
Fig. 8: Drainage system to stabilise the sliding layers of the slope.

Bautypenkatalog – Steinschlag

Dynamische Lasteinwirkungen, die durch rollende, springende oder stürzende Massen hervorgerufen werden, gefährden sowohl die Gebäudehülle als auch das Innere des Gebäudes (Abbildung 9). Zahlreiche Objektschutz-Maßnahmen können ergriffen werden, bewährte Strategien sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tab. 5: Objektschutzmaßnahmen gegen Steinschlag entsprechend der Leitschadwirkung.
Tab. 5: Local structural measures with respect to possible impacts of rock falls.

Leitschadwirkung	Schutzziel	Objektschutzmaßnahme	Neubau	Bestand
Gefährdung der Standsicherheit des Objektes	Schäden generell verhindern	Bauten am unmittelbaren Hangfuß vermeiden	++	--
		Integration des Objektes in die natürliche Geländeoberfläche	++	--
		Ausbildung des Objektes mit Ebenhöhen	++	--
		Angriffsfläche der Prallwand gering halten	++	--
		keine Leitungen an der Prallwand montieren	++	o
		geschützte Lage der Außenräume (Terrasse, Spielplatz)	++	o
		Stabilisierung des Steinschlagherdes	++	++
		regelmäßige Felsräumungen	++	++
		Steinschlagnetze in der Sturzbahn	++	o
		Auffangdamm bzw. -mauer	++	o
	Vorbauen von schützenden Gebäuden geringeren Wertes	++	o	
	Schäden der Außenwände verhindern	Verstärkung der Außenmauern (Stahlbeton)	++	--
		Vorsatzschale aus Stahlbeton	++	++
		energieabsorbierende Vorsatzschale (z.B. Rundhölzer)	++	++
		Anschüttung der Prallwand mit Erde	++	++
		Fenster in der Prallwand vermeiden	++	o
		Fenster klein und hoch über Bodenniveau	++	o
		Öffnungen in der Prallwand abdecken	++	++
		Öffnungen der Sturzbahn abgewandt einbauen	++	--
	Schäden der Geschosdecken verhindern	verstärkende Elemente aus Stahlbeton	++	--
		geringere Spannweiten der Deckenelemente	++	--
	Schäden der Dachkonstruktion verhindern	Geschoßdecken durch Säulen gestützt	++	o
		Verstärkung des Daches	++	o
Erdüberschüttung von Flachdächern		++	++	
Dachfenster vermeiden		++	o	
Nutzungskonzept der Innen- und Aussenräume		++	++	
Maßnahmenkombination		++	++	
technisch gut realisierbar			++	
technisch schwer realisierbar		o		
technisch nicht realisierbar		--		

Ausgewählte Beispiele zum Schutz vor Steinschlag sind z.B. unmittelbar am Objekt errichtete Erddämme (Abbildung 10), um die kinetische Energie zu absorbieren.

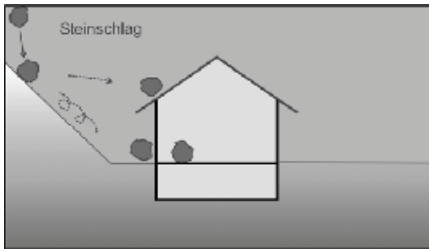


Abb. 9: Gefährdungsbilder durch Steinschlag.
Fig. 9: Damage patterns due to rock fall.



Abb. 10: Erddamm (Fallboden).
Fig. 10: Earth-filled dam for energy dissipation of falling rocks.

Bautypenkatalog – Lawinen

Lawinen mit ihrem Fliess- und Staubanteil können an Gebäuden starke Druck- und Sogkräfte hervorrufen. Einwirkungen auf Grund von statischer oder dynamischer Last durch Schnee und mitgeführte Feststoffe gefährden die Stabilität der Gebäudehülle. Gelangen Schneemassen und Feststoffe in das Gebäudeinnere, so entstehen auch hier große Schäden (Abbildung 11). Zahlreiche Objektschutz-Maßnahmen können ergriffen werden, bewährte Strategien sind in Tabelle 6 zusammengefasst.

Ausgewählte Beispiele zum Schutz vor Lawinen sind z.B. Ablenkdämme und Spaltkeile (Abbildung 12) um die Massen gefahrlos abzulenken bzw. über das Gebäude zu führen. Ebenso bewährt haben sich verstärkte Außenmauern, speziell in Kombination mit massiven Fensterläden (Abbildung 14), die von außen angeschlagen sind und direkt am Mauerwerk, nicht am Fensterstock, montiert sind.

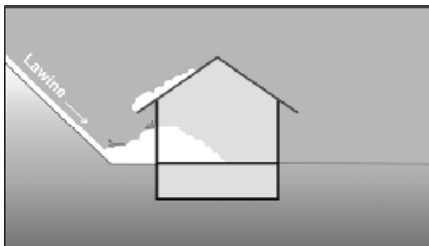


Abb. 11: Gefährdungsbilder durch Lawinen.
Fig. 11: Damage patterns due to avalanches.



Abb. 12: Ablenkdämme und Spaltkeile.
Fig. 12: Earth-filled dams as deflection and splitting facilities.

Tabelle 6: Objektschutzmaßnahmen gegen Lawinen entsprechend der Leitschadwirkung.
Table 6: Local structural measures with respect to possible impacts of avalanches.

Leitschadwirkung	Schutzziel	Objektschutzmaßnahme	Neubau	Bestand
Gefährdung der Standsicherheit des Objektes	Schäden generell verhindern	reihenförmige Anordnung von Gebäuden	++	--
		Integration des Gebäudes in die Geländeoberfläche	++	--
		Gebäudehöhe niedrig halten	++	--
		Keilförmige Bauweise	++	--
	Schäden der Außenwände verhindern	Gleitschneeschutzmaßnahmen (Verpflockung)	++	++
		Auffangdamm	++	o
		Ablenkdammbzw. Ablenkmauer	++	o
		Vorbau von schützenden Gebäuden	++	o
		Spaltkeil für Gebäude und Masten	++	o
		Anschüttung von Prallwänden	++	o
		Verstärkung der Außenmauern (Stahlbeton)	++	--
	Schäden des Daches verhindern	Vorsatzschale aus Stahlbeton	++	++
		Verstärkung der Dachkonstruktion	++	o
		Freistehende Säulen aus Stahlbeton	++	o
	Schäden der Geschoßdecken verhindern	Dachvorsprünge kurz halten bzw. Dach fixieren (Sog)	++	o
verstärkende Elemente aus Stahlbeton		++	--	
geringere Spannweiten der Deckenelemente		++	--	
Eintritt von Schnee	Schäden durch mechanische Zerstörung verhindern	Geschoßdecken durch Säulen gestützt	++	o
		Öffnungen in der Prallwand vermeiden	++	o
		Eingangsbereich durch Vorhaus absichern	++	o
		Fenster klein halten	++	o
		Fenster von der Lawinstoßrichtung abwenden	++	--
		Fensterstöcke auf Metallrahmen montieren	++	o
		Lawinenschutzfenster mit stabilen Beschlägen	++	++
		Fenster und Türen von außen anschlagen	++	o
		Anprallschutz für Fenster (Fensterläden)	++	++
		Fensterläden auf Mauerwerk fixieren	++	++
		Fensterläden abschersicher in Außenwand versenken	++	++
		Nutzungskonzept der Innen- und Aussenräume	++	++
		Maßnahmenkombination	++	++
		technisch gut realisierbar		++
		technisch schwer realisierbar		o
technisch nicht realisierbar		--		



Abb. 13: Ebenhöf.
Fig. 13: Roof terrace to integrate the building into the surface of the slope.



Abb. 14: Massive Fensterläden.
Fig. 14: Window shutters to prevent intrusion of snow.

SCHLUSSFOLGERUNGEN UND DISKUSSION

Wirksame Objektschutzmaßnahmen sind das Ergebnis systematischer Gefahrenanalysen und zielen auf die Reduktion der Vulnerabilität von Vermögenswerten im Wirkungsbereich alpiner Naturgefahren ab. Die Bedeutung von Objektschutzmaßnahmen steht in engem Zusammenhang mit traditionellen Schutzmaßnahmen und der Umsetzung von Raumplanungsvorgaben. Als Konsequenz sollte das Konzept des technischen Objektschutzes dauerhaft in den Rahmen integraler Risikomanagementstrategien verankert werden.

Berücksichtigt man alpine Naturgefahrenprozesse und ihre Einwirkungen auf Gebäude und Infrastruktureinrichtungen, so existieren mannigfaltige Lösungen für den Schutz von Neubauten aber auch zur Nachrüstung bereits bestehender Bauten. Werden diese Maßnahmen bei Zeiten geplant, so verursachen sie, in Relation zu den Gesamtbaukosten, verhältnismäßig geringe zusätzliche Belastungen.

Jüngere Studien untersuchten Wildbachereignisse in Österreich (Fuchs et al., 2007) und der Schweiz (Romang, 2004) und stellten eine beträchtliche Verminderung der Vulnerabilität von Gebäuden und darin enthaltener Werte fest, sofern technischer Objektschutz vorhanden war. Jedoch ist es bis dato kaum möglich, die Vulnerabilität- und somit auch Risikoreduzierenden Wirkungen von Objektschutzmaßnahmen zu quantifizieren. Daher müssen weitere Untersuchungen folgen, um diese Wirkungen und ihre Folgen für die zukünftige Risikoreduktion beurteilen zu können.

Weiters besteht dringender Bedarf an einer umfassenden Verbesserung der Information und Kommunikation mit betroffenen Bürgern sowie einer Anpassung der gesetzlichen Grundlagen in Bezug auf die Abwicklung von Bauverfahren bzw. der Kollaudierung von fertig gestellten Neu- und Umbauten. Auch Risikoübertragungsmechanismen, speziell in Bezug auf Produkte im Elementarschadenbereich, bedürfen einer dringenden Adaption an aktuelle Bedürfnisse.

Die Abdeckung dieses Bedarfes würde nicht nur zu einem gesteigerten Risikobewusstsein von betroffenen Personen, sondern auch zu einer verbesserten Vollstreckbarkeit von notwendigen Bestimmungen im Zuge von Bauverfahren führen. Als Ergebnis würden nicht nur das Risikobewusstsein sowie die Selbstverantwortung deutlich verbessert werden, sondern der Gesellschaft auch wieder – ohnehin immer knapper werdende – Mittel zu einer alternativen Verwendung als zur Behebung von Katastrophenschäden zur Verfügung stehen.

LITERATUR

BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Flood protection in Austria. Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management.

Egli, T. (1999): Richtlinie Objektschutz gegen Naturgefahren. Gebäudeversicherungsanstalt des Kantons St. Gallen. St. Gallen.

Egli, T. (2002): Hochwasserschutz durch nachhaltiges Schadenpotenzialmanagement. Internationales Symposium 2002 in Zürich: „Moderne Methoden und Konzepte im Wasserbau“. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich und dem Schweizerischen Wasserwirtschaftsbund.

Fell, R. (1994): Landslide risk assessment and acceptable risk. Canadian Geotechnical Journal, 31, 261-272.

- Fuchs, S., Heiss, K. und Hübl, J. (2007): Towards an empirical vulnerability function for use in debris flow risk assessment. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 7, 495-506.
- Holub, M. und Hübl, J. (2008): Local protection against mountain hazards – State of the art and future needs. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8, 81-99.
- Hübl, J., Holub, M. und Strauss, A. (2006): IAN-Report 107. Schutz vor alpinen Naturgefahren – Objektschutz. Erstellung der Grundlagen für eine „Sicherheitsfibel Objektschutz“. Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien. Unveröffentlicht.
- IBHS – Institute for Business & Home Safety (2005): The benefits of statewide building codes. *Natural Hazard Mitigation Insights*, Institute for Business & Home Safety. Tampa.
- Kanonier, A. (2006): Raumplanungsrechtliche Regelungen als Teil des Naturgefahrenmanagements. Edited by: Fuchs, S. Khakzadeh, L., Weber K. (Hg.): *Recht im Naturgefahrenmanagement*, 123-153. Studien-Verlag. Innsbruck.
- Länger, E. (2005): A history of hazard-zone mapping development in Austria. *Journal of Torrents, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering*, 152, 13-24.
- Munich Re (2007): Knowledge series: Topics Geo. Natural catastrophes 2006 – Analyses, assessments, positions. Munich Re Group, München.
- Romang, H. (2004): Wirksamkeit und Kosten von Wildbach-Schutzmassnahmen. Arbeitsgemeinschaft Geographica Bernensia G73. Verlag des Geographischen Instituts der Universität Bern.
- Statistik Austria (2004): Gebäude- und Wohnungszählung 2001 – Hauptergebnisse Österreich. Statistik Austria, Bundesanstalt Statistik Österreich. Wien.

VARIABILITÄT DES SCHADENPOTENTIALS

METHODIK IM RAHMEN DES INTEGRALEN RISIKOMANAGEMENTS

Margreth Keiler¹ und Sven Fuchs²

ZUSAMMENFASSUNG

Im Naturgefahrenbereich wird Risiko als Funktion (1) der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses und (2) des Schadenausmaßes definiert, wobei sich das Schadenausmaß aus dem Schadenpotential und der Verletzlichkeit in Abhängigkeit der auftretenden Prozessintensität zusammensetzt. Für die Bewertung gefährdeter Objekte bestehen erst kürzlich operationelle Ansätze zur Bestimmung des Schadenpotentials. Möglichkeiten für GIS-basierte Verfahren werden diskutiert. Ein langfristiger Anstieg des Schadenpotentials sowie die hohe Variabilität mobiler Objekte und Personen erfordern angepasste Strategien im Risikomanagement. Für ein integrales Risikomanagement ist die Betrachtung des Schadenpotentials auf einer multitemporalen Skale von großer Bedeutung, dies wird in vorliegender Studie durch ausgewählte Beispiele illustriert. Insbesondere führen auf linearen Kausalitäten basierende Strategie-Entscheidungen nicht notwendigerweise zu einer Reduktion naturgefahreninduzierter Risiken, da diese einen hohen Grad an Komplexität aufweisen.

Keywords: Schadenpotential, Variabilität, Risikoanalyse

ABSTRACT

In natural hazards research, risk is defined as a function of (1) the probability of occurrence of a hazardous process, and (2) the assessment of the related extent of damage, defined by the damage potential and the vulnerability according to the intensity of the hazard process. Only recently, operational methods for the assessment of values at risk are available. Possible GIS-based approaches are discussed. A long-term increase in damage potential as well as a remarkable variability in mobile values and persons at risk requires adopted strategies in risk management. As presented by selected case studies, the multi-temporal assessment of values at risk is fundamental within the framework of integral risk management. In particular, strategic decisions based on linear causalities do not necessarily result in a reduction of natural hazard risk since risk is organised at a high level of complexity.

Keywords: Values at risk, variability, risk assessment

¹ Universität Wien, Institut für Geographie und Regionalforschung, Universitätsstrasse 7, A-1010 Wien, margreth.keiler@univie.ac.at

² Universität für Bodenkultur, Institut für Alpine Naturgefahren, Peter Jordan Strasse 82, A-1190 Wien, sven.fuchs@boku.ac.at

EINLEITUNG

Periodische und episodische Abtragsprozesse sind in alpinen Geosystemen ebenso präsent wie eine hohe Wasserführung in den Flüssen der Vorländer dieser Bergregionen. Erst eine Überschneidung mit anthropogenen Interessenssphären, wie zum Beispiel Siedlungen, Straßenverbindungen oder touristischer Infrastruktur, macht diese natürlichen Prozesse zu Gefahren, insbesondere, wenn sie in ihrer durchschnittlichen Schwankungsbreite einen bestimmten, auf die jeweiligen technologischen und wirtschaftlichen Bedingungen bezogenen Schwellenwert überschreiten. Naturgefahren sind somit Phänomene an der Schnittstelle zwischen naturräumlichen Gegebenheiten auf der einen Seite und Elementen des Kulturrums auf der anderen Seite.

Der Umgang mit Naturgefahren hat in den Alpen eine lange Tradition, vor allem, weil die als Dauersiedlungsraum geeigneten Flächen aufgrund der Topographie relativ gering sind. Wurde in vergangenen Jahrhunderten die potentiell gefährdete Fläche überwiegend extensiv landwirtschaftlich genutzt, und somit großteils gemieden, sind zu Beginn des 20. Jahrhunderts bereits völlig andere Nutzungsmuster nachweisbar, deren Ursache vor allem auch im wirtschaftlichen Aufschwung von Berggebieten durch den Tourismus liegen. Vor dem Hintergrund eines weiteren sozioökonomischen Wandels, vor allem nach dem Zweiten Weltkrieg, wird der Übergang von einer ursprünglich mehr oder weniger agrarisch geprägten Gesellschaft hin zu einer dienstleistungsorientierten Gesellschaft markiert.

Der Umgang mit Naturgefahren wurde vor dem Hintergrund einer bereits im ausgehenden 19. Jahrhundert einsetzenden Individualisierung der Gesellschaft zunehmend als staatliche Aufgabe angesehen, und in Folge beispielsweise in Österreich vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung und von der heutigen Bundeswasserbauverwaltung wahrgenommen. Bis in die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts hatten permanente und temporäre Verbaumaßnahmen zur Prozessverhinderung in den Einzugsgebieten Vorrang, ab den 1960er Jahren setzte jedoch eine intensive Diskussionen um die Möglichkeit passiver Schutzmaßnahmen ein, die in Österreich mit der Anfertigung der ersten Gefahrenzonenpläne in Tirol ihren Niederschlag fanden.

Die Investition erheblicher Mittel in die Verbauung relevanter Anrissgebiete potentiell gefährlicher Prozesse, sowie in den Hochwasserschutz der Wasserläufe, verbunden mit der Erstellung von Gefahrenzonenplänen, darf jedoch nicht darüber hinweg täuschen, dass ein vollständiger Schutz vor Schäden durch natürliche Prozesse nicht möglich ist. Vor allem seit den 1990er Jahren zeigt sich dies deutlich, so waren im Alpenraum erhebliche Schäden durch Lawinen (Winter 1998/99), Wildbachprozesse (1999, 2002, 2005) und Hochwasser (2002, 2005, 2006) zu verzeichnen.

Analyse und Bewertung von Naturgefahren ist bereits seit Jahrzehnten Gegenstand der mit Naturgefahren befassten Akteure in Österreich. Besonders von ingenieurwissenschaftlicher Seite werden Gefahrenbeurteilungen durchgeführt, um ex ante Auswirkungen gefährlicher Prozesse auf den Siedlungs- und Wirtschaftsraum zu bestimmen. Solange relevante Systemgrenzen stabil sind, und sich somit die Rahmenbedingungen für Prozesse nicht ändern, können mit dieser Methodik zukünftige Schäden auf das Minimum reduziert werden. Im Vordergrund steht hierbei die Frage, von welchen Prozessen welche Einwirkungen ausgehen bzw. welche Objekte welcher Gefährdung ausgesetzt sind. Nach dieser Festlegung werden die Objekte entsprechend der Größe des erwarteten Schadens sowie entsprechend des gewählten Schutzzieles gereiht. Diese Reihung bildet die Grundlage für eine Prioritätenliste, in der – auch aufgrund ökonomischer Überlegungen – festgelegt wird, bei welchen Objekten welche Maßnahmen zur Schadensverminderung getroffen werden.

Zeitgemäßes Naturgefahrenmanagement erweitert die prozessorientierte Sichtweise um die Bewertung des exponierten Schadenpotentials, es kombiniert folglich Analysen des Natur-

raums und des Kulturraums/der Gesellschaft zum Konzept der Risikoanalyse. Risiko, mathematisch definiert als Funktion von Eintretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses definierter Magnitude und dem korrespondierenden Schadensausmaß (Varnes 1984), ermöglicht somit eine Quantifizierung der Auswirkung von Naturgefahren. Das Schadensausmaß errechnet sich dabei aus dem Wert und der Verletzlichkeit eines betrachteten Objektes, sowie der Präsenz-wahrscheinlichkeit im Falle von beweglichen Objekten, vgl. Gleichung (1).

$$R_{i,j} = f(p_{Si}, A_{Oj}, v_{Oj, Si}, P_{Oj, Si}) \quad (1)$$

$R_{i,j}$	Risiko in Abhängigkeit von Szenario i und Objekt j
p_{Si}	Eintretenswahrscheinlichkeit von Szenario i
A_{Oj}	Wert von Objekt j
$v_{Oj, Si}$	Verletzlichkeit von Objekt j in Abhängigkeit von Szenario i
$P_{Oj, Si}$	Präsenz-wahrscheinlichkeit von Objekt j gegenüber Szenario i

Im Alpenraum lag bisher der Fokus auf der Erfassung des Gefahrenpotentials und der dazugehörigen Eintretenswahrscheinlichkeit (p_{Si}); dementsprechend wurden einzelne Prozesse erfasst, analysiert und modelliert, vor allem in Hinblick auf die Bemessungsereignisse. Nur wenige (neuere) Arbeiten befassen sich explizit mit der Analyse des exponierten Schadenpotentials (z.B. Fuchs et al. 2004a, b; Keiler & Stötter 2004; Fuchs & Keiler 2006; Keiler et al. 2006a; Kleist et al. 2006; Willi et al. 2007). Dementsprechend ist kaum eine ausgereifte Methodik zur Erhebung des Schadenpotentials entwickelt, es wird oftmals abstrakt die Verwendung von Versicherungswerten für Gebäude bzw. generell eine Abschätzung des Schadenpotentials empfohlen (Heinimann 1998; BUWAL 1999). Untersuchungen auf Objektebene basieren auf direkten ökonomischen Analysen des Schadenpotentials (Keiler 2004; Fuchs & Bründl 2005), für den regionalen Maßstab werden GIS-basierte Verfahren vorgeschlagen (Zischg et al. 2002; BWG 2005). Weitere Fallstudien zur Bestimmung des Schadenpotentials bauen auf national bzw. global verfügbaren volkswirtschaftlichen und demographischen Datensätzen auf (Liu & Lei 2003; Nauss & Reudenbach 2003; FEMA 2005). Im Allgemeinen sind für diese Art GIS-basierter, flächendeckender Schadenpotentialanalyse das Vorhandensein statistischer Daten sowie deren Qualität der limitierende Faktor für eine operationelle Anwendung in einer mittleren und hohen Auflösung (vgl. United Nations 2004). Analysen im lokalen Maßstab werden darüber hinaus in der Regel durch den erforderlichen Zeit- und somit Kostenaufwand eingeschränkt.

Nachdem Änderungen im Naturraum wie auch im Kulturraum einem zeitlichen Wandel unterliegen, kommt einer temporalen Betrachtung bei der Beurteilung naturgefahreninduzierter Risiken eine hohe Bedeutung zu, eine Tatsache, die zumindest für den Bereich der Gefahrenzonenplanung evident ist (Heigl 2000). Sich aus diesen Veränderungen ergebende mögliche Entwicklungen des Risikos sind in Abbildung 1 qualitativ in (zumindest theoretisch) neun möglichen Tendenzen dargestellt. Intensität und Magnitude eines Prozesses können zunehmen, abnehmen, oder die derzeitige Größe beibehalten. Dabei muss aufgrund neuerer Erkenntnisse davon ausgegangen werden, dass alle Verlagerungsprozesse mit Wasser als Agens eine Akzentuierung erfahren werden (z.B. IPCC 2007), und somit eine Zunahme der Prozesse zumindest nicht ausgeschlossen werden kann. Das von diesen Prozessen betroffene Schadenpotential unterliegt ebenfalls einer Variabilität, weite Teile des Ostalpenraumes weisen aufgrund der sozioökonomischen Entwicklung der letzten Jahrzehnte eine Ausdehnung des Siedlungsraumes auf. Einhergehend mit einer allgemeinen Wertekonzentration muss in ausge-

dehnten Regionen mit einem Anstieg gefährdeter Werte gerechnet werden. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit der Untersuchungen zu Veränderungen des exponierten Schadenpotentials.

Das Ziel vorliegender Arbeit ist es, das Schadenpotential auf einer multitemporalen Skale zu betrachten und die Auswirkungen auf das Risikomanagement zu diskutieren. Nachdem hierzu einerseits GIS-basierte Methoden an Bedeutung gewinnen, andererseits jedoch kaum Literatur zur Verfügung steht, wird abschließend ein operationell anwendbares Verfahren zur Erhebung des Schadenpotentials präsentiert.

Wert und Präsenzwahrscheinlichkeit gefährdeter Personen und/oder Objekte

		Wert und Präsenzwahrscheinlichkeit gefährdeter Personen und/oder Objekte		
		Abnahme (-)	keine Änderg. (∅)	Anstieg (+)
Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit gefährlicher Prozesse	Anstieg (+)	A ∅	B +	C ++
	keine Änderg. (∅)	D -	E ∅	F +
	Abnahme (-)	G --	H -	I ∅

Abb. 1: Darstellung möglicher Risikoentwicklungen auf Basis von Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Naturgefahren-Prozessen und Wert und Präsenzwahrscheinlichkeit gefährdeter Objekte und Personen.

Fig. 1: Possible developments of risk based on variations in intensity and probability of occurrence of hazards and values at risk.

BETRACHTUNG DER MULTITEMPORALEN SKALE

Die Skalenabhängigkeit ist eine Grundeigenschaft aller auf der Landoberfläche ablaufenden Prozesse. Das Problem der Skalierung hat dabei zwei wesentliche Komponenten: Direkte Messungen sind in der Regel beschränkt auf kleine Raum- und Zeitausschnitte, und sind auf die jeweils übergeordnete Ebene nicht unmittelbar übertragbar, da sie sich in ihren Eigenschaften unterscheiden. Ein direktes Upscaling ist aus diesem Grund nicht möglich, vielmehr muss eine kombinierte Betrachtung und Bewertung auf verschiedenen Skalen durchgeführt werden.

Eine multitemporale Betrachtung im Sinne der Risikoanalyse erfasst Veränderungen eines Faktors oder mehrerer Faktoren aus Gleichung (1) in einem Untersuchungsgebiet über einen definierten Zeitraum. Hierbei wird die Analyse auf mehreren Zeitskalen verknüpft, um die wesentlichen das Risiko beeinflussende Parameter mit den zugrunde liegenden Einflussfaktoren bewerten zu können. Die zeitliche Komponente bei der Beurteilung naturgefahreninduzierter Risiken verläuft somit multitemporal kombiniert auf einer langfristigen sowie auf einer kurzfristigen Skale.

Langfristige Aspekte der Skale

Aufbauend auf dem Konzept regionaler Entwicklungstypen zeigt eine erste systematische und quantifizierende Analyse des sozioökonomischen Strukturwandels im Alpenraum starke räumliche Disparitäten auf (Bätzing 1993), die mit einer langfristigen Veränderung der Bevölkerung in Verbindung gebracht werden. Diese kleinmaßstäbigen Phänomene werden auch auf meso- und mikroskaligen Betrachtungsebenen widergespiegelt. Abbildung 2 veranschaulicht dies anhand zweier Fotografien der Ortschaft Davos (Schweiz), deutlich ist hier die Verdichtung der Siedlungsstruktur sowie die Ausdehnung des Siedlungsraumes zu erkennen.

Die entsprechende Steigerung exponierter Werte ist für dieses Beispiel von Fuchs & Bründl (2005) dokumentiert worden, und in Abbildung 3 wiedergegeben. Die langfristige Steigerung der Anzahl Gebäude und der zugehörigen Werte wurde auch für andere alpine Siedlungen nachgewiesen, beispielsweise in Keiler (2004) für die Ortschaft Galtür (vgl. Abbildung 3), und in Keiler et al. (2006a) für weitere Orte im österreichischen Paznauntal.



Abb. 2: Siedlungsentwicklung im Alpenraum am Beispiel Davos (Schweiz); links 1940er Jahre, rechts im Jahr 2002. Fotos: J. Trauffer (links), S. Fuchs (rechts)

Fig. 2: Development of settlements in the Alps, example Davos (Switzerland) in the 1940s (left) and in 2002 (right). Photo courtesy: J. Trauffer (left), S. Fuchs (right)

In Davos hat sich die Anzahl der gefährdeten Gebäude von 1950 bis 2000 fast verdreifacht, der Wert ist um den Faktor 4 gestiegen, wobei der Großteil der Steigerungen in der Kategorie Wohngebäude zu verzeichnen ist. In Galtür hat sich die Anzahl gefährdeter Gebäude im gleichen Untersuchungszeitraum mehr als verdoppelt, und der zugehörige Wert ist um den Faktor 5 gestiegen, wobei hier in der Kategorie der Beherbergungsbetriebe die höchsten Steigerungen zu beobachten sind.

Wird die Entwicklung des Schadenpotentials zusätzlich einer detaillierten räumlichen Analyse unterzogen, ergeben sich bemerkenswerte Differenzen. In den gelben Gefahrenzonen in Galtür sind die gefährdeten Gebäudewerte im Untersuchungszeitraum um den Faktor 9 angestiegen, diese Steigerung liegt somit auch über den der gesamten Gemeinde (Faktor 8). Wird ein 10 m-Bereich im direkten Anschluss an die gelbe Zone betrachtet – also im offiziell ‚sicheren‘ Gebiet – so kann ein Anstieg der Gebäudewerte um den Faktor 15 festgestellt werden. Diese Steigerung erfolgte nach Fertigstellung des Gefahrenzonenplans. Dementsprechend spiegelt sich hier die Berücksichtigung des Gefahrenzonenplans in der Flächenwidmung der Gemeinde wider (Keiler & Stötter 2004). Diese Entwicklung führte dazu, dass sich in diesem unmittelbar den Zonen anschließenden schmalen Bereich ungefähr dieselbe Summe an Gebäudewerten befindet wie in den Gefahrenzonen. Eine ähnliche Entwicklung ist auch in Da-

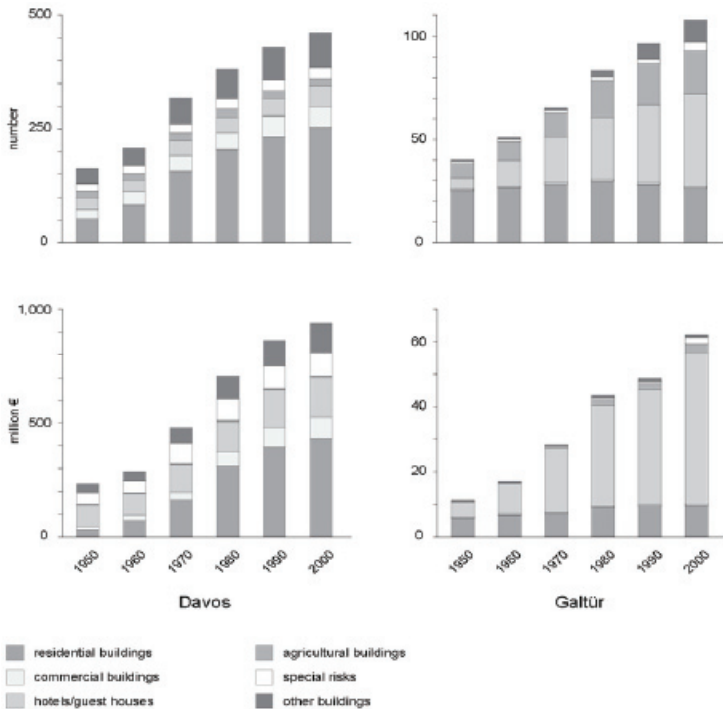


Abb. 3: Steigerung der Anzahl und Werte gefährdeter Gebäude in Davos (CH, links) und Galtür (A, rechts).
Fig. 3: Increase in number and value of endangered buildings in Davos (CH, left) and Galtür (A, right).

vos zu beobachten, hier würde eine Ausdehnung der derzeit gültigen Gefahrenzonenpläne um 10 m die Anzahl gefährdeter Gebäude um rund ein Drittel ansteigen lassen, die Anzahl der gefährdeten Personen würde sich verdoppeln (Fuchs & Bründl 2005)

Kurzfristige Aspekte der Skale

Parallel zu diesen langfristigen Änderungen des Schadenpotentials finden sich kurzfristige Fluktuationen, die vor allem mobile Werte und Personen betreffen. Diese Schwankungen können quantifiziert werden, und untergliedern sich weiter auf verschiedenen aufgelösten Zeitskalen in saisonale, wöchentliche und stündliche Variationen (vgl. Abbildung 4). Maximalwerte in der Anwesenheit von Personen in gefährdeten Siedlungsbereichen alpiner Tourismusdestinationen finden sich während der typischen winterlichen Hochsaison in der Zeit um Weihnachten, Ende Februar und Ostern. Diese Perioden stimmen häufig mit Zeitabschnitten erhöhter Lawinenaktivität überein, wie eine Analyse der entsprechenden Lawinenlageberichte gezeigt hat (Fuchs et al. 2004b). Über den gesamten Betrachtungszeitraum ändert sich für das Untersuchungsgebiet die Anzahl Personen um den Faktor 6. Der wöchentliche Rhythmus der Tourismusbewegungen ist dabei evident, und wird von tageszeitlichen Schwankungen mit einem Faktor zwischen 1,4 (Nebensaison) bis 3,4 (Hauptsaison) überlagert.

Multitemporale Skale und Risikoanalysen

Risikoanalysen, die für Naturgefahren durchgeführt werden, sind im Allgemeinen statische Ansätze (vgl. beispielsweise Jónasson et al. 1999; Keylock et al. 1999; Gächter & Bart 2002; Bell & Glade 2004), jedoch unterliegen naturgefahreninduzierte Risiken einer zeitlichen Variabilität, da risikobeeinflussende Faktoren (Prozess, Objektwerte, Verletzlichkeit) in lang- sowie kurzfristigem Rahmen variabel sind.

Die Entwicklung des Schadenpotentials im Alpenraum macht deutlich, dass im Umgang mit Naturgefahren nicht nur die Gefahrenprozesse zu berücksichtigen sind, auch die exponierten Werte sollten bei einer umfassenden Beurteilung des Risikos in die Untersuchungen mit einbezogen werden.

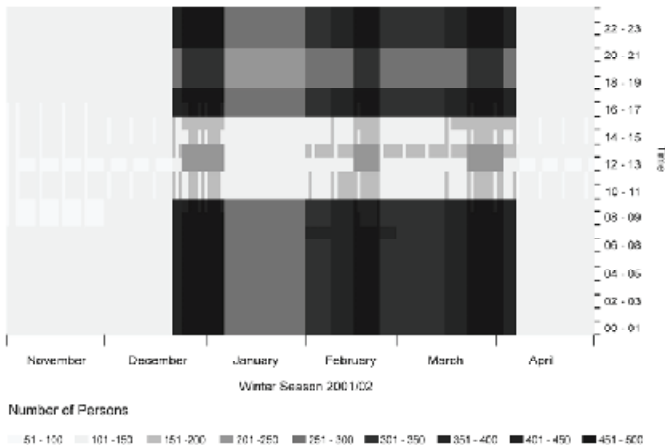


Abb. 4: Saisonale, tägliche und stündliche Variationen der exponierten Personen in Galtür (Wintersaison 2001/2002, Keiler et al. 2005).

Fig. 4: Seasonal, diurnal and hourly fluctuations of the number of exposed persons in a selected avalanche-prone area in Galtür (winter season 2001/2002, Keiler et al. 2005).

Prozesse des Global Change (im Sinne des Human Dimension Programms definiert als Veränderung des Naturraums und des Kulturrums) manifestieren sich speziell im Alpenraum des 20. Jahrhunderts über intensive Veränderungen. Hierbei ist zukünftig von einer gewissen Zunahme der Prozessintensität bzw. Eintretenswahrscheinlichkeit der Prozesse auszugehen, an denen fließendes Wasser beteiligt ist (Hochwasser, Mur- und Rutschprozesse, IPCC 2007). Ebenso bedeutsam sind aber zeitgleich ablaufende Prozesse im Kulturräum, speziell veränderte Präsenzwahrscheinlichkeiten von Personen und mobilen Objekten sowie die damit verbundenen exponierten Werte durch Veränderungen der Wirtschafts- und Sozialstrukturen. Langfristige Veränderungen im Prozess- sowie im soziökonomischen Bereich werden durch kurzfristige Fluktuationen überlagert, die zu Risikospitzen führen können (Fuchs & Keiler 2008). Diese Überlegungen sind in Abbildung 5 in einem schematischen Konzept zusammengefasst. In diesem Konzept können langfristige Änderungen des Schadenpotentials als Grunddisposition betrachtet werden. Um das entstehende Risiko aufgrund dieser Grunddisposition zu ver-

ringern, können und werden permanente technische Maßnahmen sowie raumplanerische Mittel eingesetzt. Aufgrund dessen kann das Risiko durch eine räumliche Einschränkung der Prozessgebiete reduziert werden. Beispiele hierfür werden in Fuchs et al. (2004a, b) für Davos erläutert, hier ist das Lawinenrisiko seit 1950 trotz der oben angeführten Steigerung des Schadenpotentials deutlich gesunken. Eine ähnliche Entwicklung konnten Keiler et al. (2006b) für Galtür aufzeigen; hier ist aufgrund technischer Schutzmaßnahmen im Anrissgebiet sowie Objektschutz das Lawinenrisiko in unterschiedlichen Lawinenzügen wieder auf das Niveau von 1950 reduziert worden, bzw. es konnte eine wesentlich geringerer relativer Anstieg des Risikos im Vergleich zu Steigerungen der Objektwerte festgestellt werden. Dennoch können hohe Schäden im Falle von Extremereignissen nicht ausgeschlossen werden, da sich die oben erwähnte Risikoreduktion immer auf die Berechnung der entsprechenden Bemessungsereignisse bezieht. Dass solche Extremereignisse möglich sind, haben nicht zuletzt die Ereignisse des Lawinenwinters 1999 sowie die Hochwässer in den Jahren 2002, 2005 und 2006 aufgezeigt.

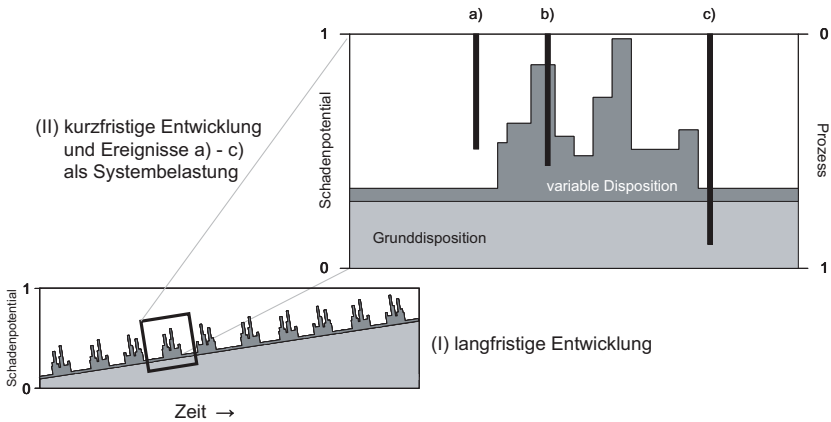


Abb. 5: Darstellung des Zusammenwirkens von (langfristiger) Grunddisposition (I) und (kurzfristiger) variabler Disposition (II) der Variabilität des Schadenpotentials in Bezug auf Systembelastungen.

Fig. 5: Schematic description of the concept of basic (long-term, I) and variable (short-term, II) damage potential and the relation to triggering events.

Kurzfristige Änderungen des Schadenpotentials (variable Disposition) überlagern die kontinuierliche Entwicklung des Schadenpotentials (Grunddisposition) in einem gewissen zeitlichen Bereich, und sollten deshalb als variable Disposition in diesem Konzept berücksichtigt werden. Temporäre Maßnahmen wie Evakuierung und Straßensperrung sind hier geeignet, um das Risiko aufgrund der kurzfristigen Fluktuation des Schadenpotentials zu verringern.

Bei Auftreten eines potentiell gefährlichen Prozesses ist der Eintritt eines Schadens abhängig von der Höhe des Schadenpotentials (Grunddisposition sowie variable Disposition) in dem überstrichenen Prozessbereich, und somit von lang- und kurzfristigen Veränderungen im System. In Abbildung 5 ist das Zusammenspiel zwischen langfristiger Entwicklung (5, I) und kurzfristiger Entwicklung (5, II) des Schadenpotentials schematisch dargestellt. Die kurzfristig variable Disposition überlagert grundsätzlich den langfristigen Anstieg exponierter Werte. Die Bedeutung für das Risikomanagement ist in Form der schwarzen Balken a), b) und c) in Abbildung 5, II dargestellt. In Beispiel (a) reicht die Belastung des Systems durch ein Ereignis

nis nicht aus, um Schadenpotential zu beeinträchtigen, in diesem Fall ist die vorhandene Risikoverminderungsstrategie ausreichend. In Beispiel (b) wird das System im Bereich des kurzfristigen variablen Schadenpotentials betroffen, temporäre Schutzmassnahmen stehen hier als Sicherungsstrategie im Vordergrund. In Beispiel (c) sind sowohl die kurzfristige variable Disposition als auch die langfristige Grunddisposition des Schadenpotentials durch ein Ereignis betroffen. In diesem Fall ist eine Kombination von permanenten und temporären Maßnahmen sowie einen gut organisiertes und geplantes Ereignismanagement erforderlich, um die Schäden so gering wie möglich zu halten.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Das Wissen über kurzfristige und langfristige Veränderungen des Schadenpotentials ermöglicht eine entsprechende Planung im Risikomanagement. Die auf verschiedenen, sich überlagernden zeitlichen Skalen stattfindenden Veränderungen sollten bei einem holistischen Risikokonzept berücksichtigt werden, um der Forderung nach der langfristigen und präventiven Ausrichtung von Managementstrategien zu entsprechen. Dies stellt eine Erweiterung des bisherigen Konzepts im Umgang mit Naturgefahren dar.

Risikoanalysen für Naturgefahren sind in den letzten Jahrzehnten zunehmend zu einem wichtigen Grundlagenwerkzeug für Schutzkonzepte in vielen Alpenländern geworden. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die derzeitige rechtliche Situation in Österreich im Rahmen der Gefahrenzonenplanung lediglich auf die Prozessbeurteilung fokussiert (vgl. Republik Österreich 1975; BMLFUW 2001), und somit Analysen des Schadenpotentials und der Verletzlichkeit nicht zwingend erforderlich sind (Hattenberger 2006; Kanonier 2006). Deren Einbezug ist erst im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbeurteilung von Maßnahmen erforderlich (BMLFUW 2005, 2006), wobei auch hier eindeutig festgestellt wird, dass die grundlegende „Planung, Priorisierung und Umsetzung von Schutzmaßnahmen (...) auf Methoden zur Verringerung der naturräumlichen Gefährdungssituation“ beruht (BMLFUW 2006:7) – folglich zunächst ohne Einbezug einer Analyse exponierter Werte.

Darüber hinaus ist die Wechselwirkung zwischen physikalischen Systemen (oder Geosystemen, die Prozessseite) und sozialen Systemen (inklusive dem Schadenpotential und der Verletzlichkeit) ein fundamentales Kennzeichen des naturgefahreninduzierten Risikos. Beide Systemtypen sind dynamisch zu betrachten, die Dynamik einzelner Faktoren kann neue Interaktionen hervorrufen und somit die Wechselwirkungen zwischen den beteiligten Systemen beeinflussen. Infolgedessen sind zukünftig steigende Schäden, verursacht durch Naturereignisse, nicht ausschließlich auf Veränderungen der natürlichen Prozesse oder auf die Entwicklung der betroffenen Werte und deren Verletzlichkeit zurückzuführen (wie aus Abbildung 1 geschlossen werden könnte), sondern sie sind auch das Ergebnis einer erhöhten Komplexität (Hufschmidt et al. 2005; Keiler et al. 2006b). Erhöhte Komplexität liegt vor, da beispielsweise dieselbe Risikoentwicklung in benachbarten Lawineneinzugsgebieten in der Gemeinde Galtür von verschiedenen Faktoren determiniert wird (vgl. Keiler et al. 2006b). Diese Faktoren betreffen die räumliche Verteilung gefährdeter Objekte, die Werte der Objekte, die auftretenden Lawinendrucke und die damit verbundene Vulnerabilität der Objekte, die Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen hinsichtlich der Reduktion des Auslaufbereichs und des auftretenden Lawinendrucks, sowie rechtliche Regulierungen (Gefahrenzonenplan, Bauvorschriften, etc.). Kleine Veränderungen eines einzelnen Einflussfaktors können durch die bestehenden Wechselwirkungen zu erheblichen Unterschieden in der Risikoentwicklung führen.

Ziel einer Risikoanalyse sollte deshalb nicht nur sein, einen quantitativen Wert für das Risiko zu berechnen, sondern Schwachstellen, Unsicherheiten sowie Wechselwirkungen im untersuchten dynamischen System zu erkennen und mit diesem Wissen einen optimierten Ablauf im Risikomanagement zu erreichen. Aufgrund der hohen Komplexität ist es notwendig, die

Weiterentwicklung von Methoden und Ansätzen in diesem Bereich zu fördern und somit das Wissen über die untersuchten Systeme zu erhöhen.

ANHANG: GIS-BASIERTE ERHEBUNG DES SCHADENPOTENTIALS

Nachdem bislang kaum eine operationell anwendbare Methodik zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotentials vorhanden ist, werden im Folgenden kurz die notwendigen Analyse-schritte dargestellt.

Im lokalen Maßstab muss die Erhebung des Schadenpotentials zumeist auf der Grundlage von Feldstudien durchgeführt werden, da die notwendigen Daten in den meisten Regionen nicht in der nötigen Qualität verfügbar sind. Die Verwendung von Durchschnittswerten bei der nicht-linearen Quantifizierung einzelner Objekte ist mit großen Unsicherheiten behaftet, und somit im lokalen Maßstab nicht präzise. Gute Resultate zeigen jedoch GIS-basierte Ansätze für den regionalen Maßstab, allerdings ist es notwendig, die vorhandenen Ansätze individuell den länderspezifischen Datengrundlagen anzupassen. Aufgrund dessen ist die folgend vorgestellte Vorgehensweise nur als mögliche Richtlinie zu verstehen.

Um eine Schadenpotentialanalyse durchzuführen, werden nachstehende Verfahrensschritte vorgeschlagen: Erhebung der Datengrundlagen, Aufbereitung des Datenmaterials, Verschneidungen, Klassifikation der Gebäudefunktion, Volumenberechnung und Werteberechnung.

Für die Abgrenzung gefährdeter Gebiete können bestehende Gefahrenzonenpläne oder flächenhafte Modellierungen herangezogen werden. Entsprechend der Qualität der verfügbaren digitalen Daten ist teilweise eine weitere Aufbereitung notwendig, um die für die folgenden Schritte notwendigen flächenhaften Layer zu erhalten. Die Gebäudeflächen können als singuläre Information bereits vorhanden sein oder müssen aus übergeordneten Quellen, wie z.B. der digitalen Katastralmappe, extrahiert werden. Über eine Verschneidungsfunktion werden die gefährdeten Gebäude selektiert. Ein wesentlicher Punkt in der Schadenpotentialanalyse ist die Zuordnung der Gebäudefunktionen, hier kann aufgrund fehlender oder qualitativ geringwertiger Informationen eine falsche Klassifizierung getroffen werden, was in Folge zu großen Schwankungen und hohen Unsicherheiten des ermittelten Schadenpotentials führt. Die Grundlage für eine Klassifikation der Gebäudefunktion bilden in den verschiedenen Regionen des Alpenraums unterschiedliche Datenqualitäten. In Nordtirol können 16 Klassen mittels der vorhandenen Adressverortung unterschieden werden. Hingegen sind in Südtirol nur etwa drei Klassen durch eine Überlagerung mit dem Bauleitplan extrahierbar. Für die Volumenberechnung werden neben der Grundfläche der Objekte Geschoßhöhe und -anzahl bzw. die maximal zulässige Bauhöhe herangezogen. Die Gebäudewerte können beispielsweise – wie in der Versicherungsbranche üblich – über den Neuwertpreis für jede Funktionsklasse ermittelt werden. Eine weitere Möglichkeit wäre die Verwendung standardisierter regionaler Baukosten. Allgemein sind bei beiden Ansätzen der regionalspezifische Unterschied der Preise bei der Übertragung von Durchschnittswerten, sowie die Index-Anpassung zu beachten. Für den regionalen Ansatz zur Schadenpotentialerhebung werden Sonderobjekte, wie Krankenhäuser, Kirchen, Tankstellen, Kläranlagen etc. separat bewertet. Es hat sich gezeigt, dass der Kumul der ermittelten Werte in einem Gefahrengebiet bzw. für eine Gefahrenzonenkategorie die durch die Verwendung von Durchschnittswerten über eine Funktionszuordnung für jedes individuelle Schadenobjekt mögliche Über- oder Unterbewertung ausgleicht (vgl. Keiler et al. 2006a).

LITERATUR

Bätzing, W. (1993): Der sozio-ökonomische Strukturwandel des Alpenraums im 20. Jahrhundert, Bern: Geographica Bernensia, P26.

- Bell, R. und Glade, T. (2004): Quantitative risk analysis for landslides – Examples from Bildudalur, NW Iceland, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 117-131, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/117/2004/>.
- BMLFUW (2001): Richtlinien für die Gefahrenzonenplanung, Erlass des BMLFUW ZL. 52.240/07-VC6a/2001. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2005): Richtlinien für die Wirtschaftlichkeitsuntersuchung und Priorisierung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs. 2 Z 3 Wasserbau- und Förderungsgesetz. BMLFUW, Wien.
- BMLFUW (2006): Technische Richtlinie für die Wildbach- und Lawinenverbauung gemäß § 3 Abs 1 Z 1 und Abs 2 des WBF 1985 i.d.F. BGBl. Nr. 82/2003 vom 29.08.2003, Erlass des BMLFUW ZL. LE 3.3.5/0004-IV 5/2006. BMLFUW, Wien.
- BUWAL (1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.
- BWG (2005): Priorisierungsverfahren für Hochwasserschutzprojekte – Abschätzung des Schadenpotentials, <http://www.bwg.admin.ch/service/download/d/index.htm#schap>, (Abruf 25.05.2007).
- FEMA (2005): Overview of HAZUS-MH, http://www.fema.gov/hazus/hz_meth.shtm (Abruf 19.05.2007).
- Fuchs, S., Bründl, M. und Stötter, J. (2004a): Development of avalanche risk between 1950 and 2000 in the municipality of Davos, Switzerland, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 4, 263-275.
- Fuchs, S., Bründl, M. und Stötter, J. (2004b): Entwicklung des Lawinenrisikos im Siedlungsraum - Fallbeispiel Davos, Schweiz, Internationales Symposium Interpraevent – Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 2, VI/115-VI/126.
- Fuchs, S. und Bründl, M. (2005): Damage potential and losses resulting from snow avalanches in settlements of the canton of Grisons, Switzerland, *Natural Hazards*, 34, 53-69.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2006): Natural hazard risk depending on the variability of damage potential, in: Popov, V. und Brebbia, C.: *Risk Analysis V – Simulation and hazard mitigation*, WIT Press, Southampton, 13-22.
- Fuchs, S. und Keiler, M. (2008): Variability of natural hazard risk in the European Alps – Evidence from damage potential exposed to snow avalanches, in: Pinkowski, J.: *Disaster management handbook*. London: Taylor & Francis, 267-279.
- Gächter, M. und Bart, R. (2002): Risikoanalyse und Kostenwirksamkeit bei der Massnahmenplanung – Beispiel Diesbach, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 153, 268-273.
- Hattenberger, D. (2006): Naturgefahren und öffentliches Recht, in: Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K.: *Recht im Naturgefahrenmanagement*, Studienverlag, Innsbruck, 67-91.
- Heigl, F. (2000): Für eine dynamische Zonenausweisung, Internationales Symposium Interpraevent – Villach, 26.-30. Juni, Band 2, 253-265.
- Heinmann, H.-R. (1998): Der Umgang mit Naturrisiken aus ingenieurwissenschaftlicher Sicht, *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 9, 691-705.
- Hufschmidt, G., Crozier, M., und Glade, T. (2005): Evolution of natural risk: research framework and perspectives, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 5, 375-387, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/375/2005/>.
- IPCC (2007): *Climate change 2007. Summary for policymakers*. Cambridge University Press, Cambridge. Deutschsprachige Version online unter <http://www.proclim.ch/products/IPCC07/de/IPCC2007-FullDocument.pdf> verfügbar (Abruf 20.09.2007).
- Jónasson, K., Sigurðsson, S. und Arnalds, Þ. (1999): Estimation of avalanche risk, Icelandic Meteorological Office, Reykjavík.

- Kanonier, A. (2006): Raumplanungsrechtliche Regelungen als Teil des Naturgefahrenmanagements, in: Fuchs, S., Khakzadeh, L. und Weber, K.: Recht im Naturgefahrenmanagement, Studienverlag, Innsbruck, 123-153.
- Keiler, M. (2004): Development of the damage potential resulting from avalanche risk in the period 1950-2000, case study Galtür, Natural Hazards and Earth System Sciences, 4: 249-256, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/4/249/2004/>.
- Keiler, M. and Stötter, J. (2004): Aspekte der Entwicklung des Schadenpotentials bei Lawinenrisiken am Beispiel Galtür, Internationales Symposium Interpraevent, Riva del Garda, 24.-27. Mai, Band 2, VI/139-VI/150.
- Keiler, M., Zischg, A., Fuchs, S., Hama, M. und Stötter, J. (2005): Avalanche related damage potential - changes of persons and mobile values since the mid-twentieth century, case study Galtür, Natural Hazards and Earth System Sciences, 5, 49-58, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/5/49/2005/>.
- Keiler, M., Zischg, A. und Fuchs, S. (2006a): Methoden zur GIS-basierten Erhebung des Schadenpotenzials für naturgefahreninduzierte Risiken, in: Strobl, J. und Roth, C.: GIS und Sicherheitsmanagement, Wichmann, Heidelberg, 118-128.
- Keiler, M., Sailer, R., Jörg, P., Weber, C., Fuchs, S., Zischg, A. und Sauermoser, S. (2006b): Avalanche risk assessment – A multi-temporal approach, results from Galtür, Austria, Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 637-651, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/637/2006/>.
- Keylock, C., McClung, D. und Magnússon, M. (1999): Avalanche Risk Mapping by Simulation, Journal of Glaciology, 45, 303-314.
- Kleist, L., Thieken, A., Köhler, P., Müller, M., Seifert, I., Borst, D. und Werner, U. (2006): Estimation of the regional stock of residential buildings as a basis for a comparative risk assessment in Germany, Natural Hazards and Earth System Sciences, 6, 541-552, <http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/6/541/2006/>.
- Liu, X. und Lei, J. (2003): A method for assessing regional debris flow risk: An application in Zhaotong of Yunnan Province (SW China), Geomorphology, 52, 181-191.
- Nauss, T. und Reudenbach, C. (2003): Developing an absolute natural disaster risk index (ANDRI) on the basis of economic and geophysical data, Die Erde, 134, 195–209.
- Republik Österreich (1975): Forstgesetz 1975, Bundesgesetzblatt Nr. 440/1975, in der Fassung BGBl. I Nr. 83/2004, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6119/> (Abruf 20.09.2007), und zugehörige Verordnung: Verordnung über Gefahrenzonenpläne, BGBl. Nr. 436/1976, <http://recht.lebensministerium.at/filemanager/download/6128/> (Abruf 20.09.2007).
- United Nations (2004): Living with risk. A global review of disaster reduction initiatives. Geneva, United Nations.
- Varnes, D. (1984): Landslide hazard zonation: A review of principles and practice. Paris, UNESCO.
- Willi, C., Wilhelm, C. und Heinemann, H.-R. (2007): Analyse der Risikoentwicklung im Einzugsgebiet des Taschinasbaches zwischen 1910 und 2005, Wasser Energie Luft, 99, 133-136.
- Zischg, A., Keiler, M., Fuchs, S. und Meißl, G. (2002): Konzept zur flächendeckenden Risikoanalyse für Naturgefahren im regionalen Maßstab, in: Strobl, J., Blaschke, T. und Griesebner, G.: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV, Wichmann, Heidelberg, 607-615.

2D-MODELLIERUNG VON ÜBERSCHWEMMUNGSGBIETEN MIT OPTIMISIERTEN EINGANGSDATEN

GROSSFLÄCHIGE ANWENDUNG UND KOMMUNIKATIONSSTRATEGIEN

2D-MODELLING OF FLOOD PLAINS USING OPTIMIZED INPUT DATA

LARGE SCALA APPLICATION AND COMMUNICATION STRATEGIES

Dieter Rieger¹, Wolfgang Igel², Josef Dorsch³, Hubert Fröhlich⁴, Maria Hagemeier⁵ und
Klaus Wagner⁶

ZUSAMMENFASSUNG

Vorsorge ist der effektivste Schutz vor Schäden durch Hochwasserereignisse. Dazu ist die Kenntnis der Ausdehnung von Überschwemmungen entscheidend. Um den gestiegenen Anforderungen an Umfang und Genauigkeit gerecht zu werden, arbeitet das LfU an der Optimierung der Aufbereitung der Grundlagendaten für die hydrotechnische 2d-Modellierung. Das Kernstück hierfür ist eine intensive Zusammenarbeit mit dem LVG bei der DGM-Erstellung mittels Laserscanning. Ziel ist eine einheitliche Datenbasis für die flächendeckende Ermittlung von Überschwemmungsgebieten und für die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten zu erhalten. Die Ergebnisse der Modellierung der Überschwemmungsgebiete und der Hochwassergefahrenflächen werden in einem Internet-Kartendienst veröffentlicht. Die verschiedenen Maßnahmen zur Ergebnisverbreitung werden von der TUM evaluiert.

Keywords: Überschwemmungsgebiet, Modellierung, DGM, Evaluierung, Kartendienst

ABSTRACT

Precaution is the most effective protection against damages caused by floods. Therefore the knowledge of flood expansion is essential. To cope with the increasing requirements on volume and accuracy, LfU works on the optimized processing of input data in conjunction with hydraulic 2d-modelling. For this purpose an intensive cooperation with the LVG in the preparation of laser scan DEM provides a solid basis. The project aims to receive a consistent data base for the area-wide modelling of floodplains and the creation of flood hazard maps.

1 Dr. rer. nat., Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg, Deutschland (email: dieter.rieger@lfu.bayern.de)

2 Dipl.-Geogr., Bayerisches Landesamt für Umwelt, LfU (email: wolfgang.igel@lfu.bayern.de)

3 Dipl.-Ing., Landesamt für Vermessung u. Geoinformation Bayern, LVG (email: josef.dorsch@lvg.bayern.de)

4 Dr.-Ing., Landesamt für Vermessung und Geoinformation Bayern, LVG (hubert.foehlich@lvg.bayern.de)

5 Dipl.-Geogr., Technische Universität München, TUM (hagemeier@forst.tu_muenchen.de)

6 Dr. rer. silv., Technische Universität München, TUM (wagner@forst.tu_muenchen.de)

Results of flood plain modelling and flood hazard mapping are released to the public in form of a web mapping service. Each action within the scope of dissemination will be evaluated by the TUM.

Keywords: flood plain, modelling, DEM, evaluation, web mapping service

AUSGANGSSITUATION

Die Gefährdung von Personen und Sachgütern durch katastrophale Hochwasserereignisse stellt weltweit ein großes Problem dar. Durch neue gesetzliche Rahmenbedingungen, wie der geplanten EG-Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken, sollen einheitliche Grundlagen für die Information der Öffentlichkeit und der Planung von Maßnahmen geschaffen werden. Für die Bestimmung der Betroffenheit bei potentiellen Hochwasserereignissen muss von den Fachleuten ein sehr hoher Bewertungsmaßstab eingefordert werden. Im Rahmen der amtlichen Festsetzung von Überschwemmungsgebieten wird eine parzellenscharfe Abgrenzung des Hochwasserrisikos gefordert.

Bayern hat sich sehr frühzeitig dafür entschieden, hohe Genauigkeitsanforderungen bei der Ermittlung von Überschwemmungsgebieten anzulegen. Im Rahmen des 1996 initiierten Projekts „Ermittlung und Festsetzung von Überschwemmungsgebieten in Bayern“ werden weitgehend standardisierte Verfahren bei der Erhebung von Grundlagendaten und der Verwendung von Modellen angelegt (Oberhauser 2001). Die Verfahren werden laufend weiterentwickelt. So werden beispielsweise vom Landesamt für Umwelt sowie den 17 Wasserwirtschaftsämtern mittlerweile nahezu ausschließlich zweidimensionale Modelle bei der hydrotechnischen Berechnung von Überschwemmungsgebieten verwendet. Dabei werden Informationen zu Überschwemmungsgrenzen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten in einem Arbeitsgang erzeugt und die Möglichkeit geschaffen, selbst äußerst komplexe Gerinne stationär oder instationär zu modellieren.

Als Grundlage für die Berechnung wurden über viele Jahre Luftbildbefliegungen der Talräume in Auftrag gegeben, und daraus photogrammetrisch ein Digitales Geländemodell (DGM) sowie die Landbedeckung klassifiziert. Um weiterhin kosteneffizient arbeiten zu können, wurde mittlerweile eine weitreichende Zusammenarbeit mit dem Landesamt für Vermessung und Geoinformation Bayern (LVG Bayern) vereinbart, um zukünftig ein landesweites DGM aus Laserscanning nutzen zu können. In mehreren Pilotstudien wurden die Anforderungen der Wasserwirtschaft an dieses DGM getestet (Oberhauser & Rieger 2005). Ein entscheidender Schritt war weiterhin die Entwicklung einer Programmroutine, mit der die extrem hochauflösenden Laserscanner-Daten ausgedünnt und die Netzerstellung optimiert werden kann (Rieger 2005, Michel 2006).

Durch die Optimierung der einzelnen Arbeitsschritte wird der vielfach als Nachteil empfundene höhere Arbeitsaufwand bei der 2d-Modellierung so reduziert, dass ein wirtschaftlicher Einsatz der Modelle gegeben ist. Im Rahmen des EU-geförderten Projekts *FloodScan* soll die Aufbereitung der Grundlagendaten sowie die Einbindung in die hydrodynamische 2d-Modellierung durch ein stabiles Post-Processing optimiert und für die breite Anwendung getestet werden. Damit wird der Grundstein für die effiziente Erstellung von Hochwassergefahrenkarten bzw. die Ermittlung von Überschwemmungsgebieten an kleinen Gewässern gelegt. Weiterhin werden im Projekt *FloodScan* Maßnahmen zu einer Ergebnisverbreitung getroffen und evaluiert.

OPTIMIERUNG DER DATENGRUNDLAGE

Neben Abflussdaten für die jeweiligen Bemessungsereignisse (das Wasserhaushaltsgesetz fordert im Rahmen der Festsetzung ein HQ_{100}), die mathematisch-statistisch aus Pegelmessungen abgeleitet werden, benötigt man für die Berechnung der Überschwemmungsgebiete Informationen zur Topographie und zur Rauheit der Landoberfläche. Die Topographie wird aus dem DGM abgeleitet und mit terrestrisch vermessenen Flussquerprofilen sowie mit Sonderprofilen (Bauwerke) ergänzt. Die Rauheit kann aus der Landbedeckung abgeleitet werden.

DGM-Erstellung

Unter den verschiedenen Herstellungsmethoden von Digitalen Geländemodellen hat sich das Airborne Laserscanning (ALS) in den letzten Jahren als wirtschaftliche und hochgenaue Methode bewährt. Das LVG Bayern hat bisher für ca. 70 Prozent der Landesfläche von Bayern (70.551 km²) Laserscanning-Befliegungen durchführen lassen. Je nach Punktdichte der Ausgangsdaten kann daraus ein DGM in einer Auflösung von 5 Meter, 2 Meter oder 1 Meter Gitterweite abgeleitet werden (Abb.1). Seit dem Jahr 2006 ist die Punktdichte des Laserscannings für ein DGM in 1 Meter Gitterweite ausreichend. Dieses DGM bildet die Datengrundlage für den weiteren Optimierungs- und Ausdünnungsprozess bei der hydraulischen 2d-Modellierung. Bis 2010 soll ein DGM aus Laserscanning flächendeckend für Bayern vorliegen.

Vor der DGM-Berechnung erfolgt eine Qualitätsprüfung der unregelmäßigen Laserpunkte. Voraussetzung für ein zuverlässiges DGM ist eine ausreichende Punktdichte der Laserdaten. Durch einen automatischen Klassifizierungsalgorithmus werden die Laserpunkte in Bodenpunkte, Nicht-Bodenpunkte und unsichere Punkte unterteilt. Die DGM-Berechnung erfolgt ausschließlich mit den Bodenpunkten. Diese sollen alle relevanten Geländestrukturen wiedergeben und keine größeren Lücken enthalten.

Zur Prüfung der Höhengenaugigkeit wird ein Vergleich der Laserpunkte mit terrestrisch gemessenen ebenen Flächen (Kontrollflächen) durchgeführt. Es ist gefordert, dass mindestens 95 Prozent der Laserpunkte eine betragsmäßige Höhenabweichung zur Kontrollfläche von weniger als 20 cm haben. Bei der Lagegenauigkeit ist ein mittlerer Fehler bis zu 50 cm zulässig. Die abschließende Berechnung einer regelmäßigen DGM-Gitterstruktur erfolgt im amtlichen Gauß-Krüger Koordinatensystem mit NN-Höhen.

DGM-Ausdünnung

Eine zentrale Anforderung der Nutzung von Laserscanner-Daten in Verbindung mit 2d-Modellen ist eine effiziente Ausdünnung der Geländemodelle. Im Auftrag des LfU (Bayerisches Landesamt für Umwelt) wurde daher ein Programm entwickelt, das eine Reduzierung der Gitterpunkte um mehr als 95 Prozent erlaubt. Dabei sollen alle hydraulisch relevanten Geländestrukturen erhalten bleiben und die für die Modellrechnung relevanten Anforderungen an das Berechnungsnetz erfüllt werden (Michel 2006), ohne dass Bruchkanten manuell erzeugt werden müssen.

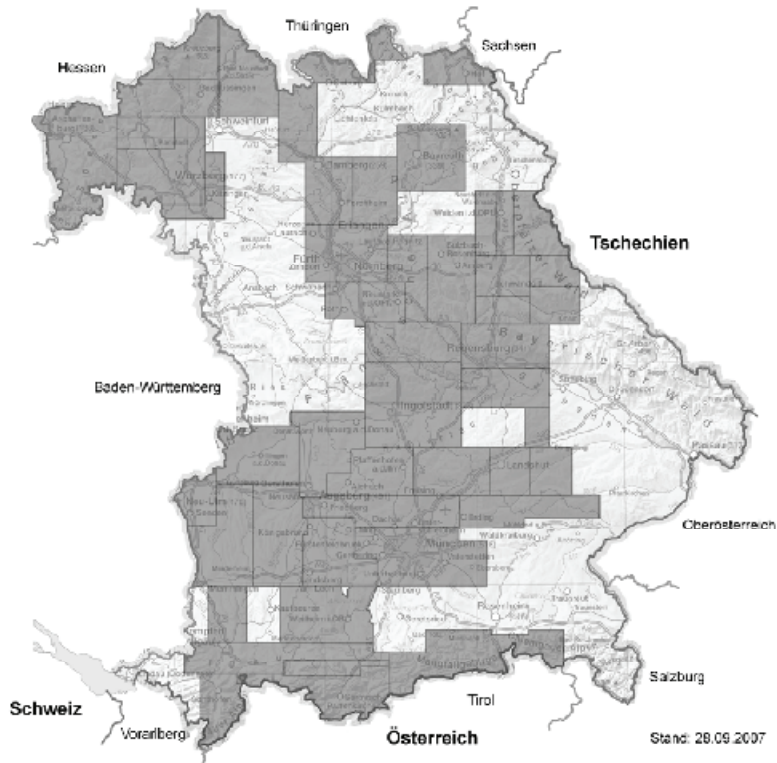


Abb1: Verfügbare bzw. beflogene Bereiche mit einer Gitterweite von 1 Meter oder 2 Meter
Fig1: Overview of areas with available DEM (grid size 1 or 2 meters)

Das Programm (LASER_AS-2d) wurde erfolgreich in der Pilotregion Donau getestet. Im Rahmen von FloodScan soll es bei der Berechnung von Überschwemmungsgebieten in unterschiedlichsten Flussgebieten eingesetzt werden. Dabei wird insbesondere untersucht,

- ob hydraulisch relevante Genauigkeitsverluste festgestellt werden;
- wie das Post-Processing der Laserscanner-Daten durch eine optimierte Vorbereitung der Grundlagendaten verbessert werden kann (z.B. Einbindung von schmalen Strukturelementen);
- wie die Netzerstellung weiter optimiert und beschleunigt werden kann;
- wie die Netz-Qualität von der Qualität des DGM-Gitters abhängt;
- welche Zeitersparnis die Verwendung der neuen Methode bringt.

Parallel dazu wird die Software zur Ausdünnung laufend weiterentwickelt, um die Qualität des ausgedünnten Netzes weiter zu verbessern und die Rechenzeiten zu verkürzen. Konkret wurden in jüngster Zeit folgende Verbesserungen erzielt bzw. sind in Vorbereitung:

- Verbesserte Flusschlaucherstellung durch steuerbare Verteilung der Elemente

- Deutliche Reduzierung der Rechenzeit durch eine Verbesserung des Iterationsalgorithmus und die Umstellung auf Dual-Prozessoren
- Selektive Ausdünnung auf Teilflächen mit unterschiedlichen Randbedingungen (erlaubte Höhentoleranz, Gitterweite)
- Verbesserte Extraktion von Bruchkanten
- Ausgabe von Bruchkanten und Netzknotenpunkten zur Weiterverwendung in der 3D-Visualisierung etc.

Landbedeckung

Zur Ableitung von Oberflächenrauheiten werden Informationen über die Landbedeckung benötigt. Diese kann aus verschiedenen Quellen abgeleitet werden. Im Sinne einer kosteneffizienten Erhebung dieser Informationen werden derzeit drei verschiedene Quellen für die Ableitung der Rauheiten verwendet und im Rahmen von vergleichenden Untersuchungen getestet:

- Daten aus dem Amtlichen Topographisch-Kartografischen Informationssystem (ATKIS) der bayerischen Vermessungsverwaltung
- Orthophotos aus der Bayernbefliegung
- Digitale hochauflösende multispektrale Satelliten- und Luftbilddaten

Genauso wie bei der Prozessierung des Digitalen Geländemodells steht auch hier die Optimierung von Aufwand und erforderlicher Genauigkeit im Hinblick auf die hydrotechnische Modellierung im Vordergrund.

Erstellung von Uferlinien

Als Bindeglied zwischen Vorland- und Flussschlauch-DGM dient die Uferlinie. Sie wird mit einem eigens entwickelten Verfahren als 3d-Polylinie vom LVG erzeugt. Zur Erstellung der Uferlinien verwendet das LVG Bayern eigene digitale Luftbilder und die originären Bodenpunkte aus den Laserscanning-Befliegungen. Die Luftbilder stammen aus der in einem 3-jährigen Turnus durchgeführten Bayernbefliegung, Bildmaßstab 1:12.400, Bodenauflösung mindestens 40 cm. Die Laserscanning-Punkte und die Luftbilder werden in einer digitalen 3D - Stereostation (DTMaster der Firma Inpho GmbH) überlagert.

Als Uferlinie wird die Grenzlinie zwischen der festen Erdoberfläche und der Wasseroberfläche betrachtet. Die Höhenerfassung erfolgt durch die unmittelbar benachbarten Laserpunkte, die im Idealfall den Geländeverlauf ohne störende Ufervegetation wiedergeben. Die Bearbeitung wird getrennt für das linke und rechte Ufer des Fließgewässers durchgeführt. Nur bei schmalen Gewässern erfolgt eine einlinige Bearbeitung. Um unnatürliche Geländesprünge zu vermeiden, ist auf einen kontinuierlichen Geländeverlauf zu achten.

Da Laserscanning typischerweise im Winter oder Frühjahr und die Bayernbefliegung meist im Sommer durchgeführt wird, repräsentieren beide Erfassungsmethoden einen unterschiedlichen Pegelstand des Gewässers. Dies und eine dichte Ufervegetation können die exakte Uferlinienerstellung erschweren bzw. die erreichbare Genauigkeit verschlechtern.

HYDRAULISCHE MODELLIERUNG

Im Rahmen von FloodScan sollen für ein breites Spektrum natürlicher Gewässertypen „Best-Practice-Ansätze“ entwickelt werden, um zukünftig einen effizienten Mitteleinsatz zu ermöglichen. Dazu sind breit angelegte Pilotuntersuchungen an einer Vielzahl von Gewässern erforderlich. Die Erkenntnisse sollen auch für die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten eingesetzt werden. Gerade im Bereich geschützter Gebiete, in denen das Restrisiko extremer Ereignisse möglicherweise über aufwändige Deichbruchszenarien zu bestimmen ist, ist die Entwicklung effizienter Methoden besonders wichtig.

Aktuell wird der Einsatz der verschiedenen Datenquellen im Rahmen der 2d-Modellierung in einer Reihe von Projekten getestet. Im Vordergrund stehen dabei die Fragen:

- Welchen Einfluss haben die digitalen Geländemodelle mit unterschiedlicher Gitterweite und Höhengenaugigkeit auf die Qualität der Modellierung? Sind ggf. zusätzliche Vermessungsarbeiten (Bruchkanten) erforderlich?
- Wie lassen sich Informationen zu Landbedeckung effizient und kostensparend ableiten und wie gut funktioniert die Weiterverarbeitung im Modell (Rauheitsbelegung)?
- Welche Arbeitsschritte lassen sich ggf. vereinfachen und wo muss ein höherer Genauigkeitsmaßstab angelegt werden? Dies soll im Rahmen von Sensitivitätsanalysen herausgefunden werden.

Ein erster erfolgreicher Test bei der Verwendung des neuen Verfahrens wurde an der Donau durchgeführt (Michel 2006). Für das Untersuchungsgebiet von ca. 42 km² konnte die Anzahl der verwendeten DGM-Punkte um ca. 98% weitgehend automatisiert reduziert werden, ohne dass abflussrelevante Abweichungen im Ergebnis festzustellen waren. Dadurch konnte eine instationäre 2d-Berechnung auf einem handelsüblichen PC durchgeführt werden.

Die erfolgreiche Untersuchung an der Donau gab den Ausschlag, zukünftig voll auf den Einsatz von Laserscanner-Daten in der hydraulischen Modellierung zu setzen. Durch die breite Anwendung der Methode in unterschiedlichen Einzugsgebieten soll das Verfahren in den nächsten Jahren weiter verbessert werden. Gesamtziel ist die Erstellung eines „Rezeptbuchs“, wie die hydraulische Modellierung unter Vorgabe der angestrebten Genauigkeit und mit den zur Verfügung stehenden Grundlagendaten optimiert ablaufen kann. Besonders wichtig ist dabei ein effizienter Mitteleinsatz. Mittlerweile wurde eine Reihe weiterer Berechnungen erfolgreich abgeschlossen.

Als Beispiel seien in diesem Zusammenhang die Untersuchungen am Krumbach, einem kleinen Gewässer dritter Ordnung in der Oberpfalz genannt. Für das Gewässer wurde eine zweidimensionale hydraulische Berechnung auf der Basis von Laserscanner-Daten durchgeführt, die in einem 1m-Gitter vorliegen. Trotz der geringen Gesamtbreite von Gewässer und Talraum konnte mit dem Laserscanner-DGM ein hinreichend genaues Berechnungsnetz für das Vorland erzeugt werden (Abb. 2). Der Flussschlauch des Krumbachs wurde aus terrestrisch gewonnenen Daten (Querprofilen und Böschungsoberkante) generiert.

Die Qualität der Laserscanner-Daten wurde außerdem vom LVG durch terrestrische Nachvermessungen untersucht. Dabei zeigte sich, dass relevante Geländestrukturen auch im ausgedünnten Modell im Vergleich zum Original-DGM sowie zu den nachvermessenen Profilen gut übereinstimmen. Die Untersuchungen werden noch weiter intensiviert, um

herauszufinden, welche Geländestrukturen das Lasermodell noch abbildet und wo sich ggf. der Bewuchs negativ auf die Genauigkeit im ausgedünnten DGM auswirkt. Derzeit wird beispielsweise ein Vergleich mit einem photogrammetrisch erstellten DGM (Befliegungsjahr 1998), in dem Bruchkanten manuell erzeugt wurden, durchgeführt. Erste Ergebnisse zeigen eine sehr gute Übereinstimmung der Daten, insbesondere im Bereich von Straßen, die in beiden Verfahren als optimale Referenzflächen eingestuft werden können. Auch in den übrigen Bereichen liegen die Abweichungen meist im Bereich der Messgenauigkeit der beiden Verfahren ($\pm 10\text{-}15\text{ cm}$). Größere Abweichungen gibt es im Bereich von Wäldern (schlechte Luftsichtbarkeit der Photogrammetrie) oder in sehr steilen Bereichen. Letztere sind vermutlich durch den verfahrensbedingten Lagefehler der Laserscannertechnik zu erklären. Bei der Erstellung eines Differenzen-DGM werden dort höhere Abweichungen angezeigt. Hydraulisch dürften diese aber unbedeutend sein, da es nicht zu einer Kappung von Extremwerten (z.B. Deichkrone) kommt.

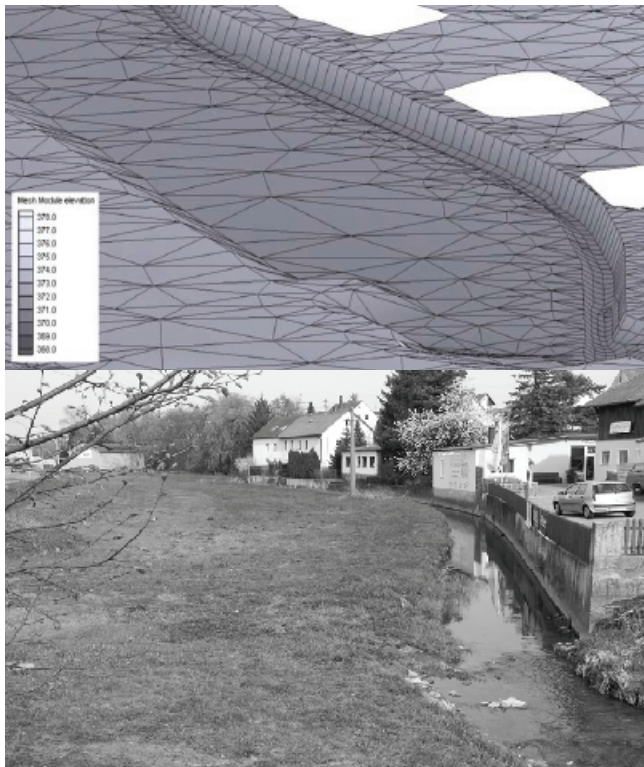


Abb2: Ausgedünntes Berechnungsnetz (oben) für den Krumbach (unten)
Fig2: Thinned out mesh (above) of the Krumbach river (below)

Weiterhin sind Sensitivitätsuntersuchungen hinsichtlich der Materialbelegung auf der Grundlage unterschiedlicher Datenquellen vorgesehen. Hierzu wurde eine Routine programmiert, mit der aus den umfangreichen ATKIS-Daten die für die hydraulische Modellierung relevanten Klassen extrahiert werden. Vergleichend dazu werden analoge und

digitale Luft- und Satellitenbilder nach demselben Objektschlüssel manuell oder automatisch klassifiziert und mit Rauheitswerten belegt. In Vergleichsrechnungen werden die unterschiedlichen Daten getestet. Aus wirtschaftlicher Sicht ist insbesondere die Verwendung der ATKIS-Daten interessant. Es zeigt sich jedoch, dass aufgrund der maßstabsbedingten Generalisierung der Daten (z.B. beim Verlauf von Straßen) unerwünschte Abweichungen zum DGM auftauchen, die manuell im Berechnungsnetz korrigiert werden müssen. Weitere Untersuchungen sollen folgen, um gegebenenfalls eine kombinierte Nutzung der verschiedenen Datensätze zu entwickeln.

Im Zusammenhang mit der Modellierung von Extremereignissen soll weiterhin untersucht werden, inwieweit eine vereinfachte Modellierung des Flussschlauchs zu hinreichend genauen Ergebnissen führt. Im Rahmen der Modellierung stellen Vermessungsarbeiten (von Querprofilen, Durchlässen, Bauwerken) einen erheblichen Kostenfaktor dar. Gerade bei sehr kleinen Gewässern mit geringer Wassertiefe stellt sich deshalb die Frage, wie sensitiv die Modellierung von Extremereignissen auf eine vereinfachte Darstellung der Flussschlauchs auf der Basis von Laserscanner-Daten reagiert.

EVALUATION VON INFORMATIONS- UND KOMMUNIKATIONSKONZEPTEN ZUR VERMITTLUNG VON HOCHWASSERRISIKEN AN DIE ÖFFENTLICHKEIT

Das Teilprojekt Information und Kommunikation des Projektes FloodScan befasst sich mit der formativen und summativen Evaluation von Informations- und Kommunikationskonzepten in der Öffentlichkeitsarbeit im Themenbereich Hochwasserrisiken. Zur formativen Evaluation wurde im Juli 2007 ein interdisziplinärer Kreativ-Workshop durchgeführt. Im Rahmen des Workshops wurden Informationsinstrumente von Experten aus verschiedenen Fachdisziplinen (Wasserwirtschaft, Grafik/Design, Kartographie, Geoinformatik, Kommunikation usw.) und von Laien aus hochwassergefährdeten Gebieten diskutiert und weiterentwickelt. Darüber hinaus wurde der Internetkartendienst „Informationsdienst Überschwemmungsgefährdete Gebiete in Bayern“ (Abb. 3, www.iug.bayern.de) mittels einer Online-Befragung evaluiert, um Anforderungen der Nutzer an eine Fortentwicklung dieses Angebotes zu ermitteln. An der Befragung, die zwischen Juni und August 2007 online war, nahmen 175 Personen teil.

Hochwassergefahrenkarten

Bezüglich der *optischen Gestaltung* von Hochwassergefahrenkarten bevorzugten die Evaluatoren eine flächige Darstellung von Karteninhalten als Schraffur oder Transparenz in Blautönen. Für die Darstellung eines Ereignisses, wie etwa ein Überschwemmungsgebiet bei einem hundertjährigen Abfluss (HQ₁₀₀), wird eine transparente blaue Fläche mit deutlicher Begrenzung als ideal angesehen. Verschiedene Ereignisse (z. B. Überschwemmungsgebiete von Abflüssen verschiedener Jährlichkeit) oder verschiedene Zonierungen (Gefahrenzonen) sollten mit einer gut unterscheidbaren blauen Schraffur dargestellt werden. Die farbpsychologische Assoziation von Blautönen mit Wasser bildet das Hauptargument für die präferierte Farbwahl.

Die Bewertung der *Kartenhintergründe* erfolgte deutlich differenzierter: Für die Risikokommunikation mit der lokalen Bevölkerung werden dann Luftbild oder Digitale Ortskarte bevorzugt, wenn es um eine Übersicht von hochwassergefährdeten Gebieten und um die allgemeine Vermittlung von Hochwassergefahren geht. Beispielsweise können Karten,

die bestimmte Gefahrenzonen oder Eintrittswahrscheinlichkeiten von verschiedenen Hochwasserereignissen zeigen, mit diesen Hintergründen erstellt werden. Vorteile von Luftbild, als Hybrid zumindest mit Angabe der Straßennamen gestaltet, und Digitaler Ortskarte sind der hohe Wiedererkennungswert (ähnliche einem Stadtplan) und das einfache Zurechtfinden auf den Karten. Bei der Zielsetzung der parzellengenauen Abgrenzung von Überschwemmungsgebieten und bei der Vermittlung von Rechtsfolgen, die mit der rechtlichen Festsetzung eines Überschwemmungsgebietes verbunden sind, bildet die Digitale Flurkarte den optimalen Hintergrund.

Unter dem *inhaltlichen Aspekt* ist zu unterscheiden zwischen Kartenwerken, die nur ein Hochwasserereignis behandeln und Karten, die mehrere Ereignisse oder verschiedene Zonierungen vermitteln sollen. Als sinnvoll beurteilt wird in diesem Zusammenhang stets eine Kombination der Darstellung des rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebietes (ein Ereignis, im allgemeinen HQ₁₀₀) mit der Darstellung verschiedener Ereignisse unterschiedlicher Eintrittswahrscheinlichkeit oder Gefahrenzonen. Diese Kombination soll dazu beitragen, die Hochwassergefahr auch außerhalb des rechtlich festgesetzten Überschwemmungsgebietes zu kommunizieren. Weiterhin sollten für das festgesetzte Überschwemmungsgebiet die Überflutungstiefen in sinnvoller Kategorisierung dargestellt werden. D.h. es sollten keinen festen 0,5m Schritte verwendet werden, sondern solche, die eine Bedeutung für den Nutzer haben (Wattiefe von Kraftfahrzeugen, Höhe Erdgeschoß).

Der Begriff der Jährlichkeit sollte grundsätzlich vermieden und - wie in der Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie angedeutet und von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser empfohlen - durch die Begriffe seltenes, mittleres und häufiges Ereignis ersetzt werden. Notwendig erscheint darüber hinaus die Angabe von Pegelständen bzw. Hochwassermarken für die jeweiligen Szenarien, da diese im Hochwasserfall durch die den Hochwassernachrichtendienst bzw. die Einsatzkräfte kommuniziert werden. Auch in der alltäglichen Kommunikation von Massenmedien und Bevölkerung spielen Pegelstände die zentrale Rolle.

Internetkartendienste

Inhaltlich betrachtet sollte ein solcher Dienst idealerweise als ein Modul in ein komplexes Hochwasser-Informations-System eingebunden sein, in dem auch andere Angebote wie etwa aktuelle Pegelstände, Informationen zu Hochwasser-Ursachen und Hochwasser-Schutzeinrichtungen etc. abrufbar sind. Fachbegriffe sollten in solch einem „Hochwasser-Portal“ ausführlich und allgemein verständlich, z. B. in Form eines Glossars, erklärt werden. Zudem sollte eine Service-Stelle eingerichtet werden, um Anfragen, Probleme und Anmerkungen etc. zu bearbeiten. Aufgrund der unterschiedlichen Ansprüche und Fertigkeiten z.B. im Umgang mit einem komplexen Web-GIS sollten für die Fachanwender (Städte und Gemeinden, Planungs- und Ingenieurbüros, Katastrophenschutz), Öffentlichkeit sowie Kinder und Jugendliche zielgruppengerechte Angebote erstellt werden.

Mindestens *sollte* ein Hochwasser-Internetkartendienst folgende *Informationen* enthalten:

- Karten für verschiedene Hochwasserereignisse mit Darstellung der entsprechenden Wassertiefen,
- Begriffsbestimmungen und Übersichtskarten zur einfachen Navigation.
- Bilder tatsächlicher historischer Hochwasserereignisse sollten eingesetzt werden, um einen realen Bezug herzustellen und das Risikobewusstsein zu erhöhen.

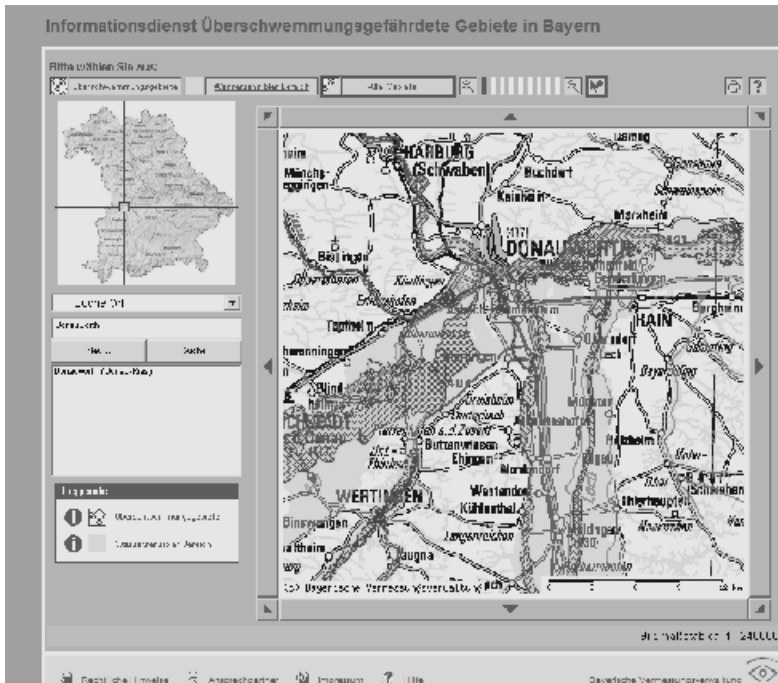


Abb3: Informationsdienst Überschwemmungsgefährdete Gebiete in Bayern (www.iug.bayern.de)
Fig3: Web information service on flood hazard areas (www.iug.bayern.de)

Bezüglich der *Funktionalität* ergab die nutzerorientierte Evaluation, dass verschiedene Layer mit unterschiedlichen Informationen zu- und abschaltbar sein sollen. Die Layer sind dazu verständlich zu beschriften und zu erklären. Layer können dabei für verschiedene Hochwasserereignisse, verschiedene Kartenhintergründe, Wassertiefen, für Animationen oder 3D-Darstellungen angelegt werden. Wichtige Bestandteile eines Kartendienstes sind Zoomfunktionen (am besten frei wählbar), verschiedene Suchfunktionen (Adresse, Orte, Gewässer, Flurstücke), andere Auswahlfunktionen, Messfunktionen und Funktionsbuttons zum Abruf von Bildern und Zusatzinformationen für ausgewählte Objekte. In der Onlinebefragung zum IÜG halten 91 % der Befragten, die diese Frage beantwortet haben, die Darstellung der Überschwemmungstiefe für sehr sinnvoll oder sinnvoll. Noch 87 % erachten eine Darstellung verschiedener Hochwasserereignisse (unterschiedlich hohe Abflüsse) als sehr nützlich oder nützlich. 82 % befürworten eine Verknüpfung mit Echtzeit-Informationen wie Pegelständen oder Web-Cams etc. und noch 73 % die Einbindung der dreidimensionalen Darstellung.

Der IÜG bietet derzeit einen Layer, der die Ausdehnung von Überschwemmungsgebieten zeigt, und einen Layer, der den Wassersensiblen Bereich definiert. Er bietet eine große Auswahl an Suchfunktionen, eine Druckfunktion und Zoomfunktionen, die jedoch nur feste Zoomausschnitte zeigen. Über einen Informationsbutton können Zusatzinformationen abgerufen werden, die jedoch sehr knapp gehalten sind.

In der anvisierten Weiterentwicklung des IÜG sollen die Ergebnisse der formativen Evaluation soweit wie möglich umgesetzt werden. Neben den inhaltlichen Verbesserungen sind auch technische Anpassungen im Sinne eines modernen Web-Dienstes geplant.

WEITERENTWICKLUNG DER INTERNET-PLATTFORM

Um das Plus an Funktionen und Leistungsfähigkeit zu gewährleisten, sind größere Umstellungen in der Hard- und Softwarearchitektur nötig. Demnach gliedert sich die Anwendung in

- ein Frontend, d.h. ein Viewer zur leichtverständlichen Darstellung von Hochwassergefahrenbereichen verschiedener Bedeutung.
- ein Backend, das für das Frontend die nötigen Geofachinformationen bereitstellt. Diese werden vom LfU eingepflegt und bearbeitet.

Die Webanwendung ist eingebettet in die EU-Geodatenaktivitäten von INSPIRE, die Geodateninfrastruktur Deutschland und die Geodateninfrastruktur Bayern und ist konform mit einschlägigen Standardisierungen im Bereich der Geoinformatik (vor allem des Open Geospatial Consortium, hier v.a. der Standard WMS). Die Geofachdaten stehen – im Rahmen der Geodateninfrastruktur Bayern - nicht nur dem Frontend, sondern auch über standardisierte WMS-Dienste öffentlich auch anderen WMS-fähigen Rechnern (v.a. Geoinformationssysteme) zur Verfügung.

Das *Frontend* stellt verschiedene Informationen (überschwemmungsgefährdete Gebiete, Ausdehnungen von bestimmten Hochwassern etc.) auf dem Hintergrund von Orthophotos, amtlichen topographischen Karten und Katasterkarten dar. Abfragen, Navigationsmöglichkeiten, Suchfunktionen nach Orten, Adressen, Flurstücken etc. sind ebenfalls vorhanden. Gewünscht und auch reizvoll ist die 3D-Anwendung. Auf der Basis von Digitalen Geländemodellen, Orthophotos und einer kartographischen Darstellung der überschwemmten Flächen bringt eine 3D-Darstellung für den Einzelnutzer („ist mein Haus von dem Überschwemmungsszenario XXX betroffen?“) ein großes Plus an Anschaulichkeit. Existierende Pilotanwendungen des LVG aus anderen Bereichen werden hinsichtlich Komfort und räumlicher Detailtiefe ausgebaut. Die 3D-Darstellung erfolgt - soweit möglich - ebenso nach einschlägigen Standards. Unklar ist derzeit allerdings, welche Technologien sich angesichts der von den sog. Digitalen Erden, v.a. von Google Earth ausgelösten stürmischen Entwicklung in der Visualisierung von Geodaten durchsetzen werden. In einer Machbarkeitsstudie wird zunächst eine „Best Practice“-Lösung hinsichtlich Komfort, räumlicher Ausdehnung und auch Rechen- und Netzlast (in längst nicht allen ländlichen Gebieten ist Breitband-Internet verfügbar) ermittelt. Dabei wird auch ausgelotet, wie unter Berücksichtigung der Ansätze von z.B. Google Earth vorgegangen werden kann. Die „Best Practice“-Lösung wird dann realisiert.

Das *Backend*, das die Geofachinformationen bereitstellt, umfasst eine leistungsfähige Datenhaltung und darauf aufsetzende Datendienste. Die Systemarchitektur (Abb. 4) wird im Vergleich zu bisher wesentlich ausgebaut. Die Kommunikation zwischen Frontend und Backend berücksichtigt

- die im Bayerischen Behördennetz vorgegebene Sicherheitsarchitektur
- die Trennung von Produktions- und Vertriebsdaten aus Betriebssicherheitsgründen
- eine hohe Flexibilität und hohe Aktualität der Daten bei geringem Pflegeaufwand.

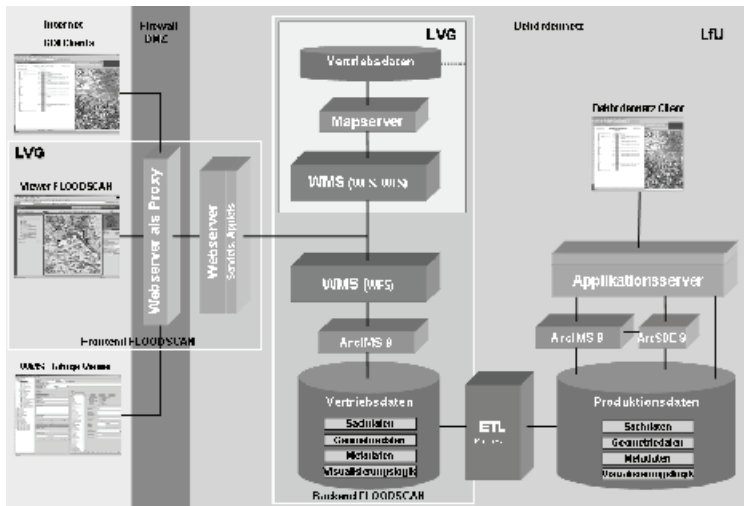


Abb4: Systemarchitektur für einen überarbeiteten Informationsdienst Überschwemmungsgebiete
Fig4: System architecture for a revised web information service on flood plains

Im Rahmen von *FloodScan* wird also ein System entwickelt, das es Fachleuten wie interessierten Laien gleichermaßen erlaubt, die mit großem technischen Aufwand erstellten Informationen über Gefahren durch Überschwemmungen zeitnah und anschaulich abzurufen.

LITERATUR

- Michel, F. (2006): „Großflächige numerische 2d-Modellierung auf Basis eines hochauflösenden Laserscanner-Gitters (1 m)“. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen Heft 32; 517-524.
- Oberhauser, R. & Rieger, D. (2005): „Neue Wege bei der Ermittlung von Überschwemmungsgebieten. Wasserwirtschaft“; 52-56.
- Rieger, D. (2005): „Neue Möglichkeiten zur Verwendung von Laserscanner-Daten für die 2d-Modellierung“. DWA-Landesverbandstagung 2005 (Okt. 2005 in Neu-Ulm); 208-216.
- Oberhauser (2001): „Ermittlung der Überschwemmungsgebiete in Bayern. Tagungsband zum Wasserwirtschaftstag in Nürnberg; 51-58“.



FloodScan wird gefördert durch das Programm Life Environment der Europäischen Union.

DIGITAL GEOMORPHOLOGICAL INFORMATION FOR ALPINE HAZARD STUDIES USING LASER ALTIMETRY DATA AND GIS

WITH AN EXAMPLE FROM VORARLBERG, AUSTRIA

Harry Seijmonsbergen¹

SUMMARY

Detailed geomorphological information has proven beneficial for the spatial recognition and delineation of natural hazards such as rock fall, slides and debris flows in alpine ecosystems. New digital (semi-)automated mapping and availability of LiDAR altimetry data may improve the accessibility and accuracy of detailed geomorphological information, which can be used as input in hazard studies. A first improvement is that digital geomorphological maps store both terrain units and attributes which describe color coded landforms, processes and deposits. These terrain units are categorized using a morphogenetic classification scheme to preserve most information displayed in traditional paper geomorphological map. A second improvement is the (semi-) automated extraction of statistical morphometric information derived from digital elevation models, which can be related to the digital landform units recognized in the digital geomorphological map. Existing techniques used for the extraction of geometrical derivatives only focused on deriving slope angle, curvature, altitude and aspect and mostly in homogeneous terrain and not on genetic and process information. High resolution laser altimetry data makes statistical separation of terrain objects derived from LidAR DEMs possible. First results show that integration of expert knowledge rules makes it possible to classify and group individual objects into unique geomorphological terrain units that are related to the *genesis* of landforms. These two parallel developments result in new information that serves as input in alpine hazard zonation studies. In this study a method for the preparation of digital geomorphological maps in Vorarlberg is presented and it is shown how simple landscape metrics can be used in the semi-automated recognition and classification of geomorphological information from LiDAR information. The methods include digital geomorphological GIS map preparation and visualization using a standardized morphogenetic classification scheme and object oriented classification of a LiDAR dataset combined with zonal statistical analysis in a GIS environment. Direct advantage and improvements over existing methods are improved understanding of landscape process in inaccessible and/or forested areas, increase in mapping accuracy and improved consistency in the objectivity and reproducibility of the mapping methods. Moreover, expert knowledge rules can be added to this process. The resulting information can serve as input into hazard zonation studies and be displayed either as a ‘flat’ computer screen map in GIS, as a paper map, a “bird’s eye view” or alternatively, as an overlay in ‘Google Earth’.

Keywords: Geomorphological mapping, Natural Hazards, GIS, LiDAR

¹ IBED-Computational GeoEcology, University of Amsterdam. Nieuwe Achtergracht 166, 1018WV Amsterdam, The Netherlands (Tel.: +31-5257427; Fax: +31-5257431; email: a.c.seijmonsbergen@science.uva.nl)

INTRODUCTION

Geomorphological maps are a traditional source for the archiving of landscape information. An ideal geomorphological map should contain information on morphometry, materials, processes and genesis (Klimaszevski, 1982, Barsch et al. 1987, Gustavsson et al., 2006). Such maps have formed the basis for natural hazard and risk assessment on various scales (Seijmonsbergen 1992, Seijmonsbergen and De Graaff 2006). The last decade, digital terrain models (DTM's) supply new and additional information to the battery of available statistical techniques in hazard studies (Giles et al. 1998, Miliareisis and Argialas, 2002). Techniques such as heuristic, deterministic and statistical landslide analysis (Guzetti et al. 1999, Soeters and van Westen 1996, Van Westen 2000, Moon and Blackstock 2004) all depend on the availability of (often inaccurate and low resolution) digital elevation data, digitized manually from contour line maps or through the processing of stereo air-photos or satellite imagery. This study aims at the improvement of experience-driven hazard zonation in alpine areas by combining digital geomorphological mapping and 1m resolution laser altimetry data (LiDAR). Further development of methods for the extraction of terrain variables from laser altimetry data (LiDAR) will result in semi-automated classification methods that will integrate laser altimetry datasets for the recognition of processes and landforms in alpine geosystems (see also Van Asselen and Seijmonsbergen, 2006). A total of 750 square kilometer of the geomorphology in Vorarlberg has been mapped at scale 1:10.000, using a traditional symbol-based mapping method. Recently, the University of Amsterdam in cooperation with the Research Foundation for Alpine and Subalpine Environments (RFASE) and the Nature museum 'inatura' have initiated a digital mapping inventory, which will lead to implementation of digital geomorphological maps in the local GIS system of Vorarlberg (VOGIS). Parallel to this development, newly available data, such as laser altimetry data at 1m resolution and digital false color ortho-photo's, are tested for the automated recognition, delineation and visualization of processes and landforms in a GIS environment. In combination with the calculation of zonal statistics, calculated from segmented LiDAR data, a geodatabase is used from which a hazard zonation map can be prepared using relatively simple GIS analysis in which expert-knowledge rules and automated zonal statistical techniques are combined. The value of the traditional geomorphological paper maps is that they serve as valuable documents for accuracy assessment evaluation and landscape interpretation in general. In the next decade laser altimetry terrain and surface models will become the new standard for the major part of the earth surface, most likely fed by satellite based temporal high resolution altimetry datasets. Therefore this study seeks to develop, explore and implement new scientifically sound methods that can improve current hazard assessment analyses.

AREA DESCRIPTION, GEOMORPHOLOGY AND SEMI-AUTOMATED MAPPING

Digital geomorphological mapping and area description

The digital geomorphological map example of the Gamp Valley in the Rätikon Mountains in Vorarlberg is an excerpt of an existing paper 1:10.000 scale geomorphological symbol map (Seijmonsbergen, 1992), and based on a legend for alpine areas described by De Graaff et al. (1987). For this study, the map was digitized and labeled using a standardized morphostratigraphic legend (Seijmonsbergen et al. in press) which is partly shown in table 1. This legend can also be used in direct digital field mapping in combination with mobile GIS for collecting relevant attributes determined in the field. Geomorphological processes and 'landforms and deposits' in this digital legend form the basis for delineating basic landforms

which include hazard polygons. Tests show that the use of LiDAR data as transparent backdrop imagery to aerial photographs and topographical base maps improves the delineation of landforms boundaries, especially in forested and/or inaccessible areas.

The geomorphology in the study area shows a variety of landforms, which include glacial landforms (cirques, hanging valleys, moraine deposits), landslides (rockfall, debris flows, solifluction processes, deep seated slope failures), karst landforms (surface solution, collapse dolines, cementation) and fluvial landforms and deposits (river terraces, river incisions, alluvial fans, gullies).

Tab. 1: Short version of the digital geomorphological legend and corresponding GIS codes (after Seijmonsbergen et al. in press).

Processes			Landforms and deposits	GIS code
Glacial (1000)	Erosion (1100)	1110	Glacially eroded bedrock	1111
			Glacially eroded Quaternary deposits	1112
	Accumulation (1200)	Subglacial (1210)	Landforms underlain by subglacial till s.l.	1211
		Ice Marginal (1220)	Landforms underlain by ablation till s.l.	1221
			Erosional landform	1222
			Landform underlain by fluvial deposits	1223
	Landform underlain by lake fill deposits	1224		
Fluvial (2000)	Erosion (2100)	(2110)	Incision: slope subject to fluvial erosion	2111
	Accumulation (2200)	(2210)	Recent streambed	2211
			Fluvial terrace	2212
			Alluvial fan, debris fan	2213
			Landform underlain by lake fill deposits	2214
Mass Movement (3000)	Degradation (3100)	(3110)	Slope with deep seated mass movement	3111
	Accumulation (3200)	(3210)	Slope with shallow mass movement	3112
			Landforms underlain by fall deposits	3211
			Landforms underlain by flow and/or slide deposits	3212
Periglacial (4000)	Disintegration (4100)	(4110)	Terrain subject to disintegration	4111
	Accumulation (4200)	(4120)	Rock glacier	4211
Organic (5000)	(5100)	(5110)	Landform underlain by peat deposits	5111
Karst (6000)	Carbonate karst (6100)	(6110)	Slope surface strongly affected by carbonate karst	6111
	Sulphate Karst (6200)	(6210)	Slope surface affected by gypsum karst	6211
Aeolian (7000)	Accumulation (7100)	(7110)	Landforms underlain by aeolian deposits	7111
Human (8000)	(8100)	(8110)	Graded or leveled land	8111
			Pits, quarries	8112
Water (9000)	(9100)	(9110)	River	9111
			Lake	9112

Cross sections through the upper Gampbach Valley (fig. 2) show the relations between process, slope angle and geology. The presence of gypsum (part of Raibler Formation) in the subsurface leads to a series of karst related landforms and processes, e.g. collapse karst, naked and covered karst and to fixation of Pleistocene sediments (see also Cammeraat et al. 1987). A striking example of an active deep-reaching landslide is shown in figure 1 left, photo.

Subsurface dissolution of gypsum initiated detachment and collapse/subsidence of this large dolomite rock slab, schematically represented in the cross section of fig. 2A. Accompanying rock fall and debris flows partially filled the naked gypsum karst depressions (example on right hand photo in fig. 1). Thematic maps are displayed in figure 4 together with corresponding LiDAR and false color infrared data.

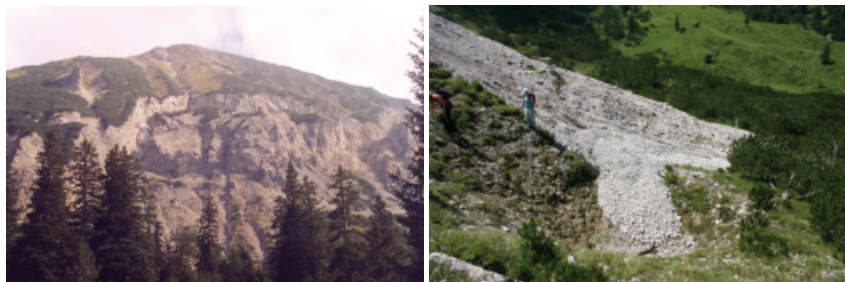


Fig. 1 Photo left: Back and side scarp of active deep reaching landslide in the Upper Gamp Valley, which was initiated by subsurface gypsum dissolution (see also fig. 2) Photo right: Debris flow partially trapped in a covered gypsum karst depression (lower foreground).

Semi-automatic mapping and classification using expert rules

High resolution Digital Terrain Models (DTM) and Digital Surface Models (DSM) can be generated by LiDAR data (Light Detection And Ranging), because part of the laser beams penetrate the vegetation cover and is reflected on the terrain surface (Clark et al. 2004, Hyyppä et al. 2004). This provides detailed morphometrical information of both forested and poorly accessible terrain. The strength of the new technique is the resolution: 1m resolution DEMs lie well within the detection limits of individual landforms. Until now, only selected geometrical derivatives of DEM data has been used to identify geomorphological features such as landslide scars, glacial erosion and floodplain geomorphology (Charlton et al., 2003, Hooper et al., 2003, Adediran et al., 2004, McKean and Roering 2004). Because of the fine landscape fragmentation in the Alps, laser altimetry data is highly suitable for analysis using object oriented analysis techniques. This technique uses multiple information for the classification of image objects, and is not restricted to ‘per pixel’ classifications (Benz et al., 2004). It is especially recommended for analyses of high resolution images (Hoffmann and Vegt, 2001; Schwarz et al., 2001; Kayakire et al., 2002) and was recently tested on a laser DEM (Asselen van, and Seijmonsbergen, 2006). The resulting objects are created in a user steered segmentation process, and potentially contain information which is used for statistical analysis and terrain classification. The units recognized should match the landforms present and processes acting in the terrain and thus reflect genetic units. Statistical information of slope angle and elevation is then compared to digital geomorphological polygons. Since many alpine landforms show inherited characteristics of landforms and processes related to former glacial periods, they can be regarded as *fuzzy land units* and as such the resulting classes can be expressed in terms of membership values (Burrough et al., 2000), which is common in object oriented classification techniques. The resulting categories are based on the highest membership values.

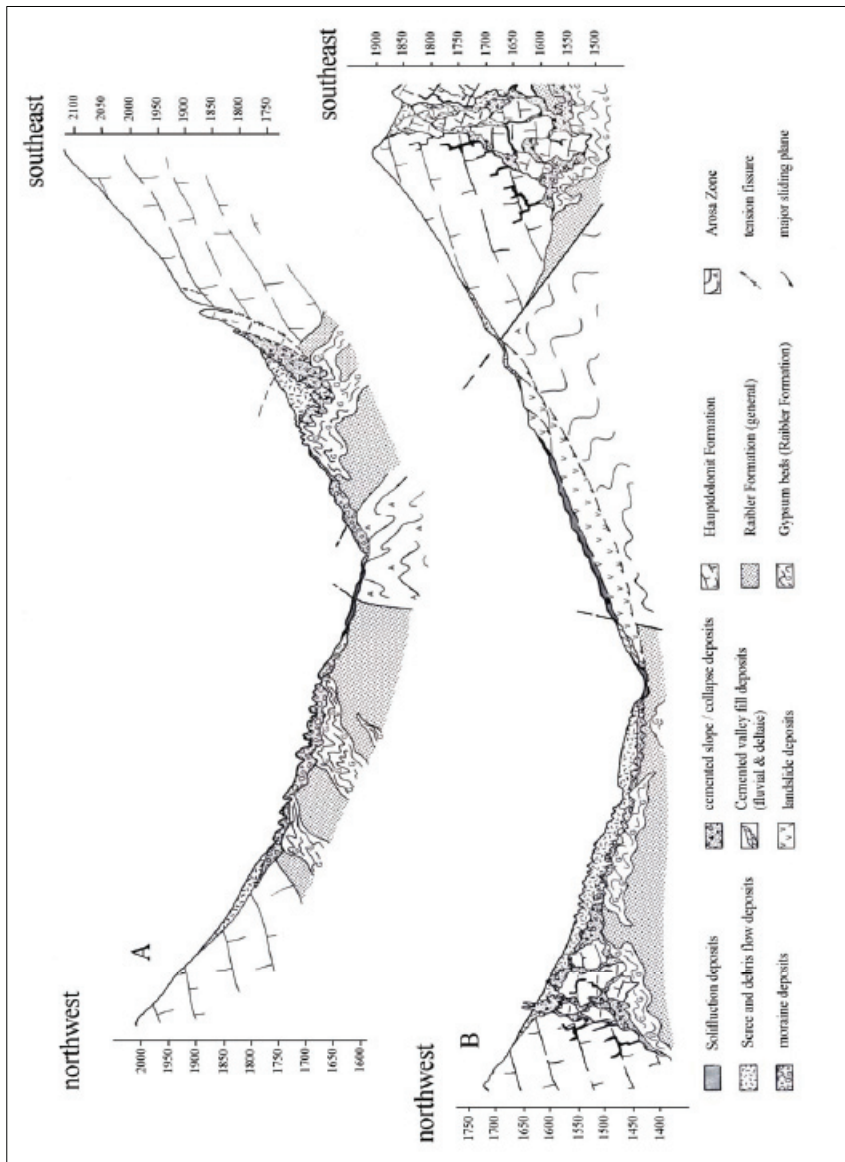


Fig. 2 Two cross sections through the upper Gampbach Valley, illustrating slope collapse in dolomite limestone initiated by gypsum dissolution in the subsurface and development of bedrock subsidence, naked and covered karst and cementation of Pleistocene deposits leading to relief inversion after deglaciation (after Seijmonsbergen, 1992).

Many landforms have distinct shapes, e.g. an alluvial fan is conical, a valley floor slopes with the river, river terraces are elevated above and slope with the river, a deep incision shows opposite slope aspects and a rock fall scree slope is located below a steep cliff, and is characterized by slope angles near the angle of repose. Undisturbed, fully intact landforms can thus be characterized by the frequency and/or association of topographical attributes, e.g. a conical shaped alluvial fan has fewer pixels in the high elevation range if compared to the lower elevation range. An example of frequency histograms for an alluvial fan in the study area is given in fig. 3. For each landform such expert knowledge rules were formulated. This geomorphological expert knowledge is used in the classification process by using zonal statistical analyses and the introduction of thresholds, e.g. scree cones have slope angles between 28-35 degrees. In this way, the statistics can be compared to standard ‘ideal’ landforms. In practice however, most landforms will miss certain parts, because of younger erosion or degradation processes. In this study, expert rules based on altitude and slope angle have been made for the common landforms. These were tested against terrain units digitized from the paper geomorphological map.

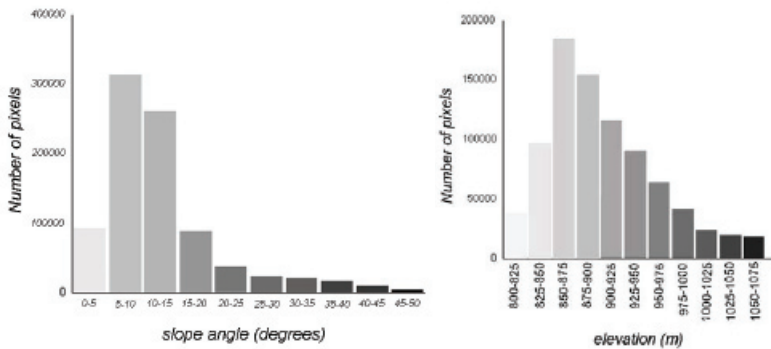


Fig. 3 Characteristic examples of the frequency distribution for slope angle (left) and elevation (right) for pixels within an alluvial fan in the study area, calculated using zonal statistics from the LiDAR data and based on the fan polygon boundary.

RESULTS

The first two digital A1-sized 1:10.000 geomorphological maps have been finished. In a GIS environment the resulting color coded digital geomorphological map can be displayed with the traditional symbol based geomorphological map as a backdrop image (fig. 4a - bottom). The linked attribute table contains information on hazard type (conform table 1) and process activity, which is categorized into three classes, R = red (active) zone, G = yellow (medium active) zone and N = green (low activity) zone (fig. 5, right). Further attributes on slope angle and altitude per land unit (see fig. 5) were imported from zonal statistical analysis, based on the LiDAR DEM. The GIS environment also allows to actually fly through the database simulating a ‘bird’s eye’ view using LiDAR data resolution, which enables visual validation and evaluation which may lead to updates of the geodatabase. In fact, the final digital geomorphological map

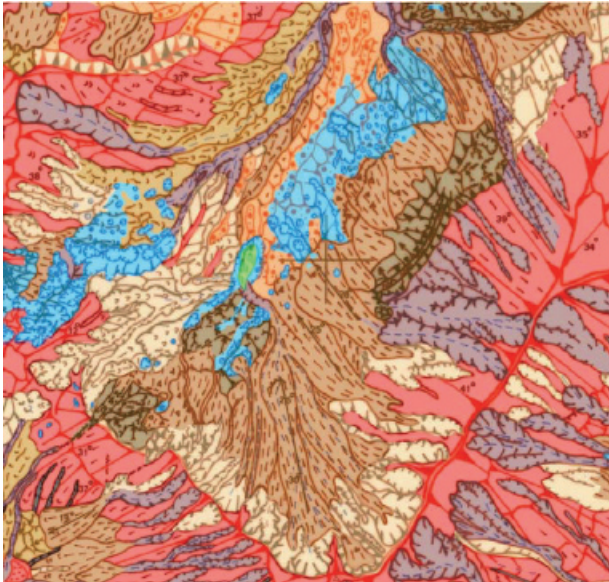


Fig. 4a Top: False Color 50 cm resolution infrared ortho-photo. Bottom: Part of the color coded digital geomorphological map and the scanned paper geomorphology map as a backdrop image. See also figure 4b, next page.

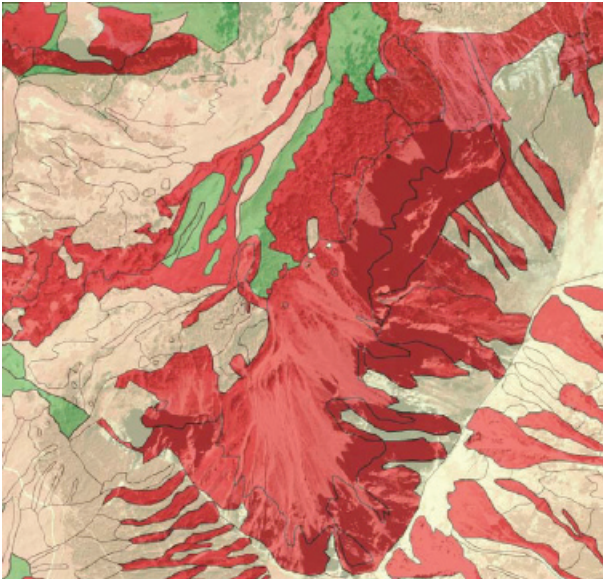
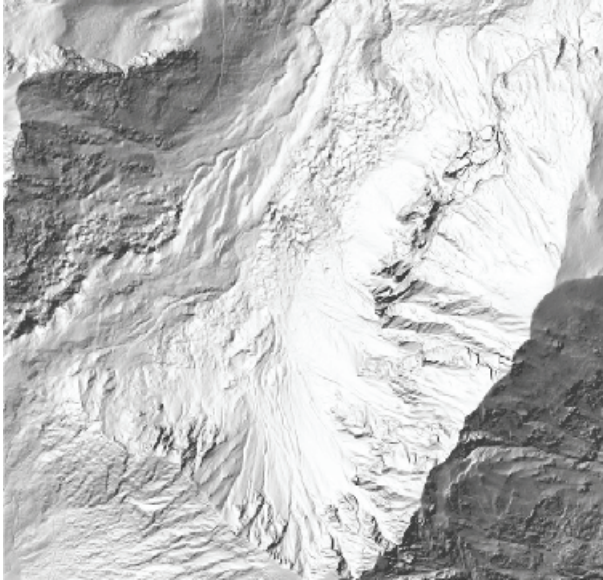


Fig. 4b Top: 1m resolution LiDAR shaded digital elevation model. Bottom: Hazard zonation map based on expert knowledge rules and LiDAR information. It displays basic polygon hazard boundaries and the false color infrared air photo as a backdrop image: Red (active) zone, Yellow (medium activity) zone and Green (low activity) zone.

was finalized by on screen comparing the boundaries of the scanned original paper map with the potential boundaries from the LiDAR data. In some cases minor changes to boundaries (not interpretations) were made by this visual assessment, while most deviations occurred in steep, forested areas. The results of zonal statistical analysis for various landforms are calculated for the geomorphological map sheet St.Gallenkich (Seijmonsbergen, 1996) in Montafon, southeast Vorarlberg (compare van Asselen and Seijmonsbergen, 2006). The first outcomes are promising (fig. 5). In general, the fluvial (alluvial fan, terraces, incisions) and glacial landforms can be separated quite satisfactory, the mass movement related landforms other than rock cliffs and rock fall deposits, show less evident relations, and partially overlap with glacial landforms. This can be explained by the fact that most mass movement landforms (slide and flow) occur along a wide altitudinal range and form often irregular detailed morphology, which is characterized by rapid changes in slope angle. Their polygenetic origin is another confusing factor.

CONCLUSIONS AND DISCUSSION

The combination of digital geomorphological maps and LiDAR data may have the following benefits for alpine hazard zonation studies. (1) existing geomorphological maps can be re-evaluated and improved during conversion into digital maps which increases accuracy of land unit boundaries (2) zonal statistical analysis of LiDAR data based on digital geomorphological polygons adds specific statistical morphometrical signatures to the digital geomorphological map (3) integration of expert knowledge rules in automated classification of LiDAR data will lead to more consistent and objective documentation of geomorphological information and (4) alpine hazard assessment studies may benefit from the improved statistical and geomorphological information offered by the combination of digital geomorphological maps and LiDAR data.

It is foreseen that integration of additional LiDAR DEM derived variables, such as aspect, upslope areas, curvature etc. will lead to even better classification of landforms and processes, which will undoubtedly improve basic hazard zonation boundaries. It is tentatively foreseen that the relative activity of processes can be extracted from LiDAR data. Initially, active landslides produce 'sharp' morphology. This morphology will be 'wiped out' over time, after levelling by younger processes. The statistical signature will change accordingly. This means that fresh and old units can potentially be separated and that polycyclic landforms, which are common phenomena in the Alps, may show a mixed signature.

The 'Land Vorarlberg' (www.Vorarlberg.at) is thanked for providing the LiDAR data. The 'Agrargemeinschaft Nenzing' is thanked for giving access to the study area. Data processing and GIS analysis was supported by the GIS-studio of IBED - University of Amsterdam.

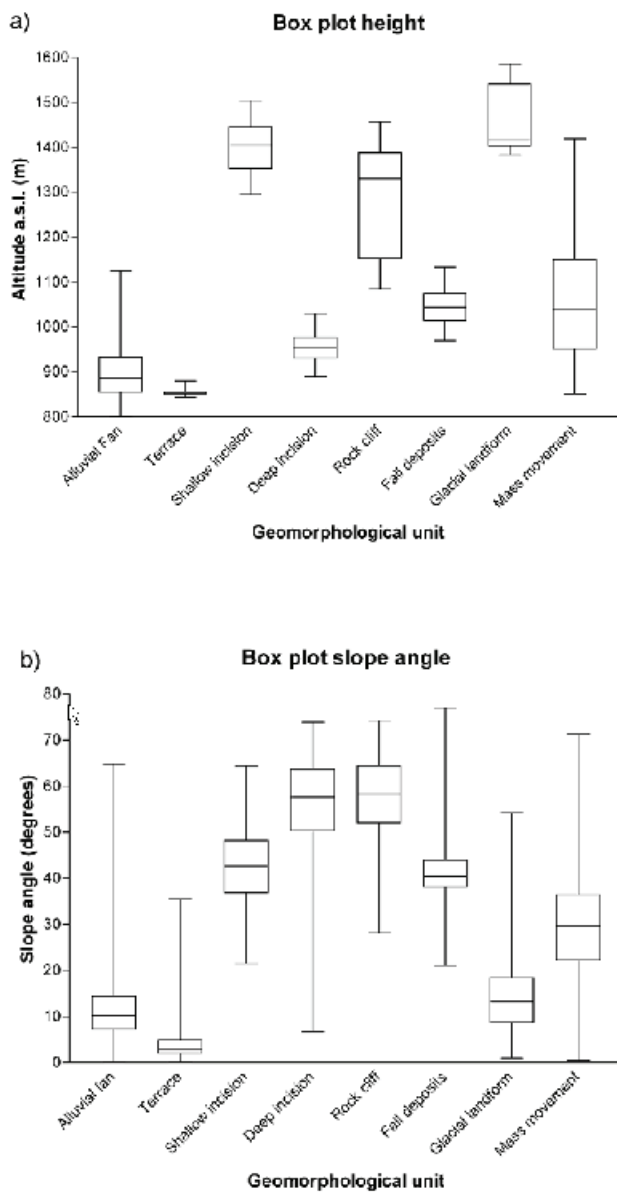


Fig. 5 Box plots of selected geomorphological units versus altitude range (a) and slope angle (b) (after van Asselen and Seijmonsbergen, 2006).

LITERATURE

- Adediran, A.O., Parcharidis, I., Poscolieri, M., Pavlopoulos, K., (2004): „Computer-assisted discrimination of morphological units on north-central Crete (Greece) by applying multivariate statistics to local relief gradients”. *Geomorphology* 58, 357-370
- Asselen van, S., Seijmonsbergen, A.C. (2006): „Expert driven semi-automated geomorphological mapping for a mountainous area using a laser DTM”. *Geomorphology* 78, 3-4, 309-320.
- Benz, U.C., Hofmann, P., Willhauck, G., Lingenfelder, I., Heynen, M., (2004): „Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information”. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 58, 239-258.
- Baatz, M. and Schäpe, A., 2000. Multiresolution segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: Strobl L, J. et al. (eds.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. Wichmann, Heidelberg: 12–23.
- Barsch, D., Fischer, K., Stäblein, G. (1987): „Geomorphological mapping of high mountain relief, Federal Republic of Germany (with geomorphology map of Königsee, scale 1:25 000)“. *Mountain Research and Development* 7, 4, 361-374.
- Burnett, C., Blaschke, T., (2003): „A multi-scale segmentation/object relationship modeling methodology for landscape analysis”. *Ecological modeling* 168, 233-249.
- Burrough, P.A., Gaans, P.F.M., van, MacMillan, R.A., (2000): „High-resolution landform classification using fuzzy k-means”. *Fuzzy sets and systems* 113, 37-52.
- Cammeraat, L.H., De Graaff, L.W.S, Kwadijk, J.K., Rupke, J. (1987): „On the origin of debris pillars in the Alps of Vorarlberg, Western Austria“. *Zeitschrift für Geomorphologie* 31-1, 85-100.
- Charlton, M.E., Large, A.R.G., Fuller, I.C., (2003): „Application of airborne lidar in river environments: the river Coquet, Northumberland, UK”. *Earth Surface Processes and Landforms* 28, 299-306.
- Clark M.L., Clark D.B., Roberts, D.A. (2004): „Small-footprint lidar estimation of sub-canopy elevation and tree height in a tropical rain forest landscape”. *Remote Sensing of Environment* 91, 68–89.
- Graaff De, L.W.S., De Jong M. G. G., Rupke, J., J. Verhofstad (1987): „A geomorphological mapping system at scale 1 : 10,000 for mountainous areas“. *Zeitschr. für Geomorph. N.F.*, 31-2, 229-242.
- Giles, P.T., Franklin, S.E. (1998): „An automated approach to the classification of the slope units using digital data”. *Geomorphology* 21, 3-4, 251-264.
- Gustavsson, M., Kolstrup, E., Seijmonsbergen A.C. (2006): „A new symbol-and-GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development”. *Geomorphology* 77, 1-2, 90-111.
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999): „Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study, Central Italy“. *Geomorphology* 31, 181–216.
- Hoffmann, A., van der Vegt, J.W. (2001): „New sensor systems and new classification methods: Laser- and Digital Camera-data meet object-oriented strategies”. *GeoBIT/GIS* 6, 16-23.
- Hooper, D.M, Bursik, M.I., Webb, F.H. (2003): „Application of high-resolution, interferometric DEMs to geomorphic studies of fault scarps, Fish Lake Valley, Nevada-California, USA”. *Remote Sensing of Environment* 84, 2, 255-267.
- Hyyppä, J., Hyyppä, H., Litkey, P., Yu, X., Haggren, H., Ronnhom, P., Pyysalo, U., Pitkanen, J., Maltamo, M. (2004): „Algorithms and methods of airborne laser scanning for forest

- measurements". ISPRS Conference – Laser Scanning for forest and landscape assessment, Freiburg, Germany, 82-89.
- Kayitakire, F., Farcy, C. and Defourny, P. (2002): „IKONOS-2 imagery potential for forest stands mapping". ForestSAT Symposium, Heriot Watt University, Edinburgh.
- Klimaszewski, M. (1982): „Detailed geomorphological maps". ITC journal 1982-3, 265-271.
- McKean, J., Roering, J. (2004): „Objective landslide detection and surface morphology mapping using high-resolution airborne laser altimetry". *Geomorphology* 57, 3-4, 331-351.
- Miliareisis, G.C., Argialas, D.P. (2002): „Quantitative representation of mountain objects extracted from the global digital elevation model (GTOPO30)". *International journal of remote sensing* 23, 5, 949-964.
- Moon, V., Blackstock, H. (2004): „A methodology for assessing landslide hazard using deterministic stability models". *Natural Hazards* 32, 111-134.
- Seijmonsbergen, A.C. (1992): „Geomorphological evolution of an Alpine area and its application to geotechnical and natural hazard appraisal in the Rätikon mountains and S. Walgau (Vorarlberg, Austria)". Ph.D. Thesis, University of Amsterdam, Physical Geography and Soil Sciences, 109 pp.
- Seijmonsbergen, A.C. (1996): „Geomorphological map sheet 1:10.000 St.Gallenkirch". Publications of the University of Amsterdam, IBED-Physical Geography.
- Seijmonsbergen, A.C., De Graaff, L.W.S. (2006): „Geomorphological mapping and geophysical profiling for the evaluation of natural hazards in an alpine catchment". *Natural Hazards and Earth System Science* 6, 185-193.
- Seijmonsbergen, De Jong, M.G.G., De Graaff L.W.S. (2008): „A method for the identification and assessment of significance of geomorphosites in Vorarlberg (Austria), supported by GIS". *Geografica Fisica i Dynamica Quaternaria* (In print).
- Schwarz, M., Steinmeier, Ch., Waser, L. (2001): „Detection of storm losses in alpine forest areas by different methodic approaches using high-resolution satellite data". *Proceedings 21st EARSeL Symposium*, Paris.
- Soeters, R., van Westen, C.J. (1996): „Slope instability recognition, analysis and zonation. In: Turner, A.K., Schuster, R.L. (Eds.), *Landslide Investigation and Mitigation*, National Research Council". *Transportation Research Board Special Report* 247, 129–177.
- Van Westen, C.J. (2000): „The modeling of landslide hazards using GIS". *Surveys in Geophysics* 21, 241-245.

THE RELEVANCE OF ACTORS' RISK KNOWLEDGE AND ITS INTEGRATION INTO FLOOD RISK MANAGEMENT

Luzius Thomi¹

ABSTRACT

This paper analyses the knowledge related to flood risks and its integration into risk management. Knowledge about flood risks is a key-factor in risk management. Still, its forms and distribution are very complex since they may vary significantly from one group of actors to another or even within one particular group. The analysis of two case studies in Switzerland has shown that the classical distinction between experts and lay people does often not reflect reality. Different forms of expert knowledge – shared by various actors – may coexist within a relatively small spatial area. Furthermore, even though today's risk management demands the participation of all concerned actors, local non-institutional actors – as well as their knowledge about flood risks – are not always integrated actively. However, this could be of great importance for risk management. As a result, knowledge transfer often follows a one-way path, i.e. from public to private actors.

Keywords: floods, risk management, actors, risk knowledge, Switzerland

INTRODUCTION

Despite the efforts made to control river flooding for over a century, Switzerland is not safe from hydrological hazards. Since 1990, floods caused loss of more than 4 billion Euros, mainly due to intensive land use and the sophistication of flood prone terrains (PLANAT 2004, Bezzola & Hegg 2007).

During the last thirty years, Swiss flood prevention policy has experienced an intense change of paradigm. The strategy of pure hazard defence has been replaced by a more pluralistic risk approach (Zaugg 2002, Ammann & Schneider 2004). This change of paradigm is due to insufficiencies in security and ecology concerns of “conventional” flood protection, which have become apparent during the last decades (Zaugg 2002, Ammann & Schneider 2004).

According to the Swiss federal strategy against natural hazards, all concerned actors have to be considered when taking measures against hydrological hazards (Ammann & Schneider 2004). Thus, there is a wide range of potentially concerned actors. They include representatives of the public administration as well as private actors such as the population, NGOs, consulting engineers, etc. (Zaugg et al. 2004). Given this diversity of actors, communication and coordination is of great importance. However, the involvement of actors is possible only if they have some basic knowledge about flood risks, their impacts and the way measures work. Thus, knowledge about hydrological risks is a key-factor in risk management. Is it absent, sketchy or based on false assumptions, actors may not be able to respond adequately to risk.

¹ Institute of Geography, University of Lausanne, Bâtiment Anthropole, CH-1015 Lausanne, Switzerland (tel.: +41 (0) 21 692 30 77; fax: +41 (0) 21 692 30 75; e-mail: luzius.thomi@unil.ch)

This paper analyses the different forms of knowledge actors possess as well as the integration of knowledge into risk management. First, risk management and the role of actors in the implementation of flood protection policies will be discussed from a theoretical point of view. Then, research layout and methods will shortly be described. Two cases in Switzerland are analysed in detail. They serve as a basis for the following discussion of the major findings. Finally, some conclusions will be drawn.

THEORETICAL FRAMEWORK

Risk Management

Risk is often defined as the product of the probability of occurrence of a hazard – a potentially dangerous “natural” process – and the expected extent of damage. The latter is a function of vulnerability, i.e. the susceptibility of an exposed element to the impact of a hazard (e.g. Renn 1992, Ammann & Schneider 2004, ISDR 2004, Kienholz 2005). This definition has been criticised for being too simplistic and restrictive. Since risk has to be considered as a social construction, it includes representations, perceptions and personal experience. Thus, it is not only objective and value-free, but involves inherently subjective elements (Slovic 1987, Kasperson et al. 1988, Renn 1992, 1995, 1998). However, some scholars emphasize the necessity of overcoming the dichotomy between technical and social sciences by developing a more holistic approach that integrates technical as well as psychological, socio-political and cultural issues (Kasperson et al. 1988, Brown & Damery 2002).

We use the term risk for an event that has not yet happened but that – when occurring – could potentially be harmful to an individual or a community (compare Saner 1990, Renn 1992, November 2002). Thus, it is inherently associated with insecurity.

Risk management is a process of decision-making leading from the detection to the mitigation of a given risk. With regard to the controversy about the concept of risk, risk management has to bring together technical as well as more socio-political and psychological aspects (compare Geipel 1992, Renn 1998, 2005). According to Renn (1998:57), it is important to consider not only the different elements of risk, but also all actors concerned: “The objective is to design cooperative planning processes in which uncertain outcomes are discussed with representatives of the affected public and the evaluation of options is performed in an active dialogue between experts, stakeholders and members of the general public.”

In the field of natural hazards, the *Integral Risk Management (IRM)* is a frequently applied concept. Embedded in a general risk dialogue involving all concerned actors, the IRM links together three main components in a so-called risk concept, that is risk analysis, risk evaluation and the integral planning of measures (fig. 1). While risk analysis investigates the hazardous process, the exposure of vulnerable elements and the damage potential in an objective and scientific way, risk evaluation consists of more socio-political and economic issues about the acceptability of a given risk and about resource allocation. Thus, it explicitly involves subjective judgment as well. The integral planning of measures² defines what should be done to reduce risk before (preparedness), during (response), and after (recovery) a disaster (Hollenstein 1997, Ammann & Schneider 2004, Kienholz 2005, Keiler & Fuchs 2007).

² The step of measure planning is sometimes called risk management (compare Hollenstein 1997, Renn 1998).

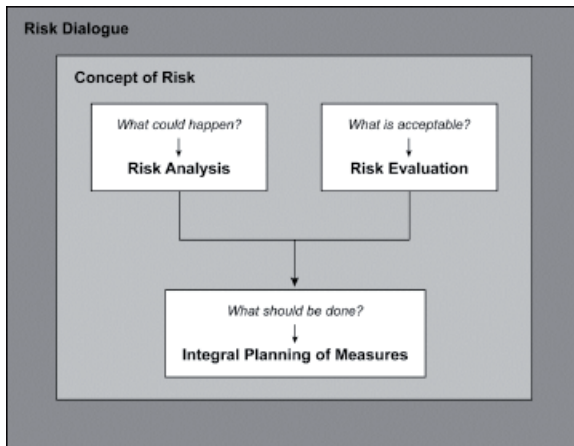


Fig. 1: The Integral Risk Management (IRM) (according to Ammann & Schneider 2004).

The IRM combines technical and social sciences as it links together the steps of risk analysis and risk evaluation. Nevertheless, the integration of socio-political and psychological aspects is still partial. Risk analysis stays a mainly technical task even though practice shows that some issues, such as damage potential and vulnerability, have a strong social, political, and economic component (Blaikie et al. 1994). Furthermore, there might be the temptation to carry out risk evaluation exclusively by applying mathematical models (e.g. for calculating collective risk or risk aversion).

However, a holistic approach is crucial for ensuring a successful risk management. Therefore, risk management should be considered as a discursive process of decision-making during which all concerned actors participate actively (compare Renn 1998, 2005, Duchêne & Morel Journel 2000). The International Risk Governance Council (IRGC) has proposed an alternative concept of risk management. The *risk governance framework* (Renn 2005) is inspired “by the conviction that both the ‘factual’ and the ‘socio-cultural’ dimension of risk need to be considered if risk governance is to produce adequate decisions and results” (Renn 2005:12). Furthermore, the importance of including all stakeholders is emphasized.

Actors

According to Knoepfel et al. (2001), an actor may be an individual, several individuals, a corporation or a social group. Everyone who is concerned by the collective problem of a public policy is considered as a potential actor. Actors may be public – i.e. politico-administrative actors, such as governmental, administrative, and judicial institutions – or private (Knoepfel et al. 2001). Within the framework of flood protection policies, the range of potentially concerned actors involves politicians, members of the public administration, emergency services, NGOs, citizens, etc. (Zaugg et al. 2004). Given the large number and the heterogeneity of these actors, there is a need of coordination and mediation in order to structure and conciliate the large number of potential interfaces. However, the attitude of actors regarding the management of hydrological risks is dependent on how they perceive them and on the relevance they attribute to protection measures (Zaugg Stern 2006). Thus, negotiation and decision-making processes may be complex and subject to conflicts.

In Switzerland, the Confederation³ designs the flood protection policy by developing concepts and strategies. Since the 1990ies, Switzerland has been applying a prospective and integrated flood protection policy including the IRM. Strategic guidelines are implemented by the cantons (States), which may edict own implementation and execution rules. Coordination, financing, and realisation of flood protection measures are usually the duty of the cantons and communes (Zaugg et al. 2004, Thomi 2005). During a disaster, the event has primarily to be managed by the commune. Subsidiary help can be requested at the cantonal and federal level.

RESEARCH LAYOUT AND METHODS

This paper aims to analyse knowledge related to flood risks and its integration into risk management. Knowledge about flood risks is far from being trivial and one-dimensional. Indeed, several recent studies (e.g. Barrué-Pastor & Barrué 1998, November et al. 2006, Reynard et al. 2006, Siegrist & Gutscher 2006) have shown that it consists of a lot of different facets: it may be precise or confuse, explicit or latent, objective or subjective. Knowledge may strongly vary between different groups of actors and even within one single group. Personal experience, emotions, and basic attitudes as well as education and information play an important role. In addition, a wide range of different forms of knowledge may coexist in a limited spatial area such as a commune.

Actually, risk management and risk communication are often implemented according to a top-down scheme. Schematically spoken, public actors – such as members of public authorities – manage flood risks and transmit information; local, non-institutional actors “bear” risk management and receive information. Thus, knowledge transfer is often a one-way flow. As a result, knowledge of all actors is not considered in the same way. Especially non-institutional actors such as the population do not actively share their knowledge. However, they are part of the system as well: they are the ones who are directly affected by both flood events and potential measures. Furthermore, they may have precise local knowledge, which could be of great interest for risk management (compare National Research Council 1989, Barrué-Pastor & Barrué 1998, Duchêne & Morel Journal 2000, Brown & Damery 2002).

Three aspects will be discussed in this paper: 1) In which way is knowledge similar or different from one actor to another? 2) How is the knowledge of different actors integrated into flood risk management? 3) How would it be possible to improve knowledge transfer between actors, especially between non-institutional ones?

Two cases have been studied in detail: the village of Saillon and the city of Berne. Analysis has been based on written sources and, primarily, on 50 semi-structured interviews (35 in Berne, 15 in Saillon) lasting one to two hours each. The interviews were recorded on MiniDisc and written down integrally. In total, the transcriptions represent about 1000 pages of text. Actors to be interviewed have been selected in order to cover all groups, which are concerned by flood risks, i.e., representatives of the local and cantonal public administration (dealing with hydraulic engineering, spatial planning, and nature protection), emergency services as well as politicians, residents, citizen associations, and private consultants (hydraulic engineering, communication, etc.). These actors were questioned about their knowledge about flood risks (former floods, factors leading to hazardous processes, potential damages) as well as about potential measures (public and private).

³ The Swiss political regime is organised according to the principles of federalism and subsidiarity.

CASE STUDIES

The Case of the Village of Saillon (Canton of Valais, Switzerland)

The commune of Saillon with its about 1'700 inhabitants is located in the Rhone Valley in the south-western part of Switzerland (canton of Valais). While the medieval part of the village is located on a small hill, the newer and larger part – built during the last 50 years – lies in the flood prone plain of the river Rhone.

In October 2000, a 100-year-flood of the river Rhone caused a dike burst some kilometres upstream of Saillon. Some of the water, which inundated the adjacent flood plain, reached Saillon by a complex drainage system some six hours later, where it flooded the newer part of the village (OFEG & WSL 2002).

Even though there has been no inundation caused by the Rhone river for about 50 years, the region was flooded several times during the decades and centuries before. Almost until World War II the flood plain consisted partially of marsh land – as local names such as “sandy moor road” still remember today. Two large river training campaigns in the late 19th century and in the first part of the 20th century and a sophisticated drainage and canal system made the flood plain habitable. Today, the village of Saillon is protected from floods of the Rhone river by a dike overtopping the plain by three to four meters.

Between the late 1980ies and the early 1990ies, several floods in the canton of Valais revealed the necessity of a systematic readjustment of the Rhone river watercourse (Third Rhone Correction). Preliminary studies by the cantonal administration afforded an insight into the risk of flooding by dike burst or by the insufficient hydraulic capacity of the river channel. However, this kind of knowledge has not reached the commune of Saillon. Table 1 resumes the coexisting characteristics and forms of knowledge before 2000.

Tab. 1: Characteristics and forms of knowledge before the inundation in October 2000.

Actor	Characteristics	Forms
Cantonal administration	complete, scientific, explicit	Precise knowledge about floods of the Rhone river due to detailed studies carried out in the 1990ies. However, this knowledge is less precise and complete in services, which are not working in the field of hydraulic engineering.
Communal administration	very fragmentary, vernacular	Almost no knowledge of potential floods of the Rhone river. Some basic knowledge about other sources of inundations such as an increasing groundwater level or a dam failure.
Fire brigade (communal)	fairly complete, rather vernacular, explicit	Some knowledge about a possible burst of the Rhone river dike near Saillon.
Residents	very fragmentary, vernacular, rather latent	Especially younger residents have almost no knowledge about flood risks due to the Rhone river. However, some elderly residents remember not only the marsh land and past inundations, but they have also precise knowledge about the micro-topography of the flood plain.
Farmers	quite complete, vernacular, explicit	Quite precise knowledge about the former marsh land and inundations caused by the Rhone river.

In general, the 2000 flood has improved risk knowledge as well as risk awareness. For the majority of the interviewed actors, the experience of the flood has become an important source of knowledge. Nevertheless, there are some nuances. Especially members of the cantonal administration as well as elderly people and farmers have already had precise knowledge before 2000. Their knowledge has been confirmed, but not modified profoundly. On the other side, fundamentally new knowledge has been generated within the communal

actors and the residents. Based on studies and expertises, the communal administration has enlarged its knowledge making it more explicit and complete as well as less vernacular. However, as the village of Saillon grows rapidly (about 250 supplementary residents between 2000 and 2006⁴), there are more and more inhabitants that have not experienced the inundation. Even though the commune and the canton keep the population posted about flood risks and measures, there is no systematic plan for providing information to new residents. The inundation also reactivated knowledge about the micro-topography – i.e. small scale elevation and depressions – of the flood plain, a knowledge that was only shared by some elderly people before 2000. Indeed, sectors, which are still called “Les Îlots” (small island), were less inundated than others.

At the communal level, there were no particular measures against flood risks before 2000. After the inundation, a local crisis management group was created and building regulations were adapted in order to allow the construction of slightly higher houses, a change that permits now to build houses on an earth bank, i.e. above the water level of an inundation. Even though this possibility has been seized immediately after 2000, most houses, which are currently in construction, are directly built on the ground level. At the cantonal level, measures mainly concentrate on improvements in organisation and communication during a flood event, on the training of local crisis management groups, and on the Third Rhone Correction.

The case of Saillon shows that knowledge about flood risks was very heterogenic and its distribution unequal. Obviously, there was a lack of knowledge transfer both from the cantonal to the communal level and within the commune itself. For instance, knowledge of elderly people and farmers was not taken into account. The flood enhanced knowledge at all levels and it improved knowledge transfer, especially between the cantonal and the communal administrations and within them. However, knowledge transfer among private actors as well as between residents and the public administration is still insufficient. Furthermore, it seems that the integration of all relevant knowledge keeps to be incomplete. Even though getting regularly informed, the population does not actively take part in a risk dialogue or even in risk management.

The Case of the City of Berne (Canton of Berne, Switzerland)

The city of Berne (127'000 inhabitants) is located in the western central part of Switzerland. While the major part of the city is not flood prone, the historical quarter called “Matte” (1'150 inhabitants) lies directly on the river Aare (Stadt Bern 2007). During centuries, workshops used the river water to drive machines. Today, the quarter is primarily a residential zone, but there are still numerous offices as well as trading and workshop facilities. The Matte quarter has regularly been inundated either by the river Aare or by an increasing groundwater table. Since 1918 the discharge of the river has reached or exceeded the limit of damage (380 m³/s) for 26 times (IC Infraconsult AG 2006), in general without causing high loss. Since the beginning of the 1990ies, frequency and magnitude of flood events seem to increase. The case study essentially concentrates on the impacts of the two major floods in 1999 and 2005 (fig. 2). During the last decade, there were also two minor floods in 2004 and 2007.

In May 1999, heavy rainfall and coincident snow melt were at the origin of the highest discharge of the river Aare since the beginning of systematic measurement in 1918, having a

⁴ According to the website of the Swiss Federal Statistical Office, www.bfs.admin.ch (accessed on 18.9.2007).

statistically return period of more than 200 years (Aschwanden 2000). The flood and the increased groundwater table caused a static inundation in the Matte quarter.

Given the number of flood events during the last decades, almost all actors interviewed had some knowledge about flood risks in the city of Berne. However, before 1999, this knowledge concerned more the risk of flooding in general than the precise magnitude of a particular inundation. Thus, after 1999, existing knowledge about flood risks was adapted, incorporating especially the new quality of magnitude (depth of inundation). However, the flood was rapidly qualified as a very rare event. Therefore, a repetition of a similar flood was thought to be almost impossible at short- and medium-term.

Before hydraulic engineering measures could be planned, knowledge about hydrologic characteristics, bed load discharge, and ecological parameters had first to be generated. Knowledge has not only been improved by the public administration, but also by residents, e.g. within the local citizen association. The latter used this newly generated knowledge for claiming its interests at the municipal administration. For instance, the association warned of a possible clogging of the regulation weir, which lies upstream of the Matte quarter. It was argued that such an obstruction could deviate the water through the streets. However, it seems that this scenario has not been considered as a real risk outside the local population.

Between 1999 and 2005, long-term hydraulic engineering measures were studied, but none was realized. It was only in early 2005 that the planning was intensified. Nevertheless, some improvements have been made by the emergency services: they slightly adapted scenarios and they prepared material for future interventions. Finally, several residents protected their buildings by sealing up entrances and windows as well as by installing water-pumps.

In August 2005, intense and long enduring precipitations rapidly increased the discharge of the river Aare again. This time, driftwood clogged the regulation weir and the water flow through the streets of the Matte quarter reaching a maximal depth of about 2 m (Schudel 2005, Bezzola & Hegg 2007).

Instead of several days as in 1999, the increase of discharge lasted only some hours (fig. 2). Since emergency services assumed that the flood would develop in a similar manner as it did in 1999, response could not cope with the event during the first hours. It was neither quick enough nor adequate. Many residents underestimated the situation as well: instead of clearing cellars and removing cars immediately during night, they waited for the morning – but in the morning, it was too late and the quarter flooded.

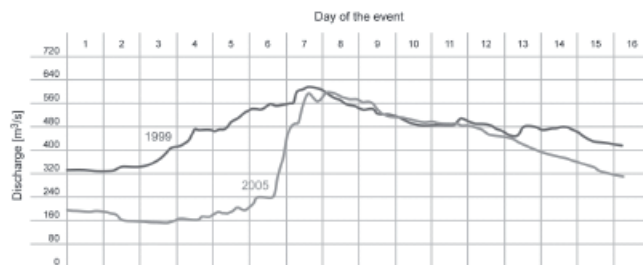


Fig. 2: Hydrograph of the floods in 1999 and 2005 (according to Schudel 2005).

The 2005 event fundamentally changed knowledge about flood risks, which, before, was thought to be quite good. Beside the type of event (static versus dynamic inundation) and its temporal evolution (slow versus quick), this change of knowledge also concerns season:

floods of the river Aare may not only occur in spring time when rainfall coincides with snow melt, but also during summer.

This new insights were at the origin of several adaptations. Whereas the planning of long-term measures was fostered, immediate measures improved warning systems and emergency intervention. Furthermore, many inhabitants have enhanced their own protection equipment (mobile barriers, sandbags, water-pumps, etc.). In August 2007, these immediate measures proved to be effective, although the flood was minor.

The case of the city of Berne shows how knowledge about flood risks has continuously been adapted in accordance with several consecutive flood events. It demonstrates that experience always has to be combined with other forms of knowledge in order to prevent false assumptions. On the other hand, the case study queries the classical conception of lay people (i.e. local population) and experts (i.e. public administration, consultants, etc.). Several residents proved to have precise scientific knowledge about flood risks. Furthermore, by the means of the local citizen association, they generate, share, and transfer knowledge within their neighbourhood and they try to influence risk management by manifesting their interests. However, different kinds of knowledge interpretation may lead to severe conflicts during negotiation and decision-making processes.

DISCUSSION

With regard to the forms of knowledge, the cases of Saillon and Berne differ significantly. In Berne, knowledge distribution is almost independent of the type of actor. Even though there are some differences due to their background and working field, almost all actors have basic knowledge about the origin and the impact of floods as well as about possible measures, at least after 1999. This is not the case in Saillon where characteristics and forms of knowledge vary a lot between actors.

Especially the knowledge at the population's level is very heterogenic. In Saillon, there is an important division between younger inhabitants on the one hand and elderly people as well as farmers on the other hand. A similar distribution of knowledge could not be found in Berne. On the contrary, within the citizen association vernacular and local historic knowledge is enlarged by scientific knowledge. Both cases show that there is no simple dichotomy between lay and expert people. Indeed, "lay" and "expert" knowledge is less dependent on the type of actor, but more on the perception of flood risks and on the socio-political relevance attributed to risk. However, the way of interpreting knowledge as well as different perceptions and priorities may lead to severe conflicts. Finally, "expert" knowledge is not homogenous.

Experience is a central element of knowledge about flood risks (compare Siegrist & Gutscher 2006), but its role is double-edged. Is it absent, management of flood risks lacks of a reference point. It has therefore to be based on imagination, models, extrapolations, etc. and its results may be uncertain. On the other hand, experience-based knowledge may lead to false assumption about future events (see the case of Berne) and, therefore, to an inappropriate response. This is due to the fact that experienced events are often considered as a universally valid reference. Alternative scenarios are not seriously taken into account. Thus, although knowledge has to consider experience, it must also be based on other sources. Nevertheless, consecutive experience of floods helps constituting a collective memory since it refreshes knowledge.

Risk management primarily involves public actors as well as some selected external experts. Local non-institutional actors are not (Saillon) or only partially (Berne) involved. The situation is quite similar in matters of knowledge since, in general, knowledge of non-institutional actors is not explicitly integrated. However, this would be of great importance as shown by the cases of Saillon and Berne.

The following paragraphs review the three components of the Integral Risk Management (IRM) with regard to the actors' configuration and the integration of knowledge (fig. 1). Carried out by the public administration and their external consultants, risk analysis produces analytic knowledge using scientific methods. Knowledge about natural processes and their impacts indeed has to be objective and scientific. However, the case of Saillon shows that vernacular and experience-based local knowledge might complete analytic findings.

In practice, the step of risk evaluation seems to play a subordinate role. Neither in Saillon nor in Berne it is conceptualized as an individual component of risk management and considered as an inevitable element. Of course, questions referring to risk evaluation are not completely omitted. They are generally answered by public actors, without explicitly integrating local non-institutional ones. Nevertheless, precise conceptualization and implementation of risk evaluation would be of great importance. Indeed, risk evaluation defines the acceptability of a given risk and it allocates limited public resources. It is a societal task and needs therefore the participation of all concerned actors, whether they are public or private, institutional or non-institutional. However, this presupposes that these actors have some basic knowledge about the dangerous processes and their impacts (risk analysis) in order to be able to participate.

Divergent objectives reflecting different perceptions and (socio-economic and political) priorities make it difficult to find solutions likely to be accepted by a majority. Since risk acceptability and resource allocation are often not negotiated within a specific risk evaluation step, these issues have to be treated during the planning of measures. This complicates decision-making processes and, in extreme cases, it can lead to a complete blockage of the whole measure planning process. In the city of Berne, such divergent priorities about the protection level have led to severe conflicts between residents – i.e. the citizen association – and the municipal administration. A clearly conceptualized and implemented step of risk evaluation involving all concerned actors may facilitate the planning of measures since the level of protection as well as the available resources would be defined more precisely.

Knowledge about dangerous processes and their potential impacts is inevitable for taking appropriate measures. The case of the Matte quarter shows that, with precise knowledge about potential floods, the population can take effective small-scale measures. However, knowledge and risk awareness are extremely volatile and may rapidly get lost. This has an immediate impact on the likeliness that residents take measures on their own initiative as revealed by the case of Saillon. Therefore, it is essential that knowledge is regularly refreshed – both at the public and private actors' level – and that its transfer is guaranteed.

There is a double lack of integration: risk management does not consider all actors concerned and all knowledge is not taken into account in an equal manner. There are several reasons for this situation. Risk management and knowledge transfer is still seen as a top-down task: public administration manages and private actors such as residents, entrepreneurs, etc. receive. This conception leads to a false assumption of a universally valid dichotomy between experts and lay people. Even though this dichotomy may exist in some cases, it is too simple and does not reflect reality in the field of flood risks. Finally, risk management is conceptualized as a purely technical approach. This might explain the marginal position of risk evaluation in today's risk management. According to the risk governance framework (Renn 2005), the conception of dealing with flood risks has to be enlarged by non-technical aspects such as socio-economic, political, or cultural issues. This conception presupposes that

local non-institutional actors have personal responsibility. However, this is in contradiction with the attitude of a part of private actors, which expect from public authorities that they guarantee total security without any contribution by the population.

In conclusion, it is important to integrate systematically all actors and their knowledge at every step of risk management. This means also that conceptualization and implementation of risk evaluation have to be improved, namely by providing the needed structures.

The clash of knowledge interpretations – as well as the underlying risk perceptions and socio-political and economic priorities – may lead to conflicts. Due to the plurality of knowledge interpretations, these conflicts risk to be more violent and complex when the number of considered actors increases. Nevertheless, such conflicts are part of the negotiation and decision-making process in risk management and they have to be argued out. In this sense, dealing with flood risks has to be seen as a socio-political process of problem definition and solution finding.

Often, responsibility of risk management is incumbent on one particular service of public administration. However, this service is not neutral: it represents public authorities and makes its own knowledge interpretations. In some cases, this may create conflicts and, in the worst case, its authority in directing risk management may be queried. As an alternative, risk management – or a part of it – may be led by an external neutral mediator, which is accepted by all actors.

In order to foster knowledge at the private actors' level, communication should not only follow a top-down path, but should take place in all directions at all interfaces between actors. Knowledge can be exchanged in numerous ways. For instance, there may be talks or excursions held by a member of public administration or by a private person having some particular local knowledge; annual events may be organised in order to remember a flood event; or children may be taught at school about local flood risks. The crucial point is that local residents having precise knowledge about flood risks are actively integrated, even if their knowledge is more vernacular than scientific.

Such local residents might play an important role in risk management. On the one hand, they are integrated in the local community. On the other hand, they have precise local knowledge about flood risks. Thus, local “experts” could constitute a linking element between public and private actors. This would allow to improve the integration of local, vernacular knowledge. At the same time, these persons could transmit information and knowledge of public actors towards local people.

CONCLUSIONS

Three main conclusions can be drawn: 1) Although some literature leads us to assume that there is a dichotomy between experts (i.e., members of public administrations, scholars, etc.) and lay people (i.e., population having no particular knowledge about a specific topic), reality is different. So-called lay people may have very precise knowledge about flood risks and past events. This knowledge is of great importance in risk management as well as in risk communication. 2) At the institutional actors' level, types and characteristics of knowledge vary a lot. This is especially due to the working field of the actor (hydraulic engineering, spatial planning, emergency planning, etc.) and the administrative level (commune, canton, Confederation). Thus, even “experts” do not share *one* general and global knowledge and, therefore, it is not possible to talk about *the* expert knowledge. 3) To improve knowledge transfer, local people with some knowledge about flood risks may play a role as an intermediary between the authorities and the population. The advantage is that they have some knowledge about flood risks, but, in contrary to the authorities, they are physically and

psychologically closer to the population. They have personal contacts, they know the local circumstances and they are part of the civil society.

ACKNOWLEDGEMENTS

The two case studies of Saillon and Berne were supported by the State Secretariat for Education and Research (SER) within the framework of the Action COST C19 *Proactive crisis management of urban infrastructure* (coordinated by Valérie November, Swiss Federal Institute of Technology Lausanne, and Emmanuel Reynard, University of Lausanne). Sincere thanks are given to all actors that have accepted to be interviewed. Last but not least, we would like to thank the two anonymous reviewers.

REFERENCES

- Amman, W., Schneider, T. (2004): „Strategie Naturgefahren Schweiz. Synthesebericht in Erfüllung des Auftrages des Bundesrates vom 20. August 2003“, Biel, Nationale Plattform Naturgefahren.
- Aschwanden, H. (2000): „Hochwasser 1999. Analyse der Messdaten und statistische Einordnung“, Hydrologische Mitteilungen 28, Bern, Landeshydrologie und -geologie, Bundesamt für Wasser und Geologie.
- Barrué-Pastor, M., Barrué, M. (1998): „Mémoire des catastrophes, gestion des risques et architecture paysanne en montagne. L'exemple des vallées du Haut-Lavedan dans les Pyrénées centrales françaises“, Revue de Géographie Alpine, Vol. 2, 25-36.
- Bezzola, G.R., Hegg, C. (eds.) (2007): „Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 1: Prozesse, Schäden und erste Einordnung“, Umwelt-Wissen Nr. 0707, Bern, Bundesamt für Umwelt, Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- Blaikie, P., Cannon, T., Davis, I., Wisner, B. (1994): „At Risk. Natural hazards, people's vulnerability, and disasters“, London, New York, Routledge.
- Brown, J.D., Damery, S.L. (2002): „Managing flood risk in the UK: towards an integration of social and technical perspectives“, Trans Inst Br Geogr, Vol. 27, 412–426.
- Duchêne, F., Morel Journel, C. (2000): „Riverains de cours d'eau et gestionnaires du risque, un dialogue impossible ?“, Géocarrefour, Vol. 75/3, 221.
- Geipel, R. (1992): „Naturrisiken: Katastrophenbewältigung im sozialen Umfeld“, Darmstadt, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Hollenstein, K. (1997): „Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken“, Zürich, vdf Hochschulverlag, ETH Zürich.
- IC Infraconsult AG (2006): „Hochwasserschutz Aare Bern. Variantenvergleich und Darstellung der Auswirkungen“, Bericht Entwurf, Bern, Tiefbauamt der Stadt Bern.
- ISDR (ed.) (2004): „Living with Risk. A global review of disaster reduction initiatives“, New York, Geneva, International Strategy for Disaster Reduction (ISDR), United Nations.
- Kasperson, R.E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H.S., Emel, J., Goble, R. Kasperson, J.X., Rattick, S. (1988): „The Social Amplification of Risk: A Conceptual Framework“, Risk Analysis, Vol. 8, 177–188.
- Keiler, M., Fuchs, S. (2007): „Das Risikokzept in der Naturgefahrenforschung“, in: Ernst & Sohn Verlag (ed.): 1. Departmentkongress Bautechnik und Naturgefahren, 10.–11.5.2007, Wien, 50–54.
- Kienholz, H. (2005): „Analyse und Bewertung alpiner Naturgefahren – eine Daueraufgabe im Rahmen des integralen Risikomanagements“, Geographica Helvetica, Vol. 60/1, 3-15.

- Knoepfel, P., Larrue, C., Varone, F. (2001): „Analyse et pilotage des politiques publiques“, Analyse des politiques publiques 2, Genève, Basel, München, Helbing & Lichterhahn.
- National Research Council (1989): „Improving Risk Communication“, Washington D.C., National Academy Press.
- November, V. (2002): „Les territoires du risque: le risque comme objet de réflexion géographique“, Berne, Peter Lang.
- November, V., Reynard, E., Barbisch, C., Boulianne, L., Delaloye, R., Penelas, M., Ruegg, J., Thomi, L., Zaugg Stern, M. (2006): „Vulnérabilité des infrastructures urbaines et gestion de crise. Impacts et enseignements de cas d'inondation en Suisse“, Rapport final élaboré dans le cadre de l'Action COST C19 "Proactive Crisis Management of Urban Infrastructure", Genève, Université de Genève.
- OFEG, WSL (2002): „Les crues 2000. Analyse des événements, cas exemplaires“, Rapports de l'OFEG, Série Eaux, Nr. 2, Berne, Office fédéral des eaux et de la géologie (OFEG), Eidg. Forschungsanstalt WSL.
- PLANAT (2004): „Sicherheit vor Naturgefahren. Vision und Strategie“, PLANAT Reihe 1/2004, Biel, Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT).
- Renn, O. (1992): „Concepts of Risk: A Classification“, in: Krinsky, S., Golding, D. (eds.): „Social Theories of Risk“, Westport, Praeger, 53–79.
- Renn, O. (1995): „Individual and Social Perception of Risk“, in: Fuhrer, U. (ed.): „Ökologisches Handeln als sozialer Prozess“, Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser, 27–50.
- Renn, O. (1998): „The role of risk perception for risk management“, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 59, 49–62.
- Renn, O. (2005): „Risk Governance. Towards an Integrative Approach“, White Paper 1, Geneva, International Risk Governance Council.
- Reynard, E., Thomi, L., November, V., Barbisch, C., Penelas, M. (2006): „Apprendre par les catastrophes naturelles : le cas des inondations récentes en Suisse“, Actes du Deuxième congrès international "L'eau en montagne", 20.–23.9.2006, Megève.
- Saner, H. (1990): „Formen des Risikos“, Schweiz.Z.Soziol., Vol. 3, 283–296.
- Schudel, B. (2005): „Sommerhochwasser 2005. Daten und Fakten zu den Hochwassern und Überschwemmungen im August 2005 im Kanton Bern, Provisorische Angaben (Stand: 12. September 2005)“, Bern, Wasser- und Energiewirtschaftsamt (WEA) des Kantons Bern.
- Siegrist, M., Gutscher, H. (2006): „Flooding Risks: A Comparison of Lay People's Perceptions and Expert's Assessments in Switzerland“, Risk Analysis, Vol. 26/4, 971–979.
- Slovic, P. (1987): „Perception of risk“, Science, Vol. 236, 280–285.
- Stadt Bern (2007): „Statistisches Jahrbuch der Stadt Bern. Berichtsjahr 2005“, Bern, Statistikdienste der Stadt Bern.
- Thomi, L. (2005): „La gestion de l'aménagement des cours d'eau dans les cantons suisses de Glaris, de Berne et du Valais“, Geographica Helvetica, Vol. 60/1, 35-43.
- Zaugg, M. (2002): „More space for running waters: Negotiating Institutional change in the Swiss flood protection system“, GeoJournal, Vol. 58, 275-284.
- Zaugg, M., Ejderyan, O., Geiser, U. (2004): „Normen, Kontext und konkrete Praxis des kantonalen Wasserbaus. Resultate einer Umfrage zu den Rahmenbedingungen der kantonalen Ämter oder Fachstellen für Wasserbau bei der Umsetzung der eidgenössischen Wasserbaugesetzgebung“, Schriftenreihe Humangeographie 19, Zürich, Geographisches Institut, Universität Zürich.
- Zaugg Stern, M. (2006): „Philosophiewandel im schweizerischen Wasserbau. Zur Vollzugspraxis des nachhaltigen Hochwasserschutzes“, Schriftenreihe Humangeographie 20, Zürich, Geographisches Institut, Universität Zürich.

VERLETZLICHKEIT VON GEBÄUDEN UND WIRKSAMKEIT VON OBJEKTSCHUTZMASSNAHMEN

BUILDING VULNERABILITY AND THE EFFECTIVENESS OF PROPERTY PROTECTION MEASURES

Pierre Vanomsen¹, Thomas Egli²

ZUSAMMENFASSUNG

Das Hochwasserereignis 2005 liefert zahlreiche Fallbeispiele, um die Verletzlichkeit der Gebäude und die Wirksamkeit von Objektschutzmassnahmen an Gebäuden zu untersuchen.

Die Gebäudeverletzlichkeit wird in Bezug auf den Prozess Hangmuren anhand von Fallbeispielen dargestellt. Mit einfachen Modellen wird die Einwirkung des Prozesses abgeschätzt und mit Berechnungen der Gebäudestatik verglichen. Die Untersuchung liefert folgendes Bild: Die herkömmlichen, einfachen Abschätzungen der Prozesseinwirkung liefern keine befriedigenden Resultate. Die Ergebnisse der baustatischen Berechnung und die Abschätzungen der Prozesseinwirkung liefert eine grosse Streuung.

In dieser Untersuchung werden Objektschutzmassnahmen anhand erfolgreicher und fehlgeschlagener Vorkehrungen dargestellt, die Schlüsselfaktoren und das Kosten-Nutzen-Verhältnis ermittelt. Es stellt sich heraus, dass eine Schutzmassnahme erfolgreich ist, wenn das Gefahrenzenario richtig eingeschätzt und die Schutzmassnahme eine hohe Zuverlässigkeit besitzt. Die Zuverlässigkeit hängt ab von der Tragsicherheit (ist die Massnahme richtig bemessen?), der Gebrauchstauglichkeit (temporärer oder permanenter Bau?) und der Dauerhaftigkeit (ist die Zuständigkeit für den Unterhalt und den Einbau im Ereignisfall geregelt?).

Keywords: Hochwasser, Hangmuren, Verletzlichkeit, Objektschutz, Wirksamkeit

ABSTRACT

The flooding in 2005 provides many examples for an analysis of building vulnerability and the effectiveness of property protection measures. Case studies of buildings exposed to debris flow will be examined to address the issue of building vulnerability. Simple models will be used to evaluate the impact of the debris flow process and then compared to structural calculations. The analysis yields the following results: basic, conventional evaluations of process impact do not provide satisfactory results. The results of the structural calculations and the appraisal of the process impact demonstrate very significant variations.

¹ Dr. Ing. ETH, Egli Engineering, Gutenbergstrasse 20, 3011 Bern, Schweiz, vanomsen@naturgefahr.ch

² Dr. Ing. ETH, Egli Engineering, Lerchenfeldstrasse 5, 9014 St. Gallen, Schweiz, egli@naturgefahr.ch

During this investigation, examples of successful and unsuccessful provisions will be used to illustrate protection measures; we will establish the key factors and determine the cost-benefit ratio. It becomes clear that protection measures are successful if the hazard scenario is correctly appraised and the measures employed possess a high degree of reliability. Reliability depends upon structural safety (is the protective measure correctly dimensioned?), the fitness for purpose (is the installation temporary or permanent?) as well as its durability (has someone been assigned to maintain the protection measures and install them when they are needed?).

Keywords: flooding, flow slide, vulnerability, property protection, effectiveness

AUSGANGSLAGE

Beim Hochwasserereignis 2005 wurden zahlreiche Gebäude beschädigt, doch nur wenige Gebäude waren auf die Einwirkungen konstruktiv vorbereitet [2]. Ein wichtiger Grund dafür stellt das fehlende Wissen im Bereich des Gebäudeschutzes dar:

Betreffend der Grössen der Einwirkungen sind viele Unbekannte vorhanden und eine Dimensionierung der Objektschutzmassnahme ist schwierig. In dieser Untersuchung soll die Verletzlichkeit von Gebäuden in Bezug auf die aufgetretenen Intensitäten der Gefahrenprozesse überprüft werden (Kapitel ‚Verletzlichkeit der Gebäude‘).

Weiter werden bereits vor dem Hochwasser 2005 bestehende Objektschutzmassnahmen auf ihre Funktionstüchtigkeit beim Ereignis 2005 geprüft und die Schlüsselfaktoren für einen erfolgreichen Objektschutz ermittelt (Kapitel ‚Objektschutz an Gebäuden‘).

VERLETZLICHKEIT DER GEBÄUDE

Die Verletzlichkeit von Gebäudeträgwerken wird in Bezug auf die aufgetretenen Einwirkungen durch die Gefahrenprozesse überprüft. Die Einwirkung wird mit verschiedenen einfachen Modellen abgeschätzt und mit baustatischen Berechnungen verglichen. Daraus ergibt sich eine Bandbreite der möglichen Belastungen.

Fallbeispiel Vitznau



Am 22. August 2005 beschädigte eine Hangmure die bergseitige Fensterfront einer Schreinerei. Das langsame Losrutschen der Erdmasse kurz vor Arbeitsende wurde bemerkt und Sofortmassnahmen konnten eingeleitet werden. Diese bestanden darin, dass Schalungstafeln vertikal, im Doppel und von aussen vor die Fensterfront gestellt wurden. Der Erfolg war gering; mit Ausnahme des dritten, nur wenig angestauten Fensters, wurden die beiden anderen eingedrückt (Abb. 1 und 2).

Abb. 1: Aufstauung der Erdmassen an der Prallwand. Gut sichtbar ist das linke und mittlere Fenster (Foto: Egli Engineering).

Fig. 1: Accumulation of earth at the impact surface. The middle and left-hand windows can clearly be seen (photo: Egli Engineering)

Methode

Die Einwirkung wird aufgrund der äusserst geringen Geschwindigkeit der Hangmure mit dem Erdruchdruck charakterisiert; dieser stellt den tiefsten anzunehmenden Wert dar.

Mit Hilfe von baustatischen Berechnungen wird abgeschätzt, wie gross die Druckwerte bis zum Versagen der Schalungstafeln sind. Die Druckwerte hängen von den Stauhöhen ab, welche bei allen drei Fenstern unterschiedlich sind. Das Widerstandsmoment der Fenster wird vernachlässigt.

Ergebnis

Der statische Erdruchdruck ist der minimale Druck, der auf die Prallwand wirkt, die dynamische Komponente wird dabei nicht berücksichtigt. Die Berechnung ergibt nach [5] einen maximalen Druck auf Bodenebene.

$$e_0 = \rho \cdot g \cdot h \cdot K_0$$

e_0 : Erdruchdruck bodeneben [kN/m²]

ρ : Dichte des wassergesättigten Bodens, 1800 kg/m³

g : Erdbeschleunigung, 9,81 m/s²

h : Ablagerungshöhe, Prallwand 2.2 m, Fenster links 2.1 m, Fenster Mitte 1.6 m, Fensterrechts 1.1 m

K_0 : Beiwert, 0.5. Aus [5] ist $K_0 \approx 1 - \sin(\varphi)$ und $\varphi = 30^\circ$

Der statische Erdruchdruck beträgt bei der Prallwand 19 kN/m². Die Fensterfront befindet sich rund 0.2 m über der Terrainhöhe, der maximale Erdruchdruck beträgt damit für das linke Fenster 17 kN/m², für das mittlere Fenster 12 kN/m², für das rechte Fenster 8 kN/m².

Für die baustatischen Berechnungen wird die mittlere Biegebruchspannung der Schalungstafel mit $\sigma_{Br} = 36 \text{ N/mm}^2$ veranschlagt. Das Versagen der Schalungstafeln am linken Fenster und am mittleren Fenster muss bei einem Druck von mehr als 45 kN/m² stattgefunden haben. Ab einem Druck von 75 kN/m² hätte mit einem Versagen aller Tafeln gerechnet werden müssen.

Aus den baustatischen Berechnungen kann folglich geschlossen werden, dass die Hangmure mit einem Druck grösser 45 kN/m² und kleiner 75 kN/m² auf die Prallwand gewirkt hat. Die Druckwerte aus dem Erdruchdruck ohne Berücksichtigung der dynamischen Komponente ergeben zu geringe Werte, als dass es zum Versagen des linken und mittleren Fensters gekommen wäre.

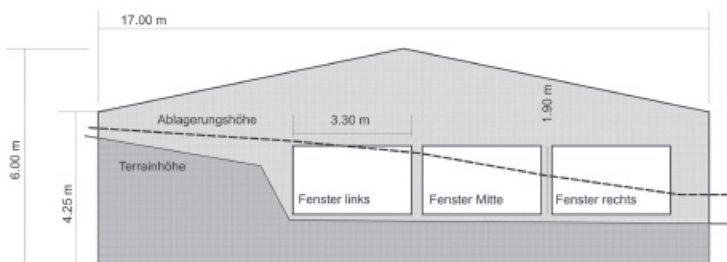


Abb. 2: Prallwand mit Ablagerungshöhe

Fig. 2: Impact surface showing the height of the accumulated deposits

Fallbeispiel Schüpfheim



Abb. 3: Vollständig zerstörtes Wohnhaus in Schüpfheim (Foto: Egli Engineering).

Fig. 3: House in Schüpfheim completely destroyed (photo: Egli Engineering).

Das Wohngebäude wurde durch eine Hangmure getroffen, dadurch entstanden an der einfachen Holzkonstruktion starke Schäden am Tragwerk (Abb. 3, Fig. 3). Die mächtige Hangmure wies eine Anrisstiefe von 2.2 m auf; das Gebäude befand sich 150 m bis 200 m unterhalb der Anrisstelle. Das Gebäude war zum Zeitpunkt des Ereignisses bewohnt.

Methode

Die Einwirkung der Hangmure auf das Gebäude wird mit den Erdspritzern an der Prallwand abgeschätzt [1]. Für die baustatischen Nachrechnungen wird eine einfache Holzkonstruktion angenommen.

Ergebnis

Die Spritzer der Hangmure an der Prallwand ergeben folgende Geschwindigkeit [1]:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_s}$$

v: Geschwindigkeit Hangmure [m/s]

g: Erdbeschleunigung, 9.81 m/s²

h_s: Höhendifferenz der Spritzerhöhe (3.5 m) und der Fliesshöhe (1.3 m), 2.2 m

Daraus ergibt sich eine Geschwindigkeit von 6.6 m/s. Aus der Geschwindigkeit und der Dichte der Hangmure lässt sich der Druck auf die Prallwand aus der dynamischen Einwirkung abschätzen [1]:

$$q_f = a \cdot \rho_f \cdot v_f^2$$

q_f: Druck [kN/m²]

a: Druckkoeffizient für feinkörnigen Murgang, 2

ρ_f: Dichte der Hangmure, 1800 kg/m³

v_f: Geschwindigkeit Hangmure, 6.6 m/s

Daraus ergibt sich ein Druck von 157 kN/m². Dieser Druck stellt wahrscheinlich die Obergrenze der Bandbreite dar.

Baustatische Rückrechnungen sind aufgrund der fehlenden Datenlage schwierig. Ausgehend von einem beidseitig verschalteten Holzständerbau wird angenommen, dass die Holzbalken einen Querschnitt von 12 x 12 cm aufwiesen und im Abstand von 70 cm verbaut wurden. Die mittlere Biegebruchspannung der Balken beträgt 36 N/mm^2 . Die Berechnungen der Einzelbauteile ergeben, dass die Prallwand bei maximal 30 kN/m^2 versagt. Die Holzkonstruktion ist jedoch kaum auf horizontale Einwirkungen konstruiert und weist aufgrund des fehlenden Eigengewichtes einen deutlich geringeren Widerstand auf (weniger als 20 kN/m^2).

OBJEKTSCHUTZ AN GEBÄUDEN

Der Objektschutz an Gebäuden wird exemplarisch anhand erfolgreicher und fehlgeschlagener Vorkehrungen dargestellt und die Schlüsselfaktoren für einen funktionierenden Schutz bestimmt. Untersucht werden folgende Faktoren:

- **Gefahrenszenario:** Stimmt das Szenario beim Hochwasser 2005 mit dem erwarteten Gefahrenszenario überein?
- **Zuverlässigkeit:** Die Zuverlässigkeit erfolgt aufgrund der Beurteilung der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit nach den SIA Normen 260 und 261 [4]. Die Zuverlässigkeit wird klassiert in hohe, eingeschränkte oder geringe Zuverlässigkeit. Die Tragsicherheit nimmt eine übergeordnete Rolle ein.
- **Wirtschaftlichkeit:** Die Objektschutzmassnahmen werden als wirtschaftlich erachtet, wenn das Kosten-Nutzen-Verhältnis kleiner oder gleich 1 ist. Das heisst der Nutzen der Objektschutzmassnahme ist grösser oder gleich der Kosten.

Fallbeispiel Stansstad

Das Mehrfamilienhaus in Stansstad war sowohl vom Seehochwasser des Vierwaldstättersees 1999 als auch vom Hochwasser 2005 betroffen (Abb. 4). Vor dem Ereignis 2005 wurden umfangreiche Objektschutzmassnahmen ergriffen: Der Untergrund des Parkplatzes und der Einfahrt bestand vor 2004 aus Verbundsteinen. Diese wurden durch eine Betonbodenplatte ersetzt und das Gebäude, Parkplätze und Zufahrt mit einer Betonmauer umfasst. Zusätzlich wurden Pumpenschächte und Rückstauklappen eingebaut. Die Einfahrt und der Eingang werden im Ereignisfall mit Dammbalken abgedichtet.

Gefahrenszenario

Der Objektschutz ist auf eine statische Überschwemmung durch den Vierwaldstättersee ausgerichtet. Das Ereignis 2005 entsprach dem erwarteten Gefahrenszenario.

Zuverlässigkeit der Objektschutzmassnahmen

Die Objektschutzmassnahme weist eine hohe Zuverlässigkeit auf:

- **Tragsicherheit:** Die Mauerhöhe ist bis auf einen maximalen Seespiegel von 435.25 m über Meer plus 25 cm Wellenzuschlag dimensioniert. Beim Ereignis 2005 stieg der Vierwaldstättersee auf eine Kote von 435.23 m über Meer und war somit knapp unter dem Maximalpegel der Objektschutzmassnahme.
- **Gebrauchstauglichkeit:** Der Objektschutz setzt sich aus permanenten und temporären Massnahmen zusammen. Die Bodenplatte und die Mauer waren dicht. Die

Dammbalken für die Absperrung der Einfahrt zu den Parkplätzen und der Eingang konnten, dank der langen Vorwarnzeit und der Überwachungsmannschaft, welche sich spontan bildete, rechtzeitig und fachgerecht eingesetzt werden. Die Überwachungsmannschaft beobachtete das Geschehen und griff notfalls ein.

- **Dauerhaftigkeit:** Die Dammbalkensysteme brauchen nur ein geringes Mass an Unterhalt. Bedeutend aufwendiger ist die personelle Betreuung: Im entscheidenden Moment muss fachkundiges Personal die temporären Massnahmen einsetzen können. Im Mehrfamilienhaus Stansstad bildete sich eine solche Organisation aus engagierten Bewohnern des betroffenen Hauses; diese sind auch in Zukunft für den Einbau der Schutzmassnahmen zuständig.



Abb. 4: Mehrfamilienhaus in Stansstad geflutet beim Seehochwasser 1999 (links) und die Situation mit Objektschutz beim Hochwasser 2005 (rechts) (Foto: Nidwaldner Sachversicherung).

Fig. 4: Comparative photo of an apartment building in Stansstad during the lake floods of 1999 (left) and then with protection measures during the flooding in 2005 (right) (photo: Nidwaldner Sachversicherung).

Kosten-Nutzen-Analyse

Durch den Objektschutz ist ein Gesamtschaden von rund CHF 290'000.- verhindert worden. Denn bei einer Flutung des Gebäudes hätte das Untergeschoss (Bodenbelag und Wand) mit der Haustechnik (Heizung, Warmwasser, Elektroinstallation, Lüftung, Kellerräume) Schaden genommen. Dazu wäre ein mehrmonatiger Mietzinsausfall von rund CHF 40'000.- gekommen (Angaben des Gebäudeeigentümers).

Ohne Objektschutzmassnahmen ist bereits ab einer Kote von 434.52 m über Meer (plus 25 cm Freibord für den Wellenschlag) mit einem Wasserschaden zu rechnen. Diese tiefe Kote (Wiederkehrperiode 10 Jahre) wird mit sehr grosser Wahrscheinlichkeit innerhalb der Lebensdauer des Gebäudes einmal überschritten. Mit den Objektschutzmassnahmen ist ein Schutz bis zu 435.25 m über Meer plus 25 cm Wellenzuschlag garantiert: dieses Ereignis weist eine Wiederkehrdauer von mehr als 300 Jahren auf. Die Lebensdauer der Bodenwanne beträgt schätzungsweise 50 Jahre.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Hochwasser während der Lebensdauer der Objektschutzmassnahme eintritt, dass die Bodenwanne also innerhalb ihrer Lebensdauer auch tatsächlich gebraucht wird, ist mit 84% sehr gross [1].

Das Schadenpotenzial beträgt bei einem HQ 300 CHF 290'000.-. Mit der Annahme eines linearen Anstiegs der Schadenssumme ergibt sich ein Nutzen von CHF 121'800.-. Der jährliche Nutzen der Objektschutzmassnahme ist damit CHF 2'436.- [1].

Tab. 1: Allgemeine Angaben zum Objektschutz des Mehrfamilienhauses in Stansstad

Tab. 1: General information about the Stansstad apartment block protection measures

Schadensgrenze ohne Objektschutz [m ü. M.]	434.52 + 25 cm (HQ 10)
Schadensgrenze mit Objektschutz [m ü. M.]	435.25 + 25 cm (HQ >300)
Schadenpotenzial bei HQ 300 [CHF]	290'000.-
Lebensdauer Objektschutzmassnahme [Jahre]	50
Kosten Objektschutzmassnahme [CHF]	350'000.-

Die Kosten für den Bau der Wanne belaufen sich nach Angaben des Eigentümers auf CHF 350'000.-. Die jährlichen Kosten für den Objektschutz berechnen sich aufgrund des Zinses des investierten Kapitals. Bei einer Lebensdauer des Bauwerks von 50 Jahren und der Verzinsung der Investition mit 3% betragen die jährliche Kosten CHF 13'605.- .

Die jährlichen Kosten für den Objektschutz sind mit CHF 13'605.- deutlich höher als der jährliche Nutzen aus der Schadensverhinderung von CHF 2'436.-. Aus wirtschaftlicher Sicht lohnt sich die Investition in den Objektschutz in diesem Fallbeispiel nicht, die Investitionskosten sind 5.6-mal höher als der Nutzen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Hochwasser grösser als das 10-jährliche innerhalb der Lebensdauer des Gebäudes auftritt ist jedoch sehr gross und Objektschutzmassnahmen müssen daher ergriffen werden.

Fallbeispiel Stans

Die intensiven Niederschläge im August 2005 führten dazu, dass der Kniribach über die Ufer trat und dass Oberflächenwasser aus dem Lauigraben einen Bach bildete. Das Wasser mit einem hohen Schlammanteil drang in das Kantonsspital in Stans und verursachte massive Schäden.

Das Wasser drang über die Lüftungsschächte und teilweise durch Türen in das Spital ein. Der Schaden im Erdgeschoss und dem ersten Untergeschoss war gering. Doch das zweite Untergeschoss wurde geflutet und damit die Trafoanlage mit Elektroverteiler und Notstromgeneratoren; in der Folge kam es zum Stromunterbruch. [3].

Neben der Stromverteilung und -versorgung wurden beim Ereignis die Heizung und die Warmwasseraufbereitung beschädigt.

Die getroffenen Objektschutzmassnahmen vor 2005 waren temporär und umfassen Dammbretter, welche an den Eingängen eingesetzt werden müssen. Zusätzlich waren im Kellerbereich in Eingangsnähe Sandsäcke eingelagert.

Gefahrenszenario

Die Objektschutzmassnahmen bieten Schutz gegenüber einer Überschwemmung, wie sie im August 2005 auch tatsächlich eingetreten ist. Doch erwartet wurde, dass die Einwirkung das Spital im westlichen Teil treffen würde. Die hohen Niederschlagsmengen führten jedoch zu einem Wasserabfluss, welcher das Spital im südlichen Teil traf.



Abb. 5: Spital Stans und Überschwemmung durch Oberflächenwasser (Foto: Kanton Nidwalden).

Fig. 5: Stans hospital and surface water flooding (photo: Canton Nidwalden).

Zuverlässigkeit der Objektschutzmassnahmen

Die Objektschutzmassnahme weist eine geringe Zuverlässigkeit auf:

- **Tragsicherheit:** Das Oberflächenwasser führte zum Einstau an der Südfassade des Spitals von bis zu einem Meter. Eine solch hohe Wassermenge wurde nie erwartet und hätte mit den Dammbrettern nicht abgewehrt werden können. Auch ist davon auszugehen, dass die fehlenden Dichtungen bei den Dammbrettern keine optimale Abschirmung ergeben hätten. Das Druckwasser aus dem Untergrund verursachte massive Probleme. Dieses war 1 – 2 m über dem dimensionierten Maximalpegel (Grundwasserpegel vom Ereignis 1927 + 1 m Reserve). Der Wassereintritt durch das Druckwasser konnte mit den vorhandenen Pumpen abgesaugt werden, leider fehlte ein Pumpschacht. Das Wasser konnte aufgrund der eingeschränkten Wasserableitung nur schwerlich aus dem Spital abgeführt werden [3].
- **Gebrauchstauglichkeit:** Für den Einbau der Dammbretter waren die nötigen Führungsschienen vorhanden. Doch die Abschirmung der Eingänge zum Untergeschoss wäre rund 2 m hoch gewesen. Der Einbau wäre äusserst beschwerlich gewesen und der Eingang wäre nicht mehr nutzbar gewesen. Die fehlende Vorwarnzeit verunmöglichte den Einbau der temporären Schutzmassnahmen. Der Schadenseintritt mitten in der Nacht akzentuierte das Problem.
- **Dauerhaftigkeit:** Die Dammbretter benötigen nur einen geringen Unterhalt und fachkundiges Personal ist einsatzbereit, doch nicht permanent vor Ort.

Kosten-Nutzen-Analyse

Das Schadenpotenzial ohne Objektschutzmassnahmen ist sehr hoch und wird auf CHF 5'000'000.- geschätzt (Angaben Spitalbetreiber).

Die Eintretenswahrscheinlichkeit für das Szenario wird als sehr gering eingestuft (HQ 100 bis 300) und mit einer schwachen Intensität (Wassertiefe < 0.5 m) erwartet worden. Die Schutzmassnahmen haben eine Lebensdauer von rund 50 Jahren.

Tab. 2: Allgemeine Angaben zum Objektschutz beim Spital Stans

Tab. 2: General information about the protection measures at Stans hospital

Schadensgrenze ohne Objektschutz	HQ 100
Schadensgrenze mit Objektschutz	HQ 300
Schadenpotenzial bei HQ 300 [CHF]	5'000'000.-
Lebensdauer Objektschutzmassnahme [Jahre]	50
Kosten Objektschutzmassnahme [CHF]	10'000.-

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Objektschutzmassnahme während der nächsten 50 Jahre zum Einsatz kommt (HQ > 100) und nicht unterdimensioniert ist (HQ < 300), beträgt 24%. Mit der Objektschutzmassnahme kann ein jährlicher Nutzen von CHF 12'000.- generiert werden [1].

Die Kosten für die temporären Objektschutzmassnahmen betragen rund CHF 10'000.-.

Die jährlichen Kosten für den Objektschutz berechnen sich aufgrund des Zinses des investierten Kapitals von CHF 10'000.-. Bei einer Lebensdauer der Schutzmassnahme von 50 Jahren und der Verzinsung der Investition mit 3% betragen die jährlichen Kosten für die Objektschutzmassnahmen CHF 389.-.

Der Vergleich der jährlichen Kosten von CHF 389.- mit dem jährlichen Nutzen von CHF 12'000.- zeigt ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0.03, was aus wirtschaftlicher Sicht als sehr lohnend bezeichnet werden kann. Beim Ereignis 2005 zeigten jedoch die Massnahmen keinen Nutzen, trotz dem günstigen Kosten-Nutzen-Verhältnis. Bei einem jährlichen Nutzen von CHF 12'000 wären eine Investitionen von über CHF 300'000.- aus wirtschaftlicher Sicht zu rechtfertigen gewesen.

Fallbeispiel Dallenwil Wasserkraftwerk



Das Kraftwerk Dallenwil im Kanton Nidwalden wurde am 22. August 2005 von der Engelberger Aa überschwemmt. Die temporären Schutzmassnahmen umfassen die Abriegelung der Türen und Tore mit Betonschutzschilden (Abb. 6). Die Schutzmassnahmen wurden im Frühling 2004 geplant und realisiert.

Abb. 6: Objektschutzmassnahmen am Wasserkraftwerk Dallenwil (Foto: Nidwaldner Sachversicherung)

Fig. 6: Protection measures at the Dallenwil hydro power station (photo: Nidwaldner Sachversicherung)

Gefahrenszenario

Die Schutzmassnahmen sind auf eine dynamische Überschwemmung durch die Engelberger Aa ausgerichtet. Das Ereignis 2005 entsprach den Einschätzungen des Gefahrenszenarios.

Zuverlässigkeit der Objektschutzmassnahmen

Die Objektschutzmassnahme weist eine hohe Zuverlässigkeit auf:

- **Tragsicherheit:** Die Überschwemmungshöhe von 0.6 m blieb unter der maximalen Einstauhöhe der Schutzmassnahmen.
- **Gebrauchstauglichkeit:** Die Betonschilder konnten im August 2005 rechtzeitig installiert werden.
- **Dauerhaftigkeit:** Der langfristige Betrieb der Schutzmassnahme ist gesichert, da der Kraftwerksbetrieb eine eigene Abflussmessstation mit Alarmauslösung besitzt und über einen permanenten Pikettdienst verfügt, der jederzeit einsatzbereit ist.

Kosten-Nutzen-Analyse

Das Schadenpotenzial ist gross: Der verhinderte Schaden beträgt nach Angaben der Nidwaldner Sachversicherung gesamthaft CHF 5'500'000.-. Diese Schadenkosten setzen sich zusammen aus CHF 500'000.- Gebäudeschäden und CHF 5'000'000.- Schäden an den Anlagen (Angaben Nidwaldner Sachversicherung).

Die Schutzmassnahmen wurden auf eine Wiederkehrdauer eines 100 jährlichen Hochwassers bemessen. Wasserbauliche Massnahmen schützen vor einem 30 jährlichen Hochwasser.

Tab. 3: Allgemeine Angaben zum Objektschutz des Kraftwerks Dallenwil

Tab. 3: General information about the protection measures at the Dallenwil power station

Schadensgrenze ohne Objektschutz	HQ 30
Schadensgrenze mit Objektschutz	HQ 100
Schadenpotenzial bei HQ 100 [CHF]	5'500'000.-
Lebensdauer Objektschutzmassnahme [Jahre]	50
Kosten Objektschutzmassnahme [CHF]	15'000.-

Die Wahrscheinlichkeit, dass die Objektschutzmassnahme während der nächsten 50 Jahre zum Einsatz kommt (HQ > 30 Jahre) und nicht unterdimensioniert ist (HQ < 100 Jahre), beträgt 43% [1].

Mit dem Schadenpotenzial von CHF 5'500'000.- bei einem HQ 100 ergibt sich durch die Objektschutzmassnahme ein jährlicher Nutzen von CHF 23'650.-. Angenommen wird ein linearer Anstieg der Schadensumme von einem HQ 30 bis HQ 100 [1].

Die Kosten für die Schutzmassnahmen belaufen sich auf rund CHF 15'000.-. Die jährlichen Kosten für den Objektschutz berechnen sich aufgrund des Zinses des investierten Kapitals. Bei einer Lebensdauer des Bauwerks von 50 Jahren und der Verzinsung der Investition mit 3% betragen die jährlichen Kosten CHF 583.- [1].

Der Vergleich der jährlichen Kosten von CHF 583.- mit dem jährlichen Nutzen von CHF 23'650.- zeigt ein Kosten-Nutzen-Verhältnis von 0.02, was aus wirtschaftlicher Sicht als sehr lohnend bezeichnet werden kann. Der Miteinbezug der Schadenkosten bei einem Betriebsunterbruch des Kraftwerks machen die Objektschutzmassnahmen noch attraktiver.

Fallbeispiel Kanton Nidwalden

Neubauten, welche in den Jahren 2000 bis 2005 im Kanton Nidwalden erstellt wurden und bei denen aufgrund gesetzlicher Vorgaben Objektschutzmassnahmen gegenüber Seehochwasser ergriffen werden mussten, weisen eine in Abb. 7 dargestellte Verteilung der Schäden auf. Die Darstellung zeigt, dass in der Regel die Schadenskosten dank der getroffenen Objektschutzmassnahmen gering ausfallen - im Fall des Kantons Nidwalden sind 87% der Schadenfälle tiefer als CHF 10'000.-.

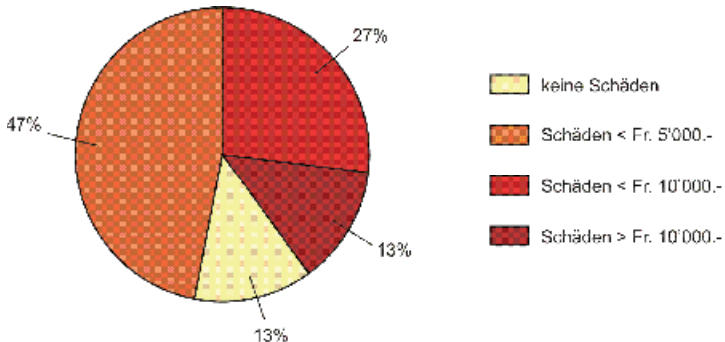


Abb. 7: Schadenklassierung an Neubauten mit Objektschutzauflagen im Kanton Nidwalden (Quelle: Nidwaldner Sachversicherung)

Fig. 7: Loss classification for new buildings required to install protection measures in Canton Nidwalden (source: Nidwaldner Sachversicherung)

Objektschutzmassnahmen reduzieren die Schadensumme wirkungsvoll, dennoch kommt die absolute Schadenfreiheit nur selten vor. Der Grund liegt einerseits beim hohen Seepiegel des Vierwaldstättersees beim Ereignis 2005, der deutlich über dem Seepiegel des Referenzjahres 1999 lag. Andererseits verlangen Objektschutzmassnahmen eine konsequente Kontrolle bei der Planung und Umsetzung, da die realisierten Massnahmen nur im Ernstfall auf ihre Tauglichkeit geprüft werden können und der kleinste Mangel bereits zum Schaden führt.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die untersuchten Fallbeispiele zur Verletzlichkeit der Gebäude gegenüber Hangmuren zeigen, dass die Einwirkung nur schwierig abzuschätzen ist und die verwendeten einfachen Modelle kein befriedigendes Resultat liefern. Entsprechend gross ist die Bandbreite der Druckwerte aus den Rückrechnungen der Hangmure und den baustatischen Berechnung.

Die untersuchten Fallbeispiele mit erfolgreichem Objektschutz weisen eine treffende Einschätzung des Szenarios und eine hohe Zuverlässigkeit der Massnahmen auf (Fallbeispiel Dallenwil und Stansstad). Wird das Gefahrenszenario falsch eingeschätzt, so sind die daraus abgeleiteten Massnahmen wertlos (Fallbeispiel Stans). Daraus kann geschlossen werden, dass der Einschätzung des Gefahrenszenarios und der Zuverlässigkeit eine hohe Wichtigkeit zukommt.

LITERATUR

- [1] Egli (2005): Wegleitung, Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen VKF, Bern.
- [2] Egli, Vanonsen (2008): Ereignisanalyse des Hochwassers 2005. In Bearbeitung.
- [3] Regierungsrat Kanton Nidwalden (2006): Protokollauszug Nr. 116. Interpellation von Landrat P. Leuthold.
- [4] Romang, Margreth (2007): Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Einzelprojekt A3. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern.
- [5] ThyssenKrupp (2007): Spundwand-Handbuch, Berechnungen. ThyssenKrupp GfT Bautechnik GmbH, HSP Hoesch Spundwand und Profil GmbH.

INFORMATION SYSTEM FOR HYDROGEOLOGICAL RISKS (IHR)

PROCEDURA PER LA REALIZZAZIONE DI UNA CARTA INDICATIVA DEI PERICOLI ALLUVIONALI PER FIUMI DI FONDOVALLE IN TERRITORIO ALPINO

A PROCEDURE FOR THE CREATION OF HAZARD INDICATION MAPS FOR ALPINE RIVERS

Claudio Volcan¹, Hanspeter Staffler¹

ABSTRACT

A method for the creation of hazard indication maps for alpine rivers at a regional scale is presented. First the possible points of over flow, the so called weak points, of the entire river network are detected and in a successive analysis the effects on the floodplain are investigated. Two different types of weak points are considered: (1) weak points due to insufficient flow capacity; (2) weak points due to dike instability. For weak points of the first type a steady 1D hydrodynamic model is used in order to evaluate the flow capacity of each river cross section and a very simple algorithm is used for the determination of the possible weak sections. The return period of the events is not considered. For weak points of the second type a new qualitative procedure is proposed in order to detect dike reaches with a high failure propensity.

Keywords: hazard maps, hydrodynamic modelling

RIASSUNTO

Si presenta una metodologia per la redazione, a scala regionale, di carte indicative dei pericoli alluvionali relative ai corsi d'acqua di fondovalle in ambiente alpino. Tali carte vengono redatte individuando dapprima i punti di possibile esondazioni di un sistema idrografico, denominati punti deboli, ed analizzando in un secondo tempo gli effetti derivanti. Si considerano due differenti tipologie di punti deboli: (1) punti deboli per insufficiente capacità di deflusso; (2) punti deboli per instabilità arginale. Per i punti deboli della prima tipologia si calcola, per mezzo di un modello stazionario monodimensionale, la capacità di deflusso teorica di ciascuna sezione fluviale ed attraverso un semplice algoritmo si determinano le sezioni nelle quali può aversi esondazione, a prescindere dalla frequenza (tempo di ritorno) degli eventi considerati. Per i punti deboli della seconda tipologia si propone una procedura di tipo qualitativo per la determinazione dei tratti d'argine che presentano spiccata propensione al cedimento.

Keywords: pericoli naturali, esondazioni, punti deboli, dam-break

¹ Department of Hydraulic Engineering, Autonomous Province of Bolzano – South Tyrol, Italy, Cesare-Battisti Str. 23, 39100 Bozrn, Italy (Tel.: +39-0471-414550; email: wasserschutzbauten@provinz.bz.it)

INTRODUZIONE

Nell'ambito della difesa e gestione dei pericoli naturali è sempre più forte l'esigenza da parte degli enti preposti di disporre di strumenti che consentano l'identificazione a livello regionale dei fenomeni naturali. Tale esigenza nasce da un lato dalla necessità di pianificare gli interventi di difesa attiva, attraverso la realizzazione di opere di sistemazione dei corsi d'acqua, e dall'altro dalla necessità di una pianificazione territoriale compatibile con i pericoli naturali, attraverso l'adozione di idonei strumenti quali i piani delle zone di pericolo.

In Alto Adige è stata recentemente realizzata una carta identificativa dei pericoli naturali per i fenomeni di colata detritica e di alluvione torrentizia. Tale carta si fonda su modelli assai semplificati e validi per la descrizione di fenomeni governati prevalentemente dall'azione della forza di gravità.

Per quanto concerne i fiumi di pianura, individuabili come i corsi d'acqua aventi una pendenza media inferiore ad 6%, le procedure di analisi su scala regionale sviluppate fino ad oggi non forniscono risultati attendibili, poiché i fenomeni non sono più fortemente governati dalla forza di gravità. Nel bilancio della quantità di moto i termini dissipativi dovuti alla turbolenza ed alla scabrezza degli alvei divengono dello stesso ordine di grandezza dei termini convettivi e gravitazionali e non possono quindi essere trascurati. Ciò si traduce nella sostanziale necessità di adottare una metodologia che descriva in maniera semplificata, ma sufficientemente precisa, il comportamento idraulico dei corsi d'acqua considerati. Inoltre i corsi d'acqua di fondovalle sono spesso provvisti di rilevati arginali artificiali, realizzati per lo più in materiale sciolto, che sono facilmente soggetti a cedimenti e rotte. L'esperienza maturata in Alto Adige ed in particolare sul fiume Adige porta, di fatto, ad individuare nella rotta d'argine il principale fattore di pericolo nel caso dei fiumi arginati.

Al fine di redigere una carta indicativa dei pericoli naturali anche per i fenomeni alluvionali di fondovalle è stata sviluppata una metodologia che consente di determinare e catalogare tutti i punti deboli dei sistemi idraulici di pianura e di determinare le potenziali aree allagabili.

Il contributo innovativo del presente lavoro riguarda essenzialmente la metodologia determinazione dei punti deboli, mentre per la delimitazione delle aree allagabili viene applicato un modello idrodinamico bidimensionale.

METODOLOGIA

La metodologia adottata per la redazione della carta indicativa dei pericoli naturali per i fiumi di pianura consiste di due fasi fondamentali. La prima fase prevede la definizione e la ricerca delle possibili cause di esondazione e la determinazione di tutti i possibili punti deboli sull'intero reticolo idraulico studiato. La seconda fase consiste nella determinazione dell'estensione delle aree allagabili.

Fase 1 - Analisi dei punti deboli

L'analisi dei punti deboli viene svolta allo scopo di determinare i punti del reticolo idrografico di fondovalle nei quali sia possibile avere esondazione in occasione di eventi di piena estremi. Per evento estremo si intende un evento di fortissima intensità senza specificarne il tempo di ritorno o la probabilità di accadimento. Si ricercano pertanto tutti i punti del reticolo idrografico nei quali è possibile avere esondazione, a prescindere dalla

probabilità dei fenomeni di piena. La metodologia si fonda da un lato sull'analisi idraulica dei tratti fluviali considerati e dell'altro sull'analisi qualitativa dello stato dei rilevati arginali. Sono state individuate varie categorie e sottocategorie di punti deboli:

- 1) punti deboli per insufficienza della sezione liquida:
 - a) Geometria del canale insufficiente
 - b) Opere trasversali che possono costituire un ostacolo per il deflusso (restringimenti localizzati)
 - i) Ponti
 - ii) Tomboni stradali
- 2) punti deboli per insufficiente resistenza dei rilevati arginali:
 - a) presenza di paleoalvei
 - b) presenza di fontanazzi
 - c) presenza di rotte arginali storiche
 - d) assenza di opere di impermeabilizzazione e/o stabilizzazione
 - i) jet grouting
 - ii) palancole in acciaio
 - iii) controargini

Le categorie (1) e (2) sono di natura completamente differente, l'una legata al dimensionamento idraulico delle sezioni fluviali e delle opere trasversali presenti, l'altra legata a criteri di stabilità di tipo geotecnico. Per questo motivo è stato necessario sviluppare due differenti approcci investigativi.

Procedura per la determinazione dei punti deboli della categoria (1)

I punti deboli della categoria (1) sono stati determinati mediante un'analisi idraulica a moto permanente sul reticolo idrografico e prendendo in considerazione anche la presenza di ostacoli per il moto della corrente, quali ponti o tomboni (di seguito si parlerà unicamente di ponti, intendendo entrambi le tipologie di opera).

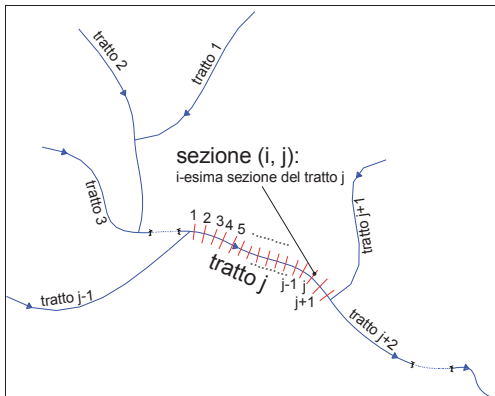


Fig1: schematizzazione del reticolo idrografico di fondovalle: ogni ramo è identificato da un pedice j , ogni sezione da una coppia (i, j) .

I dati di input necessari per la metodologia sviluppata sono file vettoriali contenenti il reticolo idrografico da studiare in formato polilinea 2D (x, y) , un modello digitale del terreno (Digital Earth Model, DEM) sufficientemente raffinato (avente almeno una maglia di dimensioni pari a 2.5×2.5 m), il catasto delle opere idrauliche, contenente le caratteristiche geometriche principali dei ponti (luce, altezza, geometria delle pile). La procedura adottata si fonda sulla schematizzazione dei corsi d'acqua

di fondovalle descritta di seguito (Fig1).

Si individuano dapprima tutti i tratti di testata del reticolo idrografico ed i tratti compresi fra due confluenze successive. Ciascun tratto viene identificato con un pedice j ed in generale ci saranno N tratti. All'interno di ciascun tratto si individuano M_j sezioni fluviali significative $S_{i,j}$ (con $i=1,2,\dots,M_j$).

Ciascuna sezione è rappresentata in ambiente GIS da un segmento ortogonale all'asse fluviale. La metodologia prevede di estrarre in modo automatico dal DEM la geometria delle sezioni. Ove disponibili rilievi topografici di sezioni fluviali, le sezioni ricavate in automatico vengono sostituite con le sezioni di rilievo, in modo da migliorare il grado di accuratezza delle geometrie utilizzate.

Ciascun tratto viene modellato indipendentemente dagli altri tratti, in condizioni di moto permanente ed adottando uno schema 1D. Si determinano in questo modo L_j profili di moto permanente per una serie ampia di valori crescenti di portata Q_{kj} (con $k=1,2,\dots,L_j$), che soddisfa le seguenti condizioni (Y_{esoy} = tirante massimo consentito senza esondazione nella sezione (i, j)):

- $Y_{ij}(Q_{1j}) < Y_{esoy} \quad \forall(i, j)$ per la portata Q_{1j} non si ha esondazione in alcuna sezione del tratto j (1)
- $Y_{ij}(Q_{L_jj}) > Y_{esoy} \quad \forall(i, j)$ per la portata Q_{L_jj} si ha esondazione in ogni sezione del tratto j (2)

Quando le due condizioni sono rispettate si ha la certezza di avere coperto, con la serie di portata Q_{kj} (con $k=1,2,\dots,L_j$), tutto il range delle portate teoriche ammissibili per il tratto j . L'incremento di portata da adottare viene stabilito di volta in volta per ciascun tratto, sulla base dello scarto fra Q_{L_jj} e Q_{1j} , in modo da garantire una adeguata descrizione della scala delle portate di moto permanente per ciascuna sezione. La modellazione è eseguita trascurando eventuali esondazioni ed il parametro di resistenza di Manning è assunto costante e pari a $0.03 \text{ s/m}^{1/3}$, salvo per i tratti in cui siano disponibili dei valori calibrati.

Segue la fase di determinazione della capacità di deflusso o portata limite Q_{lim} , di ciascuna sezione fluviale, sulla base dei risultati delle simulazioni in moto permanente eseguite. Dal punto di vista operativo Q_{lim} è definita come il valore di portata in corrispondenza del quale il franco rispetto all'argine più basso risulta inferiore a 10cm. Si determina anche la sponda orografica (destra, sinistra o entrambi) sulla quale vi è esondazione.

La ricerca dei punti deboli viene eseguita per ciascun tratto j , assumendo un valore estremo di portata $Q_{extreme}$, calcolato mediante il modello idrologico AIDI, in possesso della Ripartizione 30 – Opere Idrauliche della Provincia Autonoma di Bolzano, e verificando se la portata limite in ciascuna sezione risulti o meno inferiore a tale valore di riferimento. Le sezioni in cui la portata limite risulta inferiore alla portata di riferimento sono considerate punti deboli del sistema.

I ponti rappresentano degli ostacoli per il deflusso della corrente e necessitano pertanto di particolare attenzione nell'ambito dell'analisi dei punti deboli. Per ciascun ponte si esegue la verifica idraulica in relazione alla portata di riferimento che interessa la sezione del ponte stesso, stabilendo così il regime idraulico all'attraversamento del ponte:

Regime A: si ha per correnti indisturbate subcritiche e per elevati valori del rapporto di restringimento; in queste condizioni la corrente incidente da monte ha un'energia specifica

rispetto al fondo sufficiente a passare il restringimento e non si ha pertanto transizione in corrente veloce e generazione di un risalto idraulico a valle del ponte. In queste condizioni il leggero sovrizzo della superficie libera può essere calcolato mediante la formula empirica proposta da Yarnell.

Regime B: si ha per correnti indisturbate subcritiche e rapporti di restringimento bassi. In questo caso il restringimento è assai marcato e la corrente di monte non ha energia specifica rispetto al fondo sufficiente ad attraversare il restringimento. Si ha quindi un forte rigurgito a monte del ponte, passaggio attraverso lo stato critico in corrispondenza del restringimento, passaggio in corrente supercritica a valle del ponte e generazione di un risalto idraulico con ritorno al regime di corrente subcritica a valle del ponte. Il massimo tirante idraulico si realizza immediatamente a monte del restringimento e si può calcolare imponendo la conservazione dell'energia specifica fra una sezione posta immediatamente a monte del ponte e la sezione ristretta.

Regime C: si ha nel caso di corrente indisturbata supercritica, per numeri di Froude elevati ed elevati rapporti di restringimento. La corrente di monte ha energia sufficiente per attraversare il ponte e pertanto il moto si mantiene supercritico anche nel restringimento. Il sovrizzo in questo caso è limitato al tronco ristretto ed è determinabile utilizzando una relazione per le perdite localizzate di energia di tipo Borda (brusco allargamento).

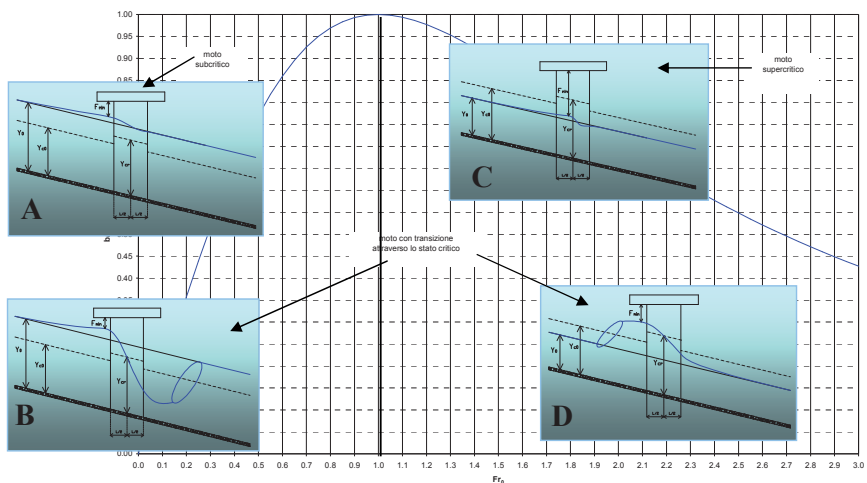


Fig.2: determinazione della categoria sulla base del grafico che descrive l'attraversamento dei ponti.

Regime D: si realizza nel caso di numeri di Froude superiori ad 1 ma prossimi all'unità e per rapporti di restringimento bassi. In questo caso la corrente di monte non ha energia sufficiente per passare il restringimento e si ha quindi passaggio in corrente lenta tramite un risalto idraulico a monte del ponte, attraversamento del ponte in condizioni critiche, e successivamente ritorno alle condizioni supercritiche a valle del ponte. Il passaggio in corrente lenta a monte del ponte determina un forte incremento del tirante idrico con possibilità di esondazione. Inoltre la forte riduzione della velocità può favorire il deposito del materiale trasportato dalla corrente nel tratto di corrente lenta a monte del ponte, causandone così

l'occlusione. Per la determinazione del massimo tirante e la localizzazione del risalto idraulico si applica il principio di conservazione dell'energia fra una sezione posta immediatamente a monte del ponte e la sezione ristretta ed il bilancio delle spinte idrodinamiche fra la corrente supercritica indisturbata di monte e la corrente lenta di valle.

Una volta determinato il regime idraulico (A, B, C o D) presso i ponti, come rappresentato in Fig2, essi vengono classificati secondo un sistema di punteggi, che ne definisce la probabilità di esondazione e quindi la pericolosità.

Il sistema di punteggi utilizzato è riportato nella seguente Tab1.

<p>Categoria A:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 0 ▪ $F_{min} < 1m$ + 2 ▪ $1 < F_{min} < 1.5m$ + 1 ▪ $F_{min} > 1.5m$ + 0 	<p>Categoria C:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 0 ▪ $F_{min} < 1m$ + 2 ▪ $1 < F_{min} < 1.5m$ + 1 ▪ $F_{min} > 1.5m$ + 0
<p>Categoria B:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 1 ▪ $F_{min} < 1m$ + 2 ▪ $1 < F_{min} < 1.5m$ + 1 ▪ $F_{min} > 1.5m$ + 0 	<p>Categoria D:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Punteggio base: 2 ▪ $F_{min} < 1m$ + 2 ▪ $1 < F_{min} < 1.5m$ + 1 ▪ $F_{min} > 1.5m$ + 0

Tab1: sistema di punteggi utilizzato per la classificazione dei ponti.

A ciascun ponte viene assegnato un punteggio di base che dipende unicamente dal regime idraulico. Per i regimi A e C il punteggio è pari a 0 in quanto non vi sono forti incrementi di tirante rispetto allo stato indisturbato del moto. Per i regimi B e D sono previsti rispettivamente punteggi base pari ad 1 e 2, in quanto, sebbene in entrambi i casi vi sia transizione e formazione di un risalto idraulico, nel caso D (corrente indisturbata supercritica), si ha la formazione di un tratto in corrente lenta a monte del ponte, nel quale l'aumento del tirante idrico rispetto al moto indisturbato (supercritico) può essere assai marcato. Tale configurazione della corrente è inoltre particolarmente favorevole per l'accumulo del materiale solido e del legname trasportati dalla corrente a monte del restringimento..

In aggiunta al punteggio base si adottano ulteriori punteggi legati al franco minimo che si viene ad avere rispetto alla corda inferiore dell'impalcato del ponte (F_{min}). Tale franco è indice della probabilità che il moto attraverso il ponte possa avvenire in pressione anziché a superficie libera (quando $F_{min} \leq 0m$) ed anche della probabilità che il legname trasportato dalla corrente possa accumularsi a monte del ponte stesso causandone l'ostruzione con conseguenti esondazioni. Si assume che per un franco superiore ad 1.5 m la probabilità di ostruzione sia bassa, mentre per un franco inferiore ad 1.0 m la probabilità sia elevata. Nell'ambito della presente metodologia si assume quale punto debole ogni ponte per il quale si ottiene un punteggio superiore ad 1.

Analisi dei punti deboli di categoria (2):

Si considerano tutti i rilevati arginali in materiale sciolto che emergono dal piano campagna e che possono quindi essere soggetti a rottura in occasione delle piene. Dall'analisi degli eventi alluvionali storici riguardanti i fiumi arginati in Alto Adige, ed in particolare il fiume Adige, è emerso che nella maggioranza dei casi le inondazioni sono causate dal cedimento di tratti di argine sotto la spinta idrostatica della corrente in piena, ben prima del raggiungimento del massimo tirante di piena. Non è pertanto realistico considerare come punti deboli unicamente

le sezioni che presentano insufficiente capacità di deflusso; è necessario analizzare le condizioni di stabilità dei rilevati arginali, al fine di stabilire quali siano i tratti aventi maggiore propensione al cedimento. Le principali cause di dissesto arginale sono i fenomeni di sormonto, sifonamento, franamento, sfiancamento ed erosione.

Nella presente analisi i rilevati arginali vengono suddivisi in tratti aventi ciascuno una lunghezza pari a circa 100 metri. La procedura adottata prevede, per ciascun tratto, la valutazione della propensione al cedimento secondo un sistema di punteggi, che considera le seguenti caratteristiche macroscopiche degli argini:

- **Presenza di paleoalvei e loro assetto planimetrico rispetto all'alveo attuale (P):** nella maggior parte dei casi si tratta di antichi meandri. I rilevati arginali costruiti in corrispondenza dei tagli di meandro presentano generalmente caratteristiche di stabilità inferiori rispetto a quelli realizzati lungo il corso originale di un fiume, in quanto i lavori venivano eseguiti con maggiore rapidità per via della necessità di deviare le acque durante la costruzione. Inoltre poiché gli argini sono fondati sul materiale sciolto del greto del fiume, i moti di filtrazione sotto il corpo arginale sono maggiori rispetto ai rimanenti tratti arginali. Un paleoalveo si definisce *entrante* se il moto dell'acqua nel paleoalveo avviene in direzione entrante rispetto al corso attuale del fiume, *parallelo* se il moto dell'acqua nel paleoalveo avviene in direzione parallela al corso attuale del fiume ed *uscente* se il moto dell'acqua nel paleoalveo avviene in direzione uscente rispetto al corso attuale del fiume.

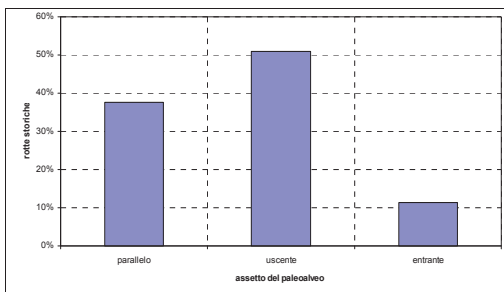


Fig3: rotte storiche ed assetto dei paleoalvei sul fiume Adige. Nella maggior parte dei casi le rotte sono avvenute in corrispondenza di paleoalvei uscenti o paralleli. In presenza di paleoalvei entranti, il fenomeno è più raro.

Dall'analisi statistica delle rotte storiche del fiume Adige fra la confluenza con il torrente Passirio ed il confine di provincia a sud di Salorno è emerso che la configurazione più sfavorevole per la stabilità degli argini è quella di paleoalveo uscente, seguita dal paleoalveo parallelo ed infine dal paleoalveo entrante, che risulta essere la condizione meno sfavorevole. Una giustificazione di questo fatto può essere data sulla base dei moti di filtrazione, che ancora oggi si hanno all'interno dei

paleoalvei e che ne seguono l'andamento. Un paleoalveo uscente favorisce il moto di filtrazione dal fiume verso il piano campagna (moto uscente), mentre un paleoalveo entrante tende ad ostacolare in parte tali moti di filtrazione.

Sulla base di queste considerazioni si è proposta la seguente scala di punteggi:

- Paleoalveo entrante: 1
- Paleoalveo parallelo: 2
- Paleoalveo uscente: 3

La determinazione del paleoalveo viene eseguita a partire dalla seguente cartografia: ortofoto e carte storiche (Culturrenskelettkarte del 1856 e Franziszeische Landesaufnahme del 1820).

- **Presenza di fontanazzi in prossimità del piede esterno dell'argine (F):** i fontanazzi sono causati dal sifonamento del terreno di fondazione degli argini, con asportazione di grosse quantità di terreno. Si tratta di fatto di una delle principali cause di cedimento dei rilevati arginali. La scala di punteggi adottata è la seguente:

- Sì 2
- No 0

I fontanazzi sono stati documentati ed archiviati nella banca dati della documentazione degli eventi storici.

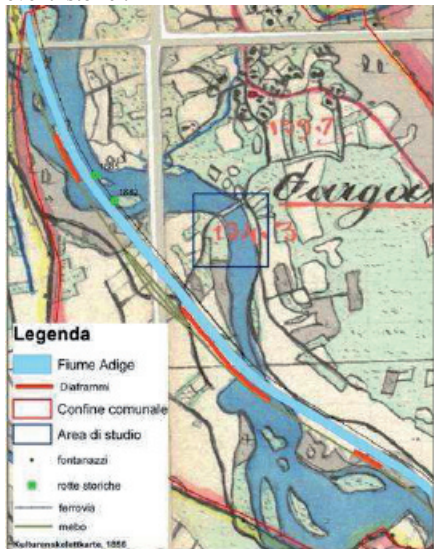


Fig4: Kulturrenskelettarte (1856), rotte storiche e corso attuale del fiume Adige presso Gargazzone

- **Classificazione delle curve (C):** in corrispondenza di curve la superficie libera si inclina trasversalmente all'asse fluviale, per effetto della forza centrifuga. In condizioni di corrente lenta si ha un innalzamento all'estradosso delle curve ed un abbassamento all'intradosso. Pertanto un rilevato arginale posto all'estradosso risente di un incremento della spinta idrodinamica per effetto della curvatura e dell'innalzamento locale del livello idrico, cui corrisponde un aumento del carico idrostatico. Viceversa, un argine posto all'intradosso risente di una riduzione della spinta idrodinamica, con un effetto migliorativo per la sua stabilità. La scala di punteggi utilizzata per tenere conto della curvatura è la seguente

- Intradosso: -1
- Tratto rettilineo: 0
- Estradosso: 1

- **Classificazione dello stato degli argini (S):** non essendo possibile una caratterizzazione di tipo geotecnico dei terreni costituenti i rilevati arginali, la presente metodologia prevede di considerare unicamente le caratteristiche macroscopiche quali la presenza di contrargini, diaframmi jet grouting o palancole. Tali strutture favoriscono la stabilità degli argini. La classificazione viene eseguita sulla base dei seguenti dati:

- presenza o meno di controargini; eventuali rilevati stradali adiacenti agli argini vengono considerati come contrargini (Sì/No);
- presenza o meno di opere di consolidamento arginale quali palancole, jet grouting o opere di sistemazione equivalenti (Sì/No);

Si assegna all'argine lo stato "buono" in presenza di due "sì", "medio" in presenza di un "sì" ed un "no", "scarso" in presenza di due "no". La scala di punteggi proposta è la seguente:

- Buono: 0
- Medio: 1
- Scarso: 2

• **Presenza di rotte storiche (R):** la presenza di rotte storiche in corrispondenza di un tratto arginale ne indica almeno qualitativamente la propensione alla rottura. La scala di punteggi adottata è la seguente:

- Sì 2
- No 1

Una volta assegnati i punteggi parziali a ciascun tratto arginale, il punteggio globale P_g per ciascun tratto viene calcolato secondo il seguente algoritmo:

$$Pg = (R \times S) + P + F + C$$

Il prodotto $R \times S$ è stato introdotto nel presente sistema di valutazione in quanto è necessario considerare che solitamente, in seguito ad eventi di rotta arginale ($R = 2$), gli argini vengono sistemati ad opera d'arte e quindi si trovano spesso in uno stato "buono" ($S = 0$), che ne garantisce ottime caratteristiche di stabilità.

L'analisi del presente sistema di punteggi è stata eseguita calcolando i risultati tutte le possibili combinazioni di valori di P, F, C, S ed R. In tutto sono possibili 108 combinazioni e P_g varia fra 0 (scarsa propensione al cedimento) e 10 (forte propensione al cedimento). Il grafico di Fig13 presenta la distribuzione in frequenza di P_g come risultato di tutte le possibili combinazioni. I risultati più frequenti si hanno nel range di valori attorno a $P_g = 4$ (circa il 20% dei valori).

Si definiscono le seguenti classi di propensione al cedimento:

• Debole Propensione al Cedimento (DPC):	$0 \leq P_g \leq 2$
• Media Propensione al Cedimento (MPC):	$3 \leq P_g \leq 6$
• Forte Propensione al Cedimento (FPC):	$7 \leq P_g \leq 10$

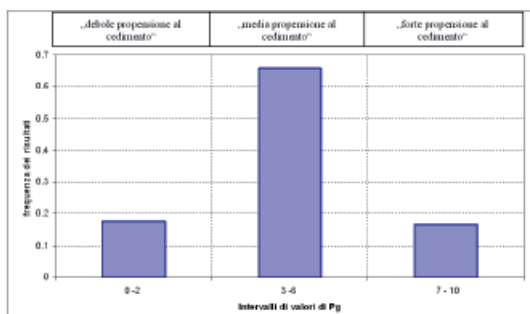


Fig5: frequenze relative alle classi caratterizzata da propensione al cedimento "debole-DPC", "media-MPC", "forte-FPC"

Nel grafico di Fig5, sono riportate le frequenze che ricadono nelle tre classi. Tali intervalli sono identificati rispettivamente come classi a "moderata", "media" e "forte" propensione al cedimento. Adottando la presente metodologia è possibile ricavare, sia pur secondo criteri puramente qualitativi, una classifica della propensione al cedimento. Si considerano punti deboli tutti i tratti arginali della classe FPC.

Fase 2 - Delimitazione delle aree allagabili

A seguito della determinazione dei punti deboli si è proceduto alla delimitazione delle potenziali aree allagabili. Per la simulazione delle alluvioni è stato utilizzato un modello bidimensionale su acqua bassa, in grado di simulare sia il fenomeno di esondazione, sia il fenomeno di dam break.

La procedura adottata prevede di effettuare una simulazione per ciascun punto debole individuato: si delimita il bacino idrografico sotteso ed attraverso l'applicazione della formula di portata di Kölla, lievemente modificata, si opera una stima del volume totale della piena e della frazione di volume esondante in corrispondenza del punto debole.

Le simulazioni vengono eseguite utilizzando un modello digitale del terreno avente una maglia di 10x10m. I risultati ottenuti sono in linea con quelli di analoghe simulazioni eseguite con una maglia 5x5m.

RISULTATI

Si riporta di seguito (Fig6) la carta dei punti deboli per esondazione dei principali corsi d'acqua di fondovalle dell'intero territorio altoatesino. La metodologia proposta è stata confrontata con i risultati di una modellazione idraulica di dettaglio eseguita sul fiume Adige. Dal confronto è emerso che i punti deboli ottenuti coincidono in gran parte con i punti di esondazione marcati da tempi di ritorno superiori a 200 anni.

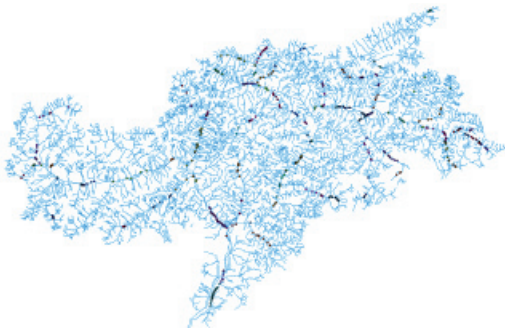


Fig6: punti deboli per il fenomeno di esondazioni sui principali corsi d'acqua di fondovalle altoatesini

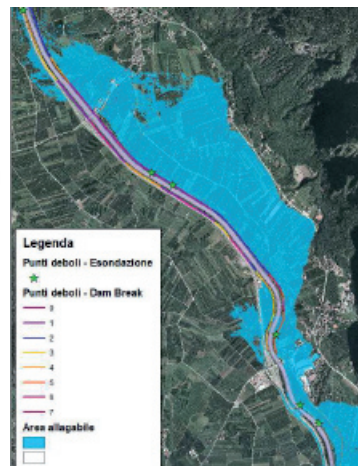


Fig7: carta indicativa dei pericoli naturali per il Fiume Adige nel tratto compreso fra i comuni di Gargazzone e Terlano

In Fig7 è riportata la carta dei fenomeni alluvionali per il fiume Adige fra i comuni di Gargazzone e Terlano. Per effetto del cedimento degli argini si sono ottenute aree allagabili assai estese, che tuttavia coincidono con le documentazioni e le memorie di eventi alluvionali storici, conseguenti a rotte arginali. Inoltre le aree allagabili ottenute non risultano interessare i nuclei storici dei centri abitati, sorti prima della sistemazione del fiume Adige, quando il fondovalle era paludoso e le alluvioni assai frequenti. Ciò conferma ancora di più la validità della metodologia adottata.

CONCLUSIONI

L'analisi dei punti deboli costituisce un presupposto fondamentale per la definizione di scenari di pericolo e per la redazione della carta indicativa dei pericoli naturali per corsi d'acqua di fondovalle e di pianura.

La metodologia proposta per la determinazione dei punti deboli per esondazione è stata applicata all'intero territorio altoatesino consentendo di individuare tutti i possibili punti di esondazione. La procedura adottata non considera il tempo di ritorno dei fenomeni e costituisce quindi un'analisi dello stato di fatto delle opere idrauliche e degli alvei fluviali. Sono stati evidenziati anche tutti i ponti che presentano problemi di rigurgito della corrente o di ostruzione da parte del legname e dei sedimenti trasportati.

È stata inoltre applicata la procedura proposta per l'analisi qualitativa dello stato dei rilevati arginali al fiume Adige tra la confluenza con il torrente Passirio ed il confine di provincia a sud dell'abitato di Salorno, ottenendo una classificazione della propensione al cedimento dei vari tratti arginali. La definizione dei punteggi necessita allo stato attuale di una valutazione da parte di un gruppo di esperti (expert elicitation) e di una verifica sulla base di eventi storici di rottura. L'influenza che le rotture arginali hanno sugli effetti delle piene fluviali evidenziano la necessità di studi approfonditi sui sistemi arginali. Ulteriori sviluppi di tale metodologia potranno derivare dall'interazione fra i diversi Enti e Istituzioni preposti alla gestione ed alla cura di fiumi arginati.

BIBLIOGRAFIA

- Armanini, A. (1999), „Principi di idraulica fluviale“, Editoriale Bios, 1999.
- Armanini, A. (1995), „Appunti delle lezioni di Sistemazione dei Bacini Idrografici“, Facoltà di Ingegneria, Università degli Studi di Trento, 1995
- Da Deppo, L. e Datei, C. e Salandin, P. (2002), „Sistemazione dei corsi d'acqua“, Liberia Cortina, Padova 2002
- Brunner G. W. (2002), “HEC-RAS, River Analysis System Hydraulic Reference Manual”, US Army Corp of Engineers, Hydrologic Engineering Center, November 2002

Schutzwald und Lawinen
Protection forests and avalanches
Forêts de protection et avalanches
Foreste di protezione e valanghe

**VERKNÜPFUNG VON GEFAHRENHINWEISKARTEN UND LUFT-
BILDER ZUR AUSSCHIEDUNG PFLEGEDRINGLICHER BESTÄNDE
IM SCHUTZWALD - EINE FALLSTUDIE AUS DEN BAYERISCHEN
ALPEN, BERCHTESGADENER LAND**

**COMBINATION OF HAZARD-INDEX-MAPS AND AERIAL PICTURES
FOR SEPERATION OF STANDS WITH TENDING DEFICIENCIES IN
PROTECTION FOREST - A CASE STUDY IN THE BAVARIAN ALPS,
BERCHTESGADENER LAND**

Franz Binder¹ und Rainer Blaschke²

ZUSAMMENFASSUNG

Die Fähigkeit der Gebirgswälder Siedlungsraum und Infrastrukturen vor abiotischen Naturgefahren zu schützen, muss durch gezieltes Schutzwaldmanagement erhalten oder wiederhergestellt werden. Dazu ist es notwendig, die Wälder hinsichtlich ihrer Schutzfähigkeit einzuwerten. Das vorgestellte Verfahren liefert die Grundlagen für ein neues kostengünstiges forstliches Planungsverfahren, um effektiv und zielgerichtet die für die Schutzwaldpflege und Schutzwaldsanierung dringlichen Bereiche herauszufiltern. Es stützt sich auf moderne Geoinformationstechniken und Modellierungen. Zum ersten Mal werden in Bayern Gefahrenhinweiskarten von anderen Behörden in einem Geo-Informationssystem zusammengefasst, mit Informationen zum standörtlichen Potential verschnitten und für die weitere Schutzwaldplanung ausgewertet. Damit können die begrenzten öffentlichen Mittel noch effektiver eingesetzt werden.

Keywords: Schutzwaldmanagement, Naturgefahren, Geo-Informationssystem, Luftbilder

ABSTRACT

The ability of mountain forests to protect residential areas and infrastructure against abiotic natural hazards has to be maintained or restored by pointedly protection forest management. Therefore it is necessary to evaluate forests according to their protective functions. The presented procedure delivers the basis for a new low cost procedure to detect areas, which are the most important for protection forest management and protection forest restoration. It is based on geographical information system (GIS) techniques and modelling. For the first time in Bavaria maps, which pointed out hazards, will be summarised within forest GIS, combined with site information and assessed for ongoing protection forest planning. That means, limited public funds can be used effectively.

Keywords: protection forest management, natural hazards, geographical information system, aerial pictures

¹ Leiter, Sachgebiet Schutzwald und Naturgefahren der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Am Hochanger 11, 85354 Freising, Deutschland (Tel.: +49-8161-71-4566)

² Inhaber, Büro waldundbaum, Lindenstr. 3, 84332 Herbertsfelden, Deutschland (Tel.: +49-8721-910580)

EINLEITUNG

Der Schutzbedarf für den Menschen und sein Umfeld steigt aufgrund der prognostizierten Klimaänderungen. Sie lassen eine Zunahme von Extremereignissen erwarten (IPCC, 2007; SEILER, 2006 a und b). Die Bedeutung des Gebirgswaldes als Schutzschild für die Siedlungsräume und Infrastrukturen nimmt daher zu. Ein umfassendes Schutzwaldmanagement wird immer wichtiger. Das setzt eine Schutzwaldplanung voraus, die Naturgefahren berücksichtigt. Diese nutzt vorhandene Informationen zu der Art der Naturgefahr, also Lawine, Steinschlag, Rutschungen, Muren, Erosion, Hochwasser und setzt sie in Beziehung zu Schutzobjekten. Dazu sollte ein Verfahren³ entwickelt werden, das die Möglichkeit bietet in vergleichsweise kurzer Zeit die Funktionsfähigkeit der Schutzwälder zu erfassen und eine Reihung der Maßnahmendringlichkeit zum Erhalt ihrer Schutzaufgaben festzulegen.

Die Vorgaben im Einzelnen waren:

- Entwicklung eines Grundkonzepts für das integrale Management alpiner Schutzwälder.
- Analyse der planungsrelevanten Parameter und Ermitteln der prozess- und naturpotentialorientierten Zielstrukturen.
- Entwicklung eines Aufnahmeverfahrens für die Abgrenzung von Beurteilungseinheiten und zur Erhebung des Istzustandes.
- Entwicklung eines Verfahrens zur raschen Analyse der Schutzwirksamkeit von Schutzwäldern auf großer Fläche.
- Überprüfen des Verfahrens in einem Testgebiet.

MATERIAL UND METHODEN

UNTERSUCHUNGSGBIET

Untersuchungsgebiet ist das Einzugsgebiet des Larosbaches im Landkreis Berchtesgadener Land (Abb. 1). Es umfasst eine Fläche von 1475 ha und erstreckt sich über eine Höhenlage von 520 m ü. NN im Mündungsbereich des Larosbaches bis zu 2253 m ü. NN. Die Waldgrenze liegt bei ca. 1750 m ü. NN. Die Waldfläche beträgt rund 1100 ha, sie schließt 50 ha Latschenfelder ein.

Als Bodentypen kommen sowohl tiefgründig entkalkte Braunerden, örtlich mit schluffiger Überdeckung, als auch Rendzina, Braunerderendzina und Parabraunerde aus Kalkstein und kalkalpiner Jungmoräne vor.

Das Gebiet liegt im Wuchsgebiet Bayerische Alpen, Wuchsbezirk „Berchtesgadener Hochalpen und Saalforstamt St. Martin“. Je nach Höhenstufe herrschen von Natur aus unterschiedliche Hauptbaumarten vor (Tab. 1).

Tab. 1: Baumartenzusammensetzung in den Höhenstufen (nach WALENTOWSKI et al., 2004)

Tab. 1: Composition of tree

Höhenstufe	submontan	montan und hochmontan	tiefsubalpin und subalpin	hochsubalpin
Hauptbaumarten	Buche, Tanne, Edellaubholz	Fichte, Buche, Tanne	Fichte	Zirbe, Lärche, Fichte, Latsche

³ Das Verfahren wurde im Rahmen des EU-Projektes „Naturpotentiale alpiner Berggebiete“ entwickelt und durch die Bayerische Forstverwaltung finanziell gefördert. Projektpartner waren Bayerisches Landesamt für Umwelt, Italien (Region Lombardei, Autonome Provinz Südtirol), Schweizer Gebirgswaldpflegegruppe, Österreich (Landesforstdirektion Tirol, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt, Wasserwirtschaft).

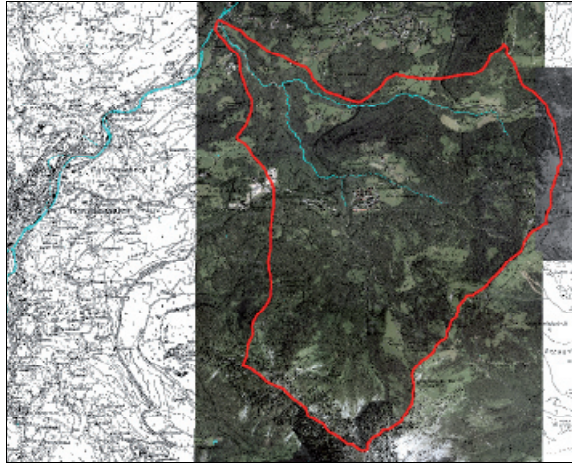


Abb. 1: Das Untersuchungsgebiet Larosbach im Luftbild (rot: Grenze des Gebietes, blau: Gewässersystem)
Fig. 1: Aerial picture of the study area Larosbach (red: limit of area, blue: river system)

In der derzeitigen Waldzusammensetzung dominiert die Baumart Fichte. Die Buche kommt vor allem in den tieferen Lagen vor, die Lärche in den hochmontanen und tiefsubalpinen Höhenstufen. Die Tanne und der Bergahorn verteilen sich gleichmäßig über die montanen Stufen. Die Fichte ist durch alte Schältschäden beeinträchtigt. Zusätzlich treten bei der Fichte auf großer Fläche Rücke- und Steinschlagschäden auf.

Vorkommende Naturgefahren sind Hochwasser, Rutschungen und Lawinen. Das Hochwasser gefährdet Siedlungen und eine Bundesstrasse. Ein Lawinenstrich mit direkter Objektgefährdung ist ausgewiesen.

DATENMATERIAL

Für das Gebiet lagen umfangreiche Daten in digitaler und analoger Form vor (Tab.2).

Die Firma WLM⁴ erstellte aus dem Geländemodell die Geländemerkmalskarten Höhe, Hangneigung, Sonnlage, Exposition und Geländemerkmale. Die Karten ermöglichen es wichtige Kenngrößen des Standortes wie Wasser- und Wärmehaushalt zu charakterisieren und über Stratifizierungstabellen eine Waldtypenkarte abzuleiten.

Als Ersatz für die fehlende geologische Karte im Maßstab 1:25.000 diente die Konzeptbodenkarte. Sie enthält Angaben zu den Bodentypen.

Wesentliche Inhalte der Forstbetriebskarte sind die Bestände und deren Entwicklungsphasen, sowie die Lage der Schutzwälder nach dem Waldgesetz für Bayern. Sie wurde verwendet, um eine Waldmaske zu erstellen. Zudem liefert sie Informationen zur Lage der bestehenden Sanierungsflächen und dort geplanter Maßnahmen.

⁴ WLM: Büro für Vegetationsökologie und Umweltplanung in Innsbruck - Igls, Österreich

Tab. 2: Verwendete Daten**Tab. 2:** used data

Daten	Quelle	Maßstab
Geländemodell	Nationalpark Berchtesgaden	10 x 10 m
Konzeptbodenkarte (KKB)	Landesamt für Umwelt	1:25.000
Geologische Karte	Landesamt für Umwelt	1:200.000
Forstbetriebskarte mit Schutzwaldsanierungsflächen (FBK, 2003)	Bayerische Staatsforstverwaltung	1:10.000
Stichprobeninventur (2002)	Bayerische Staatsforstverwaltung	200 x 200 m
EGAR ⁵ -Daten, Gefahrenhinweiskarte	Landesamt für Umwelt	1:25.000
Echtfarbenortholuftbilder	Landesvermessungsamt	
Stereoskopische Farbinfrarotluftbilder	Nationalpark Berchtesgaden	1:11.000
Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem, digitale Daten	Landesvermessungsamt	1:25.000
Prozessorientierte Anforderungsprofile an den Schutzwald nach der Wegleitung für Pflegemaßnahmen und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS)	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL, 2005)	-

Die EGAR-Daten bewerten Abflussgeschehen und Abtragungsprozesse im Wildbacheinzugsgebiet Larosbach. Die Ergebnisse sind in der Gefahrenhinweiskarte aufbereitet. Sie beruht auf terrestrischen Geländeerhebungen.

Digitale Daten des Amtlichen Topographischen Kartographischen Informationssystems vom Bayerischen Landesvermessungsamt wurden als Rasterdaten übernommen. Sie enthalten Informationen zu Siedlungsräumen und Infrastruktur, um das Schadenspotential einzuschätzen.

METHODEN

Ein geografisches Informationssystem (GIS) auf der Basis von ArcView 3.2 war das zentrale Arbeitsinstrument, mit dem alle Daten zusammengeführt, ausgewertet und für die Ergebnispräsentation aufbereitet wurden.

Eine Standortskarte liegt für den bayerischen Alpenraum nicht vor. Im :nab –Teilprojekt „Walddtypisierung“ entwickelten die Forstverwaltungen Tirols und Südtirols in Zusammenarbeit Firma WLM eine kostengünstige Methode, um auf der Basis von Geländedaten und Substratkarten die potentielle natürliche Bestockung herzuleiten und Aussagen zum Standortspotential zu ermöglichen. In einem vereinfachten Verfahren wurde mittels der Methode der Walddtypisierung eine Karte der Walddtypen für das Untersuchungsgebiet modelliert.

Die in das GIS integrierten Ortholuftbilder erlaubten einheitliche Bestandteile am Bildschirm zu digitalisieren, so dass die Daten direkt im GIS für weitere Arbeiten zur Verfügung stehen. Die genaue Beschreibung der einzelnen Bestände und die Beurteilung der Schutzwirk-

⁵ EGAR: Einzugsgebiete in Alpinen Regionen, Pilotaktionsprogramm für den Alpenraum. Daten wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt zur Verfügung gestellt.

samkeit erfolgte anhand der analogen, höher auflösenden Farbinfrarotluftbilder. Die einzelnen Parameter wurden im Farbinfrarotluftbild angesprochen und in die GIS-Tabellen der einzelnen Bestände eingetragen.

Die Herleitung des Schutzbedarfs (Tab. 3) resultierte aus einer einfachen Bewertungsmatrix durch Verknüpfung des Gefahren- und des Schadenspotentials mittels Multiplikation (BLASCHKE, 2007). Das Gefahrenpotential für Abflussgeschehen und Abtragungsprozess ergibt sich aus den Gefahrenhinweiskarte und lag in 4 numerischen Stufen vor, z. B. 0 = geringe Oberflächendisposition, das Schadenspotential in verbaler Form (LfU, 2006).

Das Schadenspotential wird durch den Wert der Schutzobjekte bestimmt und wie folgt den vier Kategorien der Bewertungsmatrix zugeordnet:

hoch = Gefahr für Menschenleben, Hauptverkehrsverbindungen; mittel = hochwertige Sachgüter, keine direkte Bedrohung von Menschen; gering = geringwertige Sachgüter, vor allem aus dem land- und forstwirtschaftlichen Bereich und Bodenschutzwald; kein = keine Schutzobjekte.

Tab. 3: Bewertungsmatrix für die Berechnung des Schutzbedarfs

Tab.3: Assessment matrix to calculate the requirement of protection

numerische Berechnung des Schutzbedarfs: = (Gefahrenpotential * Schadenspotential)		Schadenspotential (verbal / numerisch)				Ergebnisstraten Schutzbedarf:
		kein 0	niedrig 1	mittel 2	hoch 3	
Gefahren- potential	kein	0	0	0	0	0 = kein 1,2 = gering 3,4 = mittel 6,9 = hoch (bzw. sehr hoch)
	niedrig	1	0	1	2	
(verbal / numerisch)	mittel	2	0	2	4	
hoch	3	0	3	6	9	

Die Bewertung der Schutzwirksamkeit der Bestände erfolgte am Bildschirm anhand von prozessbezogenen Anspracheprofilen, z. B. für Hochwasser (Tab. 4), abgeleitet aus den schweizerischen Anforderungsprofilen NaiS (BUWAL, 2005). Der beurteilte Bestand musste eine Mindestgröße von 0,5 ha aufweisen. Entscheidend für die Einwertung der Schutzwirksamkeit war die schlechteste Bewertung.

Tab. 4: Anspracheprofil für die Luftbildauswertung bei Naturgefahr Hochwasser

Tab. 4: Profile in order to assess the natural hazard high flood for analysis by aerial pictures

Typ A: Schutzwirksamkeit ausrei- chend und nicht gefährdet	Typ B: Schutzwirksamkeit vermut- lich noch ausreichend, aber gefährdet	Typ C: Schutzwirksamkeit (stark) eingeschränkt oder nicht mehr vorhanden
bei Deckungsgrad in %		
größer 70	50 -70	weniger 50
bei Baumarten, Laubholzanteil (nur unterhalb der subalpinen Stufe) in %		
70	30 – 70	weniger 30

Die Schutzwirksamkeit wird wiederum mit dem Schutzbedarf verknüpft, um eine Aussage zur Reihung der Begangsdringlichkeit zu erhalten (Tab. 5).

Tab. 5: Bewertungsmatrix für die Begangsdringlichkeit

Tab. 5: Assessment matrix to calculate the requirement of tending

numerische Berechnung der Begangsdringlichkeit = Schutzbedarf * Schutzwirksamkeit		Schutzbedarf (verbal / numerisch)						Ergebnisstraten Begangsdringlichkeit	
		gering		mittel		hoch			
		1	2	3	4	6	9		
Schutzwirksam (verbal / numerisch)	ausreichend, Typ A	1	1	2	3	4	6	9	1 - 4 = niedrig 6 - 8 = mittel 9 - 27 = dringlich
	gefährdet, Typ B	2	2	4	6	8	12	18	
beeinträchtigt, Typ C	3	3	6	9	12	18	27		

Die vorliegenden Daten (Tab. 2) werden miteinander verknüpft und bilden das Grundkonzept der prozessorientierten Schutzwaldplanung (Abb. 2). Die fachübergreifende Gefahrenanalyse liefert Informationen, wo und welche Naturgefahren auftreten können, wie hoch das Schadenspotential einzuschätzen ist und welcher Schutzbedarf sich hieraus ergibt. Für diese Bereiche werden ausgehend von der Art der Naturgefahr und in Abhängigkeit vom Standortpotential Anforderungsprofile an den Wald formuliert und ein optimaler Zielwaldtyp für den Schutzwald abgeleitet. Der Zielwaldtyp grenzt Flächen mit gleichen Standorts- und Naturgefahrenpotential ab. Innerhalb eines Zieltyps liegen damit einheitliche Anforderungen an eine optimale Schutzwaldstruktur vor und es werden langfristig die gleichen waldbaulichen Ziele verfolgt. Die Zielwaldtypen werden auf ein Luftbild übertragen. Mittels der Anspracheprofile (Tab. 4) wird entsprechend dem Gefahrenprozess und den standörtlichen Gegebenheiten am Bildschirm ein Soll-Ist-Abgleich von Zielwaldtyp und aktuellen Waldzustand durchgeführt und die Schutzwirksamkeit (Tab. 4) eingewertet. Damit können die nötigen Pflege- oder Sanierungsmaßnahmen geplant werden. Die Dringlichkeit bzw. Reihung der Maßnahme leitet sich aus der aktuellen und der zukünftig zu erwartenden Schutzwirksamkeit (Tab. 4) und des Schutzbedarfs (Tab. 3) ab. Ein Schutzwald mit einer Schutzwirksamkeit vom Typ C (Tab. 4) in Kombination mit einem hohen Schutzbedarf (Tab. 3) ist vor einem Schutzwald mit nicht gefährdeter Schutzwirksamkeit zu pflegen bzw. zu sanieren. Damit sind die Wälder deren Schutzfunktion deutlich eingeschränkt ist, die aber gleichzeitig eine wichtige Schutzfunktion erfüllen müssen am Schreibtisch rasch und kostengünstig erfasst und können gezielt vor Ort aufgesucht werden (Tab.5). Dieser Begang dient der endgültigen Festlegung von Pflegemaßnahmen.

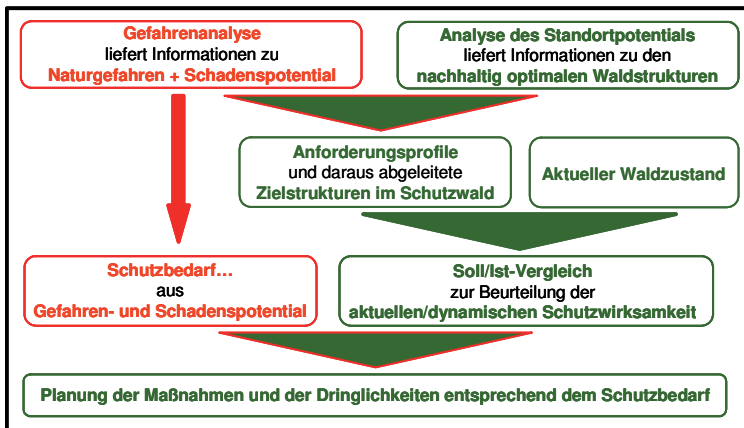


Abb. 2: Das Grundkonzept für die prozessorientierte Schutzwaldplanung
 Fig. 2: Conception of forest protection management

ERGEBNISSE UND PLANUNGSSCHRITTE IM INTEGRALEN SCHUTZWALD-MANAGEMENT

Das Verfahren der prozessorientierten Schutzwaldplanung enthält zahlreiche Planungsschritte aus denen sich die verschiedenen Ergebnisse ableiten (Abb. 3). Sie werden in Karten festgehalten. Im Einzelnen werden folgende Analysen durchgeführt und daraus Karten erstellt:

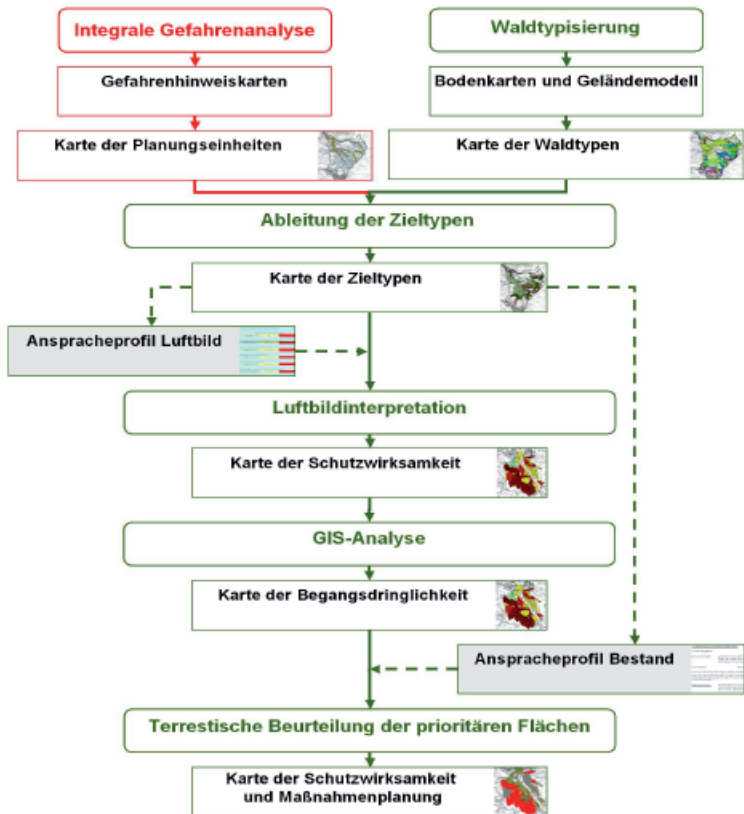


Abb. 3: Ablaufdiagramm: prozessorientierte Schutzwaldplanung mit den wesentlichen Ergebnissen.
Fig. 3: Flow diagram of the forest planning for the prevention of natural hazards with essential results.

- Integrale Gefahrenanalyse und als Ergebnis die Karte der Planungseinheiten Mittels Gefahrenhinweiskarten wird das Gefahren- und Schadenspotential von Naturgefahren bewertet und in der Karte der Planungseinheiten dargestellt. Sie liefert Informationen zum

Gefahrenprozess und den benötigten Schutzbedarf aus der Verknüpfung von Gefahren- und Schadenspotential. Flächen ohne Gefahren- oder Schadenspotential liefern für den Schutzbedarf den Wert Null. Sie sind für die weitere Schutzwaldplanung nicht mehr relevant, da hier entweder keine Naturgefahr vorliegt oder kein Objekt bedroht ist.

- Modellierung des standörtlichen Potentials und als Ergebnis die Karte der Waldtypen
Aussagen zum standörtlichen Potential liefert die Karte der Waldtypen, die kostengünstig mittels einer wissensbasierten Stratifizierungstabelle aus digitalem Geländemodell und Bodenkarten modelliert wird.

- Verknüpfung Standort / Naturgefahr und als Ergebnis die Karte der Zieltypen
Die Kombination von Planungskarte und Waldtypenkarte liefert Flächen mit gleichem Gefahrenprozess und ähnlichem standörtlichem Potential in denen eine einheitliche waldbauliche Zielstruktur angestrebt wird. Dargestellt wird dies anhand von waldbaulichen Zieltypen in der Karte der Zieltypen (Abb. 4)

- Anspracheprofile für Luftbild und Begang
Für einen nachvollziehbaren und einfachen Soll-/Ist-Abgleich sind Anspracheprofile für die Luftbildinterpretation (Tab. 4) bzw. für den terrestrischen Begang nötig. Diese enthalten detaillierte, an das Erhebungsverfahren angepasste Beschreibungen der entscheidenden Kriterien.

- GIS - gestützte Luftbildinterpretation und GIS - Analyse
Mittels GIS - gestützter Luftbildinterpretation werden einheitliche Bestände abgegrenzt und die Schutzwirksamkeit erhoben. Diese wird mit dem Schutzbedarf verschnitten. Das Ergebnis zeigt welche Flächen wie dringend für die weitere Planung zu begehnen sind. Damit wird der Begang auf die Schutzwaldbereiche konzentriert, in denen ein relevantes Bedrohungsszenario und Schadenspotential vorliegt und sofort oder mittelfristig Maßnahmen notwendig sind. Es entsteht die

- Karte der Schutzwirksamkeit und Begangsdringlichkeit (Abb. 5)
Sie liefert die entscheidenden Hinweise, wie dringend die einzelnen Bestände vor Ort zu überprüfen sind. Flächen mit der Kategorie dringlich müssen vorrangig terrestrisch geprüft werden, da hier ein hoher bis sehr hoher Schutzbedarf vorliegt oder bei mittlerem Schutzbedarf die Schutzwirksamkeit zumindest gefährdet scheint.

- Karte der Schutzwirksamkeit und Maßnahmenplanung
Zuverlässige Aussagen zur Schutzwirksamkeit und nötiger Maßnahmen können aus der Karte der Begangsdringlichkeit noch nicht abgeleitet werden. Um die aktuelle Schutzwirksamkeit des Bestandes und seine weitere Entwicklung sicher zu bewerten, ist es nötig, auf den ausgewählten Flächen anhand detaillierter Anspracheprofile einen abschließenden Soll-Ist-Abgleich am Boden vor Ort durchzuführen. Erst dann können die nötigen Maßnahmen geplant und deren Wirksamkeit beurteilt werden. Diese Ergebnisse ermöglichen es, die Bestände der Schutzwaldpflege oder Schutzwaldsanierung zuzuteilen und die Maßnahmindringlichkeit zu bewerten.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, dass nicht der gesamte Schutzwald begangen wird, sondern nur noch die aufgrund ihrer Schutzfunktion besonders wichtigen Waldbestände. Damit ist gewährleistet, dass die Geldmittel, die zur Verfügung stehen, ganz gezielt an der richtigen Stelle eingesetzt werden..

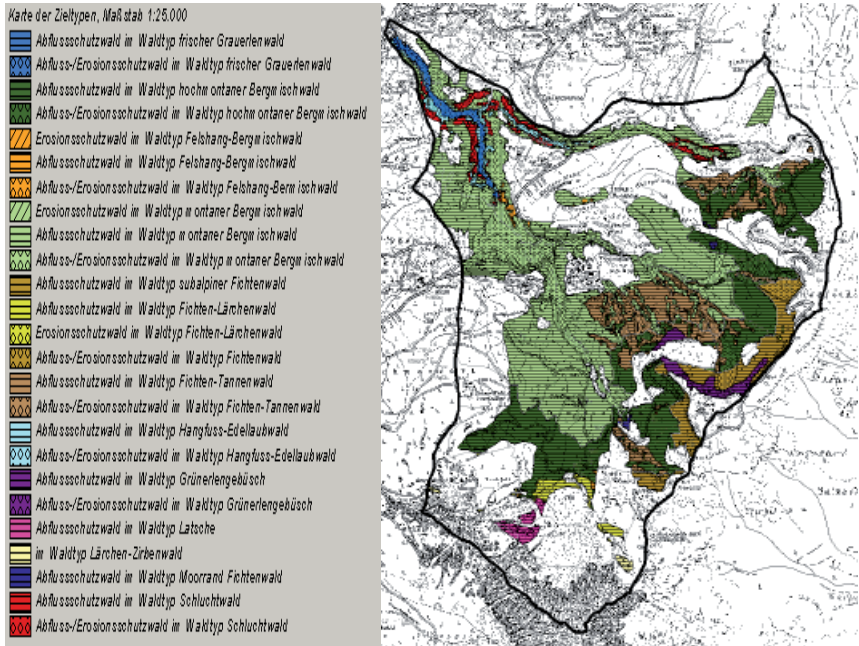


Abb. 4: Karte der Zieltypen für die Gefahrenprozesse Abfluss und Erosion
Fig. 4: map of goal types for discharge and erosion.

DISKUSSION

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus dem Projekt zeigen, dass mit der prozessorientierten Schutzwaldplanung im Rahmen eines integralen Schutzwaldmanagements die in der Einleitung formulierten Ziele erreicht werden. Im Projekt wurde das Verfahren nur in einem kleinen Einzugsgebiet für die Naturgefahren Hochwasser, Erosion und Lawinen getestet. Der Schwerpunkt lag auf der Entwicklung GIS - gestützter Analyseverfahren und Luftbildinterpretation, um aufzuzeigen wie Gefahrenhinweiskarten am besten in ein forstliches Planungsverfahren eingebunden werden können und welche Rationalisierungseffekte für ein integrales Schutzwaldmanagement zu erwarten sind. Das Verfahren ist modular aufgebaut, d.h. neue Erkenntnisse können jederzeit integriert und die Ergebnisse mit geringem Aufwand aktualisiert werden.

Für eine flächige Umsetzung des Verfahrens muss dieses auf noch größeren Flächen in verschiedenen Bereichen der bayerischen Alpen getestet werden, um unterschiedlichste Ausgangssituationen aus Standort und Gefahrenprozessen zu erfassen.

Wichtige Voraussetzungen für die praktische und effektive Umsetzung des Verfahrens sind die Verfügbarkeit von Gefahrenhinweiskarten. Waldtypenkarten hingegen sind nicht zwingend notwendig. Um einem möglichen Informationsverlust entgegenzuwirken sollte bei der Beurteilung der Schutzwirksamkeit zumindest auf Informationen zu den Waldgesellschaften oder den vegetationskundlichen Höhenstufen und der dort vorherrschenden Baumarten zurückgegriffen werden.

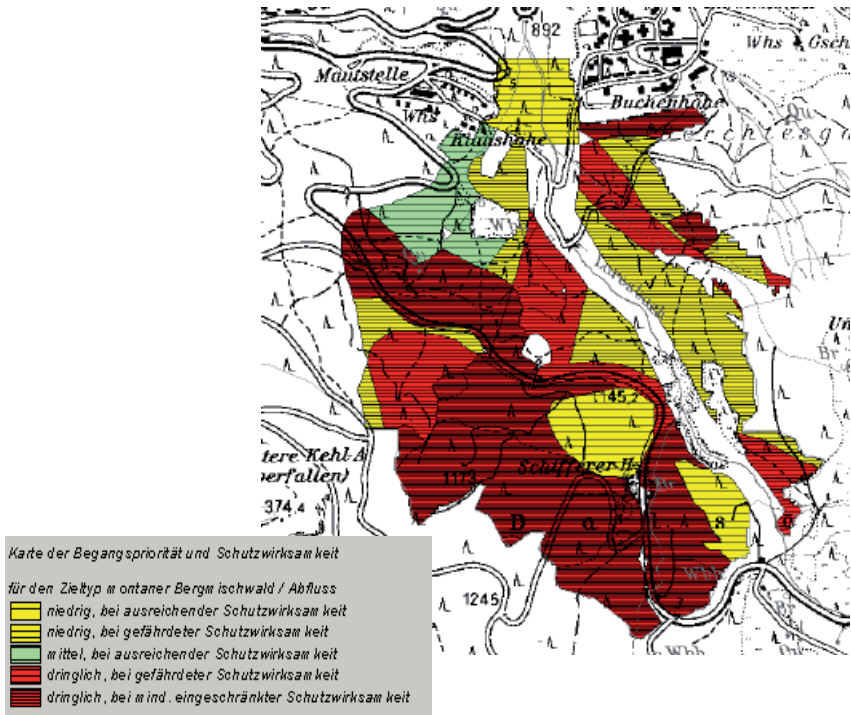


Abb. 5: Ausschnitt aus der Ergebniskarte Begangspriorität und Schutzwirksamkeit
Fig. 5: part of the map field survey and capability to protect against natural hazards

Durch die Einbindung der Schutzwaldplanung in ein übergeordnetes Managementsystem zur Risikominimierung und die Berücksichtigung weiterer Fachplanungen können mögliche Konfliktfelder im Vorfeld erkannt und Maßnahmen darauf abgestimmt werden. Beispielhaft sei hier auf Kartierungen des Naturschutzes, z.B. Natura 2000 oder die kommunale Bauleitplanung verwiesen. Die von BROSINGER (2004) genannten Anforderungen an ein integrales Schutzwaldmanagement werden damit umfassend erfüllt.

Eines der wichtigsten Ergebnisse aus dem :nab-Projekt ist, dass für eine fachübergreifende und transnationale Kooperation wichtige Kontakte und Netzwerke geknüpft wurden. Neben dem Austausch von Fachdaten und der Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt wurde vor allem die internationale Zusammenarbeit und der Wissenstransfer verstärkt. Die meisten Ergebnisse aus dem Projekt wären ohne diese Zusammenarbeit nicht möglich. Dies gilt umso mehr für eine flächige Umsetzung des integralen Schutzwaldmanagements im gesamten europäischen Alpenraum. Diese Voraussetzungen sollten durch weitere fach- und raumübergreifende Projekte nochmals verbessert werden.

LITERATUR

Blaschke, R., Mößmer, R., Binder, F. (2006): „Brennpunkte der Naturgefahren im Bergwald“. AFZ/Der Wald 14/2006

- Blaschke, R. (2007): Integrales Management alpiner Schutzwälder, Schlussbericht zum Modul 6 im INTERREG III B Projekt Naturpotentiale alpiner Berggebiete (:nab), unveröffentlicht S. 78
- Brosinger, F. (2004): Integriertes Schutzwaldmanagement im Bayerischen Alpenraum Konzept und Umsetzung INTERPRAEVENT 2004, Band 1, Thema 3, S. III/23 – 33. Riva del Garda, Trient
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) (2005): „Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion.“ Bern.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007): Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policymakers S. 21
- Landesamt für Umwelt (LfU) (2006): Gefahrenhinweiskarten für das Untersuchungsgebiet Larosbach mit Erläuterungen, unveröffentlicht
- Seiler, W. (2006a): Morgen entscheidet sich heute. Klima-Wandel-Alpen Tourismus und Raumplanung im Wetterstreß CIPRA Tagungsband 23/2006 Kempten
- Seiler, W. (2006b): Der Klimawandel im Alpenraum: Trends, Auswirkungen und Herausforderungen. In: Klimawandel im Alpenraum Auswirkungen und Herausforderungen Lebensministerium (Hrsg), Melk, S. 46
- Walentowski, H., Ewald, J., Fischer, A., Kölling, C., Türk, W. (2004): „Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns“. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. Freising

INTEGRALE PLANUNG VON AUFFORSTUNGEN IN DER BAYERISCHEN LÄNDLICHEN GEMEINDE VON GELTENDORF, DEUTSCHLAND, UM HOCHWASSERSPITZEN ZU VERRINGERN

INTEGRAL PLANNING OF REFORESTATIONS TO REDUCE PEAK FLOWS IN THE RURAL BAVARIAN COMMUNITY OF GELTENDORF, GERMANY

Franz Binder¹, Christian Macher² und Beate Klöcking³

ZUSAMMENFASSUNG

Örtlich begrenzte Starkregen können Auslöser für Hochwasser mit hoher zerstörerischer Kraft sein. Im Gemeindebereich Geltendorf traten im Mai 1999 und im August 2000 Hochwasser auf und verursachten Schäden in der Landwirtschaft. Um in Zukunft Hochwasserschäden zu verhindern, sieht ein Gutachten zum Schutz der betroffenen Gebiete den Bau von Hochwasserrückhaltebecken vor. Vorbeugende Hochwasserschutzmaßnahmen, wie z. B. die Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen sind nicht eingeplant. Die Untersuchung sollte daher mit Hilfe des Wassereinzugsgebietmodells ArcEGMO-PSCN der Frage nachgehen, welchen Beitrag Aufforstungen in kleinen Einzugsgebieten zur Reduktion von Hochwasserspitzen leisten. Die zweite Frage war, wie eine integrale Planung umgesetzt werden kann. Nach den Ergebnissen leisten Aufforstungen einen Beitrag zum vorbeugenden Hochwasserschutz, zudem wird der Niederschlag im Gebiet gespeichert. Als gutes Instrument der integralen Planung bietet sich die Einrichtung eines Runden Tisches mit Teilnehmern aus den Verwaltungen und Interessensvertretern an.

Keywords: Schutzwaldmanagement, Naturgefahren, GIS, Luftbilder

ABSTRACT

Extreme precipitation can cause flash floods of high destructive power. In 1999 and 2000 flood events happened in the area of the community of Geltendorf and caused damage in agricultural land. To prevent flood damages in this region in the future, an engineering company had planned the construction of a flood control-reservoir. The conversion of agricultural land into forest was not integrated in the concept. Therefore an investigation should answer the question which contribution reforestation can make to reduce the risk of flood in small watersheds. This issue was tested by the application of the watershed model ArcEGMO-PSCN. The result was, that reforestations make a contribution to the preventive flood protection and that they are an important element to store precipitation in the area. Another item was how integral planning of reforestations can be arranged. A good way to do it, is to establish a Round Table

¹ Leiter Sachgebiet Schutzwald und Naturgefahren der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Am Hochanger 11, 85354 Freising, Deutschland (Tel.:+49-8161-71-4566 email:bin@lwf.uni-muenchen.de)

² Mitarbeiter im Sachgebiet Schutzwald und Naturgefahren der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

³ Inhaberin, Büro für Angewandte Hydrologie, Murnauer Str. 102a, 81379 München (Tel.: +49-89-71048872 email: kloecking@bah-muenchen.de)

with participants of the technical authorities and stakeholders. The investigation shows that there were no difficulties to establish the Round Table with all who demonstrate an interest for planning reforestations in this area.

Keywords: Integral management, reforestation, preventive flood protection

EINLEITUNG

Örtlich begrenzte Starkregen, typischerweise in Kombination mit Gewittern, sorgen häufig dafür, dass Gräben, Bäche und Flüsse in kurzer Zeit anschwellen. Sie entwickeln sich unter Umständen zu Sturzfluten mit großer Zerstörungskraft (LAWA 1995, Umweltbundesamt 2006). Im Gemeindebereich Geltendorf traten im Mai 1999 und im August 2000 im Flussgebiet der Paar Hochwasser auf. Sie überfluteten im wesentlichen landwirtschaftliche Flächen. Um dies künftig zu verhindern, sieht ein Gutachten zum Schutz der betroffenen Gebiete den Bau von Hochwasserrückhaltebecken vor (BLASY 2003 a u. b). Es setzt allein auf den technischen Hochwasserschutz. Vorbeugende Hochwasserschutzmaßnahmen, wie z.B. die Aufforstung landwirtschaftlicher Flächen sind nicht vorgesehen, obwohl in der Literatur für kleine und mittlere Flussüberschwemmungen, sowie für Sturzfluten in kleinen Einzugsgebieten, eine Wirksamkeit des Waldes weitgehend bejaht wird (MENDEL 2000 aus KENNEL 2004). Daraufhin ging die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft zum einen der Frage nach, ob mit Aufforstungen die Gefahr durch Hochwasser im Gemeindebereich Geltendorf verringert werden kann, zum anderen wie eine integrale Planung zur Umsetzung von Erstaufforstungen aussehen könnte.

MATERIAL UND METHODEN

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet (Tab. 1) erfasst den Oberlauf des Einzugsgebietes der Paar im Gemeindebereich Geltendorf. Das Gebiet ist von sanften Geländeformen geprägt (FETZER K.-D., GROTTENTHALER W. et al. 1986). Die Niederschläge nehmen von Süden nach Norden ab. Nach den Aufzeichnungen der letzten 20 Jahre (DWD 2005) fallen in der Region bei 96% aller Regenereignisse nicht mehr als 40 mm in 24 Stunden. Niederschläge mit mehr als 40 mm sind mit 4% eher die Ausnahme. Der höchste Niederschlag in den letzten 20 Jahren fiel mit 76 mm im Mai 1999. Der höchste Jahresniederschlag wurde mit 1308 mm im Jahr 2002 gemessen.

Mit 31,2% liegt die Bewaldung im Landesdurchschnitt. Die von Natur aus auf großer Fläche vorkommenden Laubwaldgesellschaften sind weitgehend von Nadelholzgesellschaften mit führender Fichte abgelöst (Abb. 1)

Im Untersuchungsgebiet überwiegen die Bodentypen Parabraunerde und Braunerde. Hydro-morphe Böden nehmen einen Anteil von 25% ein (GLA 2005). Bei den Gleyen tritt nach Entwässerung in den oberen Horizonten örtlich leichte Staunässe auf. Mit Ausnahme der Parabraunerde und Braunerde aus Altmoräne ist die Durchlässigkeit der Böden mittel bis sehr hoch.

Tab. 1: Wichtige Kenndaten des Untersuchungsgebietes

Tab. 1: characteristics of the research area

Wuchsgebiete	Westliche kalkalpine Jungmoräne und Molassevorberge /Schwäbisch-Bayerische Schotterplatten und Altmoränenlandschaft
Natürliche Waldgesellschaft	Buchen-Tannen- Wälder mit Anteilen von Fichten und Eschen-Schwarzerlen –Wälder im Bereich der Tal-Niedermoore (WALENTOWSKI et al. 2004)
Geologie	Auenablagerungen, Jungmoräne, Niederterrassenschotter, Löß-lehm, Altmoräne, Niedermoore (Geologische Übersichtskarte 2001)
Größe Untersuchungsgebiet in km ²	38
Höhe ü. NN in m	500 - 610
Jahres – T in °C	7 - 8
Jahres – N in mm	1000 - 1100
Bewaldungsprozent	31,2

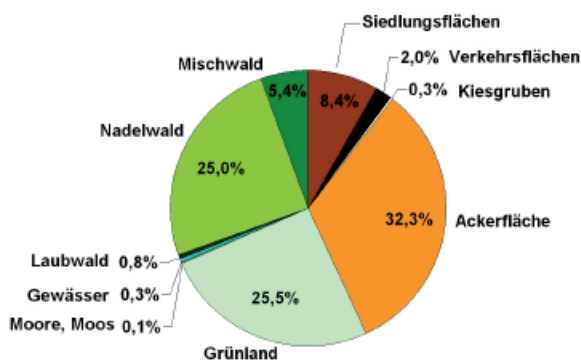


Abb. 1: Landnutzung im Untersuchungsgebiet Geltendorf

Fig. 1: land use in the research area

EINZUGSGEBIETSMODELL ARCEGMO-PSCN

Mit dem Einzugsgebietsmodell ArcEGMO-PSCN (Abb. 2) wurde eine Simulationsstudie durchgeführt, um die Auswirkungen von Wald auf den Gebietswasserhaushalt zu untersuchen. Das Modell bildet die Wechselbeziehungen zwischen Vegetation, Wasserhaushalt und Stoffhaushalt ab. Eingangsgrößen sind u.a. Witterungsdaten (Niederschlag, Lufttemperatur), Landnutzung, Bodenkarte, digitales Höhenmodell und Gewässernetz. Es wird durch den Vergleich von simulierten und beobachteten Durchflussmessreihen validiert (KLÖCKING et al. 2005). Die im Rahmen dieser Untersuchung gewählte Zeitschrittweite betrug 24 Stunden.

Die Simulation der Vegetationsentwicklung erfolgte auf den ackerbaulich genutzten Flächen sowie in den Laub- und Laubmischwaldbeständen auf der Basis von Zeitfunktionen, also dynamisch, welche die innerjährliche Dynamik der Wurzeltiefe (nur Ackerflächen) und des Blattflächenindex beschreiben, die der übrigen Landnutzungsformen mittels eines statischen Ansatzes. Für die Waldbestände wurde ein mittleres Alter (circa halber Umtrieb) angenommen. Die langfristige Dynamik der Wurzelentwicklung ging nicht in die Modellierung ein.

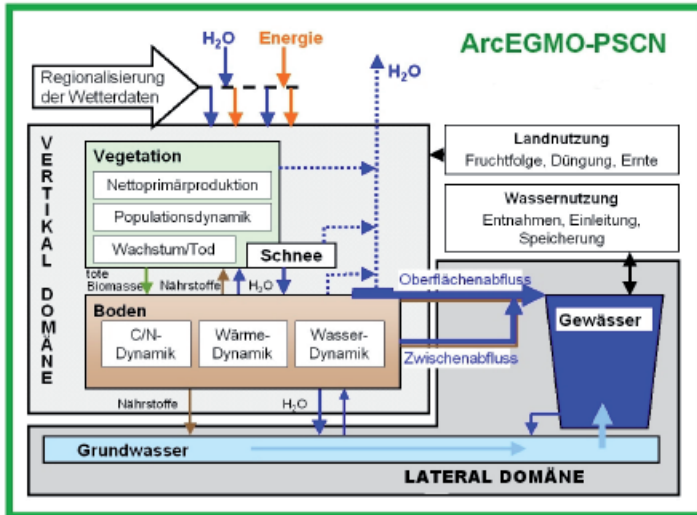


Abb. 2: Modellschema ArEGMO-PSCN
 Fig. 2: model ArEGMO-PSCN

Die für die Berechnung der Interzeption und Transpiration wichtigen Schlüsselgrößen des Blatt- und Stammflächenindexes (LAI, SAI) stammen aus der Arbeit von HAMMEL und KENNEL (2001)

Die Daten für die Simulation der Witterungsgrößen kamen von den 6 nächstgelegenen Klimastationen und 21 Niederschlagsmessstellen des Deutschen Wetterdienstes. Die Übertragung dieser Punktmesswerte auf das gesamte Untersuchungsgebiet geschah mit einem geostatistischen Regionalisierungsverfahren (PFÜTZNER 2005).

FESTLEGUNG VON BESTANDSTYPEN UND AUFFORSTUNGSSZENARIEN

Die in Tab. 2 aufgeführten Bestandstypen fanden mit ihren Durchwurzelungstiefen Eingang in das Modell. Davon käme der Bestandstyp Laubwald von Natur aus großflächig im Untersuchungsgebiet vor (WALENTOWSKI 2004). Derzeit ist er mit 2% vertreten. Der dominierende Bestandstyp im Untersuchungsgebiet ist Fichte mit Kiefer und Buche mit einem Anteil von 75%. Die Ausscheidung von „nassen“ Varianten an Bestandstypen war notwendig, da im Untersuchungsgebiet mit nicht unerheblichen Anteilen grundwasserbeeinflusste Standorte vertreten sind. Diese werden schlechter durchwurzelt als die „trockenen“ Varianten. Besonders deutlich zeigt sich das bei den Bestandstypen Nadelwald und Nadelwald „nass“. In die Modellierung der Aufforstung und der Umbaumaßnahmen ging auf grundwasserfernen Standorten grundsätzlich der Bestandstyp „Laub-/Nadelwald“ mit seiner Durchwurzelungstiefe ein, auf den grundwasserbeeinflussten Standorten der Bestandstyp „Laubwald, nass“.

Es wurden sieben verschiedene Bewaldungsszenarien angenommen (Tab. 3). Dabei reichen die Bewaldungsprozente von den 31,1 der Ausgangssituation bis hin zu 100 im Extremszenario ES2.

Tab. 2: Die Bestandstypen, ihre Baumartenzusammensetzung und max. Durchwurzelungstiefe
Tab. 2: stand types, their species mixture and maximum root penetration

Bestandstyp	Beschreibung	Angenommener %-Anteil der Baumarten am Bestandsaufbau	Durchwurzelungstiefe ⁴ (max.) im Altbestand in m
Laubwald	Buche mit Tanne und Bergahorn / Esche	80Bu, 20Ta, e. ELh	2,0
Laubwald, nass	Eschen-Bergahorn-Schwarzerle, mit bis zu 80 %igen Anteil an Schwarzerle auf den feuchten und nassen Standorten	60SErl, 40Es	1,5
Nadelwald	Fichte mit Kiefer und Buche	70Fi, 15Kie, 15Bu	1,5
Nadelwald, nass	Fichte mit Schwarzerle, Buche	90Fi, 5SErl, 5Bu	0,3
Laub-/Nadelwald	Buche -Tanne- Fichte	50Bu, 30Ta, 20Fi	1,7
Laub-/Nadelwald, nass	Fichte-Schwarzerle	55Fi, 45SErl	1,0

DIE BETEILIGUNG VON FACHBEHÖRDEN, FACHSTELLEN UND ÖFFENLICHKEIT

Die Idee der behördenübergreifenden Zusammenarbeit im Bereich des Hochwasserschutzes ist nicht neu. Die zu beteiligenden Behörden sind lange bekannt (LAWA 2003). Ein wesentliches Ziel des vorliegenden Projektes war, einen integralen Ansatz bei der Planung zum vorbeugenden Hochwasserschutz zu finden. Eine „integrale Planung“ zielt auf die vollständige, gesamtheitliche Betrachtung aller Planungsaspekte ab. Die Idee ist, möglichst allen Betroffenen die Möglichkeit zu bieten, sich in den Prozess einzubringen und so einerseits Synergien zu nutzen und andererseits die Akzeptanz von Maßnahmen schon im Vorfeld sicherzustellen. Die Auswertung der vorliegenden Planungsunterlagen, sowie Literatur- und Internetrecherchen zeigten auf, welche Behörden, Fachstellen und Verbände mittel- und unmittelbar bei Planungen zum vorbeugenden Hochwasserschutz betroffen sind. In einem zweiten Schritt erfolgte die Kontaktaufnahme mit diesen Institutionen, um deren Vorstellungen von einer Zusammenarbeit in diesem Bereich auszuloten und die Schnittstellen untereinander zu ermitteln.

ERGEBNISSE

ERGEBNISSE DER GEBIETSHYDROLOGISCHEN MODELLIERUNG

Abbildung 5 zeigt augenscheinlich, wo nach der aktuellen Landnutzung Oberflächenabfluss gebildet wird. Der Zusammenhang zwischen Abfluss und physikalischen Bodeneigenschaften einerseits und Landnutzung (Abb. 4 u. 5) andererseits ist offensichtlich. Auf den überwiegend aus Altmoränen entstandenen, zur Verdichtung neigenden Parabraunerden und Braunerden treten bei landwirtschaftlicher Nutzung hohe Oberflächenabflüsse auf. Die abflussmindernde und damit Hochwasser vorbeugende Wirkung des Waldes kommt deutlich zum Ausdruck. Aus den Waldflächen fließt nahezu kein Oberflächenwasser ab. Das ist ein eindeutiges Indiz für die hochwasserdämpfende Wirkung des Waldes. Wie gut das Modell die Verhältnisse si-

⁴ nach KUTSCHERA und LICHTENEGGER (2002) POLOMSKI & KUHN (1998), KÖSTLER et al. (1968), STONE & KALISZ (1991) Sie gibt an, wie tief die Wurzeln des jeweiligen Bestandstyps im Schnitt unter optimalen Bedingungen in den Boden vordringen können. Sie errechnet sich aus dem Mittelwert der baumartenspezifischen Wurzeltiefen, gewichtet nach dem prozentualen Anteil der Baumart am Bestandaufbau im Altbestand.

muliert, zeigt sich an den versiegelten Flächen. Die höchsten Abflüsse finden sich, wie zu erwarten war, in den Siedlungsflächen.

Tab. 3: Landnutzungsszenarien für das Untersuchungsgebiet Geltendorf (A = Aufforstungsfläche, BWald% = Bewaldungsprozent)

Tab.3: land use scenario for the research area (A=afforestation area, BWald% = forest cover percentage)

Szenario	Maßnahme	A in ha	Waldfläche in ha ges.	BWald%
Referenzzustand RS	Aktuelle Landnutzung	0	1181,1	31,1
Szenario S1	Karte des kleinsten gemeinsamen Nenners. Es wird mit dem Bestandstyp „Laubwald nass“ aufgeforstet. Bestehende Kleinbestände auf grundwasserbeeinflussten Standorten in diesem Areal (insgesamt 1,8 ha) werden in Laubwälder umgebaut.	129,1	1310,2	34,5
Szenario S1a	Zusätzlich zum Szenario 1 erfolgt ein Umbau aller vorkommenden Nadelbestände auf grundwasserbeeinflussten Standorten in „Laubbestände nass“.	129,1	1310,2	34,5
Szenario S2	Zusätzlich zum Szenario 1 werden 319 ha mit Laubwald und Laub-/Nadelwald aufgeforstet.	448,1	1629,2	42,9
Szenario S3	Zusätzlich zum Szenario 2 erfolgt gleichzeitig ein Umbau aller vorkommenden Nadelbestände auf grundwasserbeeinflussten Standorten in „Laubbestände nass“.	448,1	1629,2	42,9
Szenario S4	Zusätzlich zum Szenario 2a erfolgt ein Umbau aller bestehender Nadelbestände in Laub-/Nadelwald-Bestände	448,1	1629,2	42,9
Extremszenario ES1	Wie S3, alle übrigen Flächen (Siedlungen, Verkehrswege, landwirtschaftliche Nutzfläche) werden mit Laub-/Nadelwald-Beständen und grundwasserbeeinflusste Standorte mit Laubwaldbeständen aufgeforstet. Von dieser Totalaufforstung sind nur Wasserflächen ausgeschlossen.	2609,0	3790,1	99,8
Extremszenario ES 2	Im Unterschied zu ES1 bleiben außerdem die Siedlungsflächen und Verkehrswege erhalten.	2210,3	3391,4	89,3

In Tabelle 4 werden die simulierten Abflüsse (m³/s) für die verschiedenen Szenarien im Untersuchungsgebiet Geltendorf wiedergegeben. Diese setzen sich aus direktem Abfluss (Oberflächenabfluss und Zwischenabfluss) und Basisabfluss (Grundwasserabfluss und verzögertem Zwischenabfluss) zusammen. Danach nehmen mit zunehmendem Bewaldungsprozent die Hochwasserspitzen ab und die Niedrigwasserabflüsse zu. Der Wald mindert die Hochwassergefahr und sorgt gleichzeitig dafür, dass die Austrocknung des Bodens zurückgeht. Es wird mehr Wasser im Gebiet gespeichert.

Nach den Berechnungen des Modells verändert der Umbau von Nadelwald- zu Laub- beziehungsweise Mischbeständen (S1/S1a und S2/S3) die Abflusswerte nur wenig. Die Erklärung könnte die unzureichende Erfassung des Grundwasserhaushaltes durch das Modell sein.

INTEGRALE PLANUNG VON ERSTAUFFORSTUNGEN

Das Wort integral wird im modernen Sprachgebrauch im Sinne von vollständig, umfassend verwendet. Entsprechend sind bei einer integralen Planung von Maßnahmen alle direkt Betroffenen einzubinden. Im Falle von Aufforstungen für den vorbeugenden Hochwasserschutz



Abb. 3: Landnutzung im Untersuchungsgebiet
Fig. 3: land use in the research area

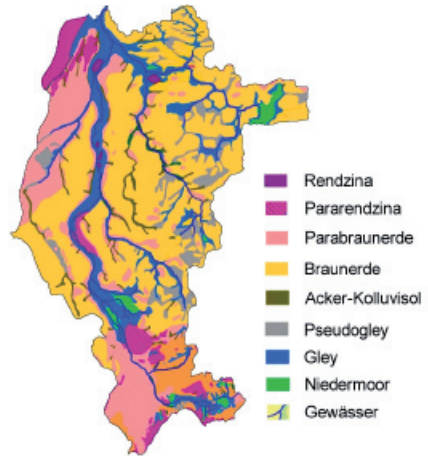


Abb.4: Böden im Untersuchungsgebiet
Fig. 4: soils in the research area

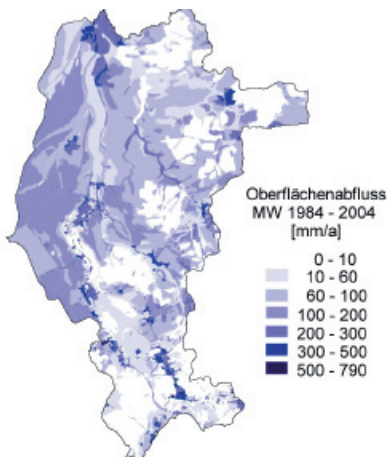


Abb. 5: Bildungsräume des Oberflächenabflusses
Fig. 5: genesis of surface runoff

Tab. 4: Simulierte Abflusswerte (m³/s) für das Untersuchungsgebiet Geltendorf im Zeitraum 01.01.1984 - 31.01.2004. MNQ = Mittel aller Jahresminima, MQ = Mittelwert, MHQ = Mittel aller Jahresmaxima, Sommer (01.05. – 31.10.), Winter (01.11. – 30.4.), BWald% = Bewaldungsprozent

Fig. 4: simulated runoff coefficient (m³/s) for the research area in the period from 01.01.1984 - 31.01.2004. MNQ = mean value of all minimum of a year, MQ= mean value, MHQ = mean value of all maximum of a year.

Szenario	BWald%	Abflusswerte (m ³ /s) Jahr			Abflusswerte (m ³ /s) Sommer			Abflusswerte (m ³ /s) Winter		
		MNQ	MQ	MHQ	MNQ	MQ	MHQ	MNQ	MQ	MHQ
RS	31,1	0,264	0,602	3,25	0,271	0,550	2,46	0,329	0,655	2,46
S1	34,5	0,266	0,602	3,22	0,273	0,552	2,45	0,329	0,652	2,44
S1a	34,5	0,266	0,601	3,21	0,274	0,554	2,45	0,328	0,650	2,44
S2	42,9	0,282	0,605	3,00	0,291	0,562	2,32	0,343	0,648	2,29
S3	42,9	0,282	0,604	2,99	0,292	0,563	2,33	0,342	0,646	2,28
S4	42,9	0,284	0,606	2,99	0,293	0,564	2,32	0,344	0,649	2,28
ES1	99,8	0,328	0,582	1,76	0,350	0,556	1,40	0,382	0,608	1,53
ES2	89,3	0,323	0,610	2,04	0,341	0,592	1,78	0,374	0,628	1,65

in Flusseinzugsgebieten sind das grundsätzlich Wasserwirtschaft, Naturschutz, Land- und Forstwirtschaft, Ländliche Entwicklung und Gemeinde. Das Einzugsgebiet eines Flusses kennt keine administrativen Grenzen. Ein wirkungsvoller Hochwasserschutz lässt sich nur dort verwirklichen, wo eine gute Abstimmung zwischen den Gemeinden herrscht. Hochwasserschutz, der in einem Gemeindegebiet verwirklicht wird, zeigt meist seine Auswirkungen erst beim Nachbarn (Oberlieger – Unterlieger - Effekt). Der Kreis der Beteiligten ist demzufolge um die Nachbargemeinden zu erweitern. Dem regionalen Planungsverband kommt dabei automatisch eine Vermittlerrolle zu, da kraft Gesetz alle Gemeinden einer Region Mitglied sind.

Aufforstungen gestalten und verändern die Landschaft. Sie begünstigen die Artenvielfalt, verbessern das Klima, schützen den Boden, fördern den Erholungswert und verändern die landwirtschaftliche Nutzung. Die im Einzugsgebiet lebende städtische und ländliche Bevölkerung ist damit unmittelbar betroffen. Sie ist in die Planungen durch ihre Interessenvertreter einzubinden. Das sind u.a. Naturschutzverbände, Jagdverbände, Bauernverband und Waldbesitzerverband.

Die integrale Planung von Aufforstungen für den vorbeugenden Hochwasserschutz ist in Richtlinien (z. B. Europäische Wasserrahmenrichtlinie) und Gesetzen (z. B. Baugesetzbuch) angedacht, wenn auch nicht unmittelbar darauf eingegangen wird. Sie wird in der Praxis nicht oder noch nicht ausreichend umgesetzt. Der Nutzen des Waldes als vorbeugende Hochwasserschutzmaßnahme wird unzureichend wahrgenommen und Wald daher in die Überlegungen, z.B. bei der Aufstellung des Flächennutzungsplanes, nicht einbezogen.

Aufgrund unserer Erfahrungen sind für einen integralen Planungsansatz nachfolgende Ablaufschritte sinnvoll. Sie münden in Runden Tischen.

1. Schritt: Es muss festgestellt werden, ob eine bejahende Waldgesinnung vorliegt.

Mit den Verantwortlichen (z.B. Bürgermeister, Wasserwirtschaftsamt) sind Einzelgespräche vor Ort zu führen, um falls nötig Überzeugungsarbeit zu leisten. Dafür eignen sich Büros, die mit der Erstellung des Flächennutzungsplanes oder Gewässerentwicklungsplanes beauftragt sind und engen Kontakt zur Gemeinde pflegen. Dieser Schritt kann unterbleiben, wenn wie im Beispiel Geltendorf eine positive Grundhaltung zum Wald besteht. Es kann dann sofort mit dem zweiten Schritt begonnen werden.

2. Schritt: Einbindung der Fachstellen („kleiner Runder Tisch“).

Es sind gemeinsame Besprechungen der Fachbehörden zu organisieren. Teilnehmen sollten das Amt für Landwirtschaft und Forsten, das Wasserwirtschaftsamt, die untere Naturschutzbehörde, der regionale Planungsverband, das Amt für ländliche Entwicklung. Es werden Gebiete vorgeschlagen, die aus der jeweiligen fachlichen Sicht für eine Aufforstung geeignet sind, unabhängig davon ob diese jetzt oder erst in Jahren erfolgt. Das könnten im Bereich der Landwirtschaft Böden mit geringer Ertragskraft sein. Durch diese Vorauswahl werden bereits im Vorfeld Konfliktfelder aufgezeigt. Die Vorschläge werden auf eine Karte übertragen. Es entsteht als Entwurf die Karte des kleinsten gemeinsamen Nenners. Sie dient als Diskussionsgrundlage für die folgenden Veranstaltungen.

3. Schritt: Einbindung der Öffentlichkeit („großer Runder Tisch“).

Die Karte des kleinsten gemeinsamen Nenners ist im Rahmen eines Arbeitstreffens vorzustellen. Dazu sind die Nachbargemeinden, Verbände und Gemeindebürger, vertreten durch Vereine einzuladen. Der Kreis ist beliebig erweiterbar.

In Geltendorf nahmen zusätzlich zu den Fachbehörden an dieser Veranstaltung die Bürgermeister der Nachbargemeinden, der Bauernverband, der Bayerische Jagdverband, der Bund Naturschutz, die Fischereiverbände, die Interessensgemeinschaft Grund- und Hochwasserschutz Obere Paar –Lech e.V., die Jagdgenossenschaften, die Pfarrgemeinderäte, die Kirchenverwaltungen und die Waldbesitzervereinigung teil. Die Karte fand Akzeptanz bei der Mehrheit der Anwesenden und kann nun den Fachbehörden als Arbeitsgrundlage dienen

4. Schritt: Einrichtung eines „Runden Tisches“ als dauerhafte Institution.

Der Runde Tisch sollte regelmäßig zusammenkommen. Die Zusammensetzung wechselt. Die Teilnahme der Fachbehörden ist nicht zwingend erforderlich. Der Tisch vermittelt den interessierten Bürger die Vorteile von Hochwasserschutzmaßnahmen und leistet bei der Umsetzung des Aufforstungsvorhabens Überzeugungsarbeit. Er ist Ansprechpartner für aufforstungswillige Grundeigentümer, die Wald. Die Teilnehmer beschließen und führen Aktionen durch (z.B. Anlage eines Lehrpfades, Herausgabe eines Faltblattes, Hochwasserübungen etc.), um in ihrer Gemeinde Akzeptanz für unpopuläre Hochwasserschutzmaßnahmen zu finden. Es ist Ziel, das Bewusstsein in der Bevölkerung für die Gefahren durch Hochwasser zu stärken.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass alle Fachbehörden und Betroffenen bereit waren im Gemeindebereich bei der Planung von Aufforstungen für den vorbeugenden Hochwasserschutz mitzuarbeiten. Die integrale Planung stößt auf Akzeptanz. Der Anstoß zu einer integralen Planung und ihre Umsetzung muss aber von jemand in die Hand genommen werden. Am besten eignet sich hier die Gemeinde.

DISKUSSION

In der Literatur wird für kleine und mittlere Flussüberschwemmungen, sowie für Sturzfluten in kleinen Einzugsgebieten, eine Wirksamkeit des Waldes gegen Hochwasser weitgehend bejaht (MÖßMER 2003, MENDEL 2000 aus KENNEL 2004).

Dies wird bestätigt durch die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens für das Einzugsgebiet der Paar im Raum Geltendorf durchgeführte Modellierung des Gebietswasserhaushaltes. Auf bewaldeten Flächen wurde nahezu kein Oberflächenabfluss simuliert. Dies verringert den Abfluss und bedeutet, dass jeder Quadratmeter neu begründeter bzw. nicht gerodeter Wald

hochwasserwirksam wird. Gleichzeitig steigt dadurch die Grundwasserneubildung. Dies könnte bei der bereits heute beobachteten Verschiebung der saisonalen Verteilung der Niederschlagssummen im nordalpinen Bereich mit einer Abnahme im Sommer und einer Zunahme im Winter (SEILER 2006) von Bedeutung werden und wäre ein weiteres Argument für die Landnutzungsform Wald. Die Neubegründung von Waldflächen hat eine ausgleichende Wirkung auf das Abflussgeschehen. Das mittlere Jahresabflussminimum wird vergrößert und das mittlere Jahresabflussmaximum wird gesenkt. Der Abfluss wird kalkulierbarer. Die Aufforstung von rund 130 ha im 38 km² großen Untersuchungsgebiet verringert das mittlere Jahresabflussmaximum um rund 1%.

Dies erscheint auf dem ersten Blick wenig. Allerdings sollte nicht vergessen werden, dass ein um wenige Zentimeter niedrigeres Hochwasser das Schadensausmaß erheblich mindern kann. Die Aufforstung von rund 450 ha (S2) verringerte das mittlere Hochwassermaximum bereits um 8%. In der Praxis wird sich diese Variante allerdings kaum umsetzen lassen, wenn die Aufforstungsfläche für ganz Bayern aus dem Jahr 2004 mit 329 ha als Vergleich herangezogen wird (BaySTMLF 2005b). Die Aufforstung (S2) erfasste schwerpunktmäßig Flächen mit niedrigem Oberflächenabfluss des Bodentyps Pararendzina aus carbonatreichem Schotter. Aufforstungen auf dichtgelagerten Böden (z.B. Parabraunerden aus der Altmoräne) dürften einen noch höheren Effekt auf den Landschaftswasserhaushalt haben (HEGG, 2006).

Der simulierte Umbau von Fichtenwäldern in Laub-/Nadelmischwälder und Laubwälder hatte keinen feststellbaren Einfluss auf das Abflussgeschehen. Dies verwundert, da Laubbaumarten wie Bergahorn, Esche, Buche Schwarzerle mit ihrem Wurzelsystem den Boden tiefer durchwurzeln, als Fichte. Sie müssten damit die Aufnahmekapazität des Bodens für Niederschlagswasser erhöhen und zu einer Minderung des Abflusses beitragen. Eine Erklärung könnte das bei der Simulation verwendete vereinfachte Vegetationsmodell und das fehlende Grundwasserströmungsmodell sein.

Das vorliegende Ergebnis mag den einen oder anderen enttäuschen. Nichtsdestotrotz bestätigt es die Bedeutung des Waldes für den vorbeugenden Hochwasserschutz. Selbstverständlich kann - und das war bereits vor der Untersuchung bekannt - Wald den technischen Hochwasserschutz nicht ersetzen, aber durchaus ergänzen.

Aber auch dem technischen Hochwasserschutz sind Grenzen gesetzt. So beruht dieser auf Bemessungshochwasser, z. B. HQ 100. Das heißt ein Hochwasser, das wahrscheinlich nur alle 100 Jahre auftritt und auf das die Deichhöhe ausgelegt wird. Dieses Bemessungshochwasser errechnet sich aus in der Vergangenheit tatsächlich stattgefundenen Hochwasserereignissen. Gerade in Zeiten des Klimawandels muss aber mit solchen Werten vorsichtig umgegangen werden. Im Unterschied zu den technischen Maßnahmen erfüllt der Wald noch zahlreiche andere Funktionen. Neben der Funktion des vorbeugenden Hochwasserschutzes ist er u. a. von besonderer Bedeutung für den Bodenschutz, Grundwasserschutz und Klimaschutz. Waldflächenerhalt oder -mehrung ist daher aus vielen Gründen gefordert.

Die Zusammenarbeit von Fachstellen bei raumbedeutsamen Maßnahmen ist gängige Praxis. Sie erfolgt i.d.R. mittels schriftlicher Stellungnahmen. Mündliche Besprechungen am Runden Tisch, d.h. jeder Teilnehmer ist gleichberechtigt und kann seine fachliche Meinung einbringen, sind eher die Ausnahme. In vorliegender Studie gelang es ohne Schwierigkeiten alle Beteiligten an einen Runden Tisch zu bringen und für das Gebiet eine Aufforstungsplanung zu entwerfen. Dies war letztendlich dem sehr engagierten Bürgermeister der Gemeinde Geltenhof und dem Amt für Landwirtschaft und Forsten Fürstenfeldbruck zu verdanken.

Diese Form der Zusammenarbeit ist für das Hochwasserrisikomanagement besonders wichtig. Es gilt durch gegenseitige Information Missverständnisse auszuräumen, um mit den drei Säulen

len des Hochwasserschutzes, technische Verbauung, vorbeugender Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge gemeinsam ein Haus zu bauen.

Obwohl die Vorteile einer integralen Planung am Runden Tisch wie z. B. kurze Informationswege, mögliche Beschleunigung des Verfahrens, unmittelbare Klärung konfliktträchtiger Punkte usw. auf der Hand liegen, findet er in die Praxis selten Eingang. Vermutlich ist es nicht leicht einen Freiwilligen zu finden, der die Organisation und Koordination des runden Tisches übernimmt, da dies gerade in der Etablierungsphase mit erheblichem Aufwand verbunden ist. Die im Planungsverfahren federführende Kommune bietet sich als Koordinator des runden Tisches an. Ihre Vertreter sind mit den örtlichen Verhältnissen vertraut, kennen die zuständigen Fachstellen und besitzen das nötige Fingerspitzengefühl, um die Öffentlichkeit zum richtigen Zeitpunkt einzubinden. Der Vorteil der Beschleunigung des Planungsverfahrens durch die direkte Zusammenarbeit der Fachstellen gleicht die zusätzliche Arbeit bei der Koordination in jedem Fall aus. Zudem schafft der Runde Tisch Transparenz und erhöht somit die Akzeptanz für die geplanten Maßnahmen. Er sollte als zentrales Element der Hochwasserschutzplanung genutzt werden, auch wenn damit ein gewisser organisatorischer Aufwand verbunden ist.

LITERATUR

- Bayerisches Geologisches Landesamt - Gla (2005): „KBK 25 aus dem Bodeninformationssystem Bayern (BIS) für öffentliche Stellen“, Internet: <http://bis.gla.bybn.de> (Zugriff: 21.09.2005, 10.45 MEZ)
- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (2001): „Gewässerentwicklungsplanung – Fließgewässer“. Merkblatt 5.1/3. 37 S., München
- Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (2005a): „Integrierte ländliche Entwicklung – Dorferneuerung – Flurneuordnung“, Fachtagung 2004; Jahresbericht 2004 aus der Reihe „Berichte zur ländlichen Entwicklung“. 83 S., München
- Bayerisches Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten (2005b): „Jahresbericht 2004, Statistikband 2004“; 68 S., München
- Blasy L. & Øverland H., (2003a): „Hochwasserschutz – Gemeinde Geltendorf, Landkreis Landsberg a. L. – Studie“. Gemeinde Geltendorf (Auftraggeber). 21 S. + Anhänge, Eching am Ammersee
- Blasy L. & Øverland H., (2003b): „Hochwasserschutzkonzept Paar – Niederschlag-Abfluss-Modell“. Regierung von Schwaben (Auftraggeber). 64 S. + Anh., Augsburg
- Deutscher Wetterdienst (2005): Klimadaten von 7 Klimastationen und 16 Messstellen im Umfeld des Untersuchungsgebietes Geltendorf als Datenpaket auf Anfrage der LWF
- Europäische Union (2000): Richtlinie 2000/60/Eg des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Europäische Wasserrahmenrichtlinie)
- Fetzer K.-D., Grotenthaler W. et al. (1986): „Standortliche Bodenkarte von Bayern 1:50.000 München – Augsburg und Umgebung“. Bayerisches Geologisches Landesamt. 396 S., München
- Hammel K., Kennel M. (2001): „Charakterisierung und Analyse der Wasserverfügbarkeit und des Wasserhaushalts von Waldstandorten in Bayern mit dem Simulationsmodell BROOK90“. Forstliche Forschungsberichte 185/2001. Schriftenreihe des Wissenschaftszentrums Weihenstephan und der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 135 S., Freising
- Hegg C.(2006): „Waldwirkung auf Hochwasser“. Vortrag im Rahmen des Hochwassersymposiums der LWF am 27.4.2006 in Freising; aus: Zusammenfassung der Vor-träge

- HAD (2003): „Hydrologischer Atlas von Deutschland“ - Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. 239 S., Bonn / Berlin
- Kennel, M. (2004): „Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern“. LWF Wissen 44, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 76 S., Freising
- Klöcking, B., Schwarze, R., Beudert, B., Suckow, F., Lasch, P., Badeck, F., Pfützner, B., (2005): „Auswirkungen des Borkenkäferbefalls auf den Wasser- und Stoffhaushalt zweier Gewässereinzugsgebiete im Nationalpark Bayerischer Wald“, Schriftenreihe „Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet der Großen Ohe“, Bd. 8, ISSN 0937-0056, 174 S.
- Köstler J.N., Brückner E., Bibelrieter H. (1968): „Die Wurzeln der Waldbäume“. Verlag Parey, 284 S., Hamburg
- Kutschera L., Lichtenegger E. (2002): „Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher“ - 6. Band der Wurzelatlas-Reihe. Leopold Stocker Verlag. 604 S., Graz, Stuttgart
- Lawa, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1995): „Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz: Hochwasser – Ursachen und Konsequenzen“. 30 S., Stuttgart
- Lawa, Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (2003): „Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz“. 35 S., Düsseldorf
- Mößner, R. (2003): „Vorbeugender Hochwasserschutz im Wald - Umsetzung im praktischen Forstbetrieb“; aus LWF Wissen 40, Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 74 S. + Anhang, Freising
- Nash, J. E., Sutcliffe, J.V. (1970): “River Flow Forecasting through Conceptual Models – Part I: A Discussion of Principles”. *Journal of Hydrology*, 10, pp. 282-290
- Pfützner, B. (2005): „Verfahren zur Regionalisierung der Witterungsdaten“, In: Klöcking et al. (2005), Auswirkungen des Borkenkäferbefalls auf den Wasser- und Stoffhaushalt zweier Gewässereinzugsgebiete im Nationalpark Bayerischer Wald, Schriftenreihe „Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet der Großen Ohe“, Bd. 8, ISSN 0937-0056. S. 20-22.
- Polomski J., Kuhn N. (1998): „Wurzelsysteme“. Hrsg. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee, Landschaft (WSL). 290 S., Birmensdorf; Bern, Stuttgart, Wien
- Seiler, W. (2006): „Der Klimawandel im Alpenraum: Trend, Auswirkungen und Herausforderungen“. In: *Klimawandel im Alpenraum*. Lebensministerium, Hrsg. S.7 – 20, Wien
- Stone E.L., Kalisz P.J. (1991): “On the maximum extent of tree roots”. *Forest Ecology and Management*, 46, S. 59-102; Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam
- Umweltbundesamt, Hrsg. (2006): „Was Sie über vorsorgenden Hochwasserschutz wissen sollten“; Dessau. Vorab - Version zur Veröffentlichung im Internet: <http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-presse/2006/pd06-017.htm> (Zugriff: 14.03.2006, 16.35 MEZ)
- Walentowski H., Ewald J., Fischer A., Kölling C., Türk W. (2004): „Handbuch der natürlichen Waldgesellschaften Bayerns“. Verlag Geobotanica; 441 S., Freising

IMPROVING THE MANAGEMENT OF PROTECTION FORESTS IN SWITZERLAND

THE PROJECT SILVAPROTECT-CH

VERBESSERUNG DES SCHUTZWALDMANAGEMENTS IN DER SCHWEIZ

DAS PROJEKT SILVAPROTECT-CH

Marzio Giamboni¹, André Wehrli²

ZUSAMMENFASSUNG

Um dauerhaft eine hohe Schutzwirkung erbringen zu können, werden Schutzwälder häufig gemäß speziellen Richtlinien gepflegt. Dies generiert zusätzliche Kosten und macht so den Einsatz von öffentlichen Mitteln nötig. Diese Mittel sind beschränkt und müssen daher so effizient als möglich eingesetzt werden. Dazu braucht es eine Schutzwaldausscheidung, welche auf nationalem Niveau möglichst einheitlich ist. In der Schweiz ist dies momentan nicht der Fall. Aus diesem Grund hat das BAFU das Projekt SilvaProtect-CH gestartet.

SilvaProtect-CH soll die Grundlagen für zwei Ziele bereitstellen: (1) Für einen objektiven Zuteilschlüssel der Bundesmittel auf die Kantone und (2) für eine vereinheitlichte Schutzwaldausscheidung in der Schweiz. Das Projekt baut auf fünf Modulen auf. In den Modulen 1 und 2 wurden die Waldfläche und das Schadenpotenzial über die ganze Schweiz bereitgestellt. In Modul 3 wurden verschiedene Naturgefahren modelliert. Die Resultate der Module 1-3 wurden schließlich in zwei GIS-spezifischen Modulen miteinander verschnitten und analysiert.

SilvaProtect-CH lieferte die für den Zuteilschlüssel nötigen Daten Mitte 2006. Die Kriterien zur einheitlichen Schutzwaldausscheidung werden momentan entwickelt und sollten bis Ende 2007 verabschiedet sein.

Keywords: Schutzwald, Naturgefahrensimulation, Subventionswesen

ABSTRACT

To provide an effective protection from natural hazards, protection forests are mostly managed following specific management rules. This often generates additional expenses which are supported by public funds. For an efficient application of these funds, the

1 Federal Office for the Environment FOEN, Hazard Prevention, CH-3003 Bern, Switzerland (Tel.: +41-31-324-86-40; Fax: +41-31-324-78-66; email: marzio.giamboni@bafu.admin.ch)

2 Federal Office for the Environment FOEN, Hazard Prevention, CH-3003 Bern, Switzerland (Tel.: +41-31-323-93-98; Fax: +41-31-324-78-66; email: andre.wehrli@bafu.admin.ch)

delineation of protection forests needs to be comparable on a national level. Since this is not the case in Switzerland, the FOEN has launched the project SilvaProtect-CH.

SilvaProtect-CH has two major aims: (1) to provide an objective distribution frame for the public funds and (2) to supply basics for a standardized delineation of protection forests in Switzerland. It is organized in five modules. In module 1 and 2, the forested area and the damage potential were acquired over whole Switzerland. In module 3, different natural hazards were modelled. The results of modules 1-3 were finally intersected and analyzed in two GIS-specific modules.

SilvaProtect-CH provided the necessary data for the distribution frame by mid 2006. The criteria's for a standardized delineation of protection forests are currently developed and will be passed by the end of 2007.

Keywords: protection forests, process modelling, management of public funds

BACKGROUND

According to the Swiss Federal Law on Forests of 1991, the cantons are obliged to delineate protection forests (Art. 18, Federal Ordinance on Forests). The former Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape (SAEFL) defined the criteria to be used in the delineation of the special protective function; only general information was provided on the delineation of the protective function. SAEFL was not involved in the concrete planning subsequently undertaken by the cantons. This process resulted in significant differences in the delineation of protection forests.

Since 2003 certain federal subsidies were restricted to the area of the protection forest perimeter. Moreover, the cantons have long been demanding for a distribution of federal resources on the basis of objective criteria. For this reason, the varying cantonal delineations of the protection forests are no longer adequate. At a conference of the Confederation and cantons in 2003, agreement was reached on the implementation of protection forest delineation on the basis of harmonized objective criteria to ensure that the quality of delineation would be consistent throughout Switzerland in future. It was also decided that the differentiation between the "protective function" and "special protective function," which is difficult to pinpoint, would be abandoned and, in future, reference would only be made to the protection forest.

PROJECT PHASE I

Introduction

The Federal Office for the Environment (FOEN) launched the SilvaProtect-CH project in 2004. The aim of Project Phase I is the formulation of a protection forest index which is required for the allocation of federal funding to the cantons for protection forest maintenance (as a basis for an objective allocation code). Based on the results of Project Phase I, it is intended to define uniform criteria on cantonal protection forest delineation in a follow-up project (Project Phase II).

With SilvaProtect-CH, FOEN aims to develop a uniform solution for all of Switzerland that is designed on the basis of objective criteria. The following conditions were defined for the basic data:

- the input data used must be available for all of Switzerland, consistent in quality, regularly updated and recorded;
- the system used must allow dynamic data management so that different scenarios can be developed and data that quickly becomes obsolete (e.g. on damage potential) can be updated at any time;
- the minimum aim is to create an 80/20% solution.

The project was closely supported by a group of experts comprising representatives of the Cantons, representatives of the High schools and FOEN. The support team’s tasks are:

- to provide advice and support to the project management on specialist issues,
- to forward the information to the cantons,
- to discuss the pilot findings and incorporate the views of the cantons,
- to discuss the final results and assist in their implementation in the cantons.

The Five Modules of SilvaProtect-CH Phase I

Project phase I of SilvaProtect-CH is based on five modules (Fig. 1):

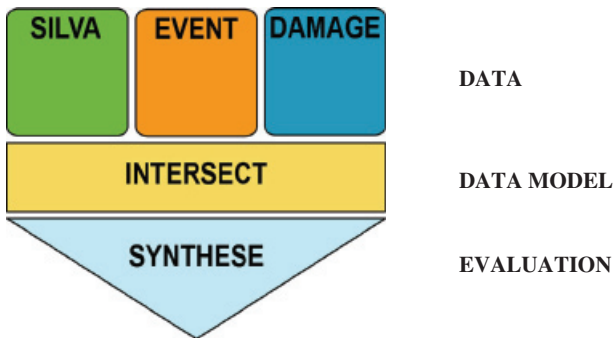


Abb. 1: modularer Aufbau der Projektphase I

Fig. 1: modular design of project phase I

SILVA

The SILVA module yields Switzerland’s forest area.

EVENT

In this module, different hazard perimeters were modelled on a process-specific base.

DAMAGE

The relevant damage potential was defined and developed in this module.

INTERSECT

In this module, first, the data records from the other modules are represented in a data model and managed in the Geographical Information system and, second, the hazard perimeters are linked with the damage potential.

SYNTHESE

The end results of Project Phase I are processed in the module called „Synthese“: the damage-relevant process areas in the forest.

SILVA

The relevant forest areas were extracted from the 1:25,000 digitized map (i.e. forest and open forest). The digital data records of the areas damaged by Storms Vivian (1990) and Lothar (1999) were added to these areas.

EVENT

Snow avalanche

Model and simulation were developed respectively done by the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research and the Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research.

Potential avalanche release areas were identified on the basis of an analysis of the digital terrain model with a distinction being made according to whether the avalanche releases arise in the forest or outside it. For the calculations, the thickness d_0^* of an avalanche with a 300-year return period was determined for each sub-area based on the extreme-value statistical analysis of monitoring data from long-standing stations. The two-dimensional Voellmy-Salm model, AVAL-2D, was used for the calculations (Gruber 1998). In order to ensure that the runout zone of each avalanche can be traced back to the corresponding release area, the release areas were divided in such a way that the avalanche tracks of adjacent release areas do not overlap.

Given that, in extreme situations, adjacent release areas can also be triggered together, resulting in the flow of a correspondingly larger mass down to the valley, there is a risk that the avalanche threat in individual areas is underestimated. This circumstance was taken into account to a certain extent in that a slightly lower coefficient of friction was selected than that used in the previous individual calculations of avalanche paths which were carried out manually.

Switzerland was divided into 30 operational areas with a maximum size of 1500 km². A total of approximately 10,000 simulations were carried out.

Rockfall

Model and simulation were developed respectively done by the consortium GEOTEST AG / Geo7 AG / Oeko-B AG (Liener et al. 2008).

The Geotest/Zinggeler rockfall model (Liniger 2000) calculates the paths of rocks and boulders in digital three-dimensional terrain models (DEM). Starting points are generated in a specified density within defined detachment zones. Based on these points, the fall of a block is modelled as a sequence of contact reactions of the block with the substrate or the forest, as flight parabola and a rolling motion.

The information density of the input parameters is based, first, on the size of the test area and, second, on the specified test objective. Standardized values were used for SilvaProtect-CH which should enable the calculation of the maximum possible realistic coverage. The program calculates thousands of rockfall paths, whose envelope defines the rockfall process space.

Slope-type debris flow / shallow landslides

Model and simulation were developed respectively done by the consortium GEOTEST AG / Geo7 AG / Oeko-B AG (Liener 2000, Liener et al. 2008).

The modelling of the process of slope-type debris flow is divided into two parts. First, the release areas are modelled using the SliDisp model and then the transit and runout areas are calculated using the SlideSim model.

SliDisp: The SliDisp model determines the slope stability for each 10*10 m grid cell with the help of the 'Infinite-Slope-Analysis' stability calculation method.

SlideSim: Based on the topography and gradient and taking the spread parameters into account (i.e. spread factor, persistence factor, limit gradient), the runout paths of slope-type debris flows are simulated using a random walk approach. The range of slope-type debris flows is determined using a simple analytical approach, i.e. the Voellmy approach.

Debris flow

Model and simulation were developed respectively done by the consortium GEOTEST AG / Geo7 AG / Oeko-B AG (Liener et al. 2008).

The debris flow trajectories were simulated using the *MGSIM* program (Gamma 2000) which consists of four components:

- relief analysis (catchment area size per pixel, slope gradient, exposure, flow paths)
- estimation of available bedload and analysis of sediment yield (debris production, matrix, permeability)
- Identification of debris flow release areas
- Identification of debris flow range and runout of debris flows on the cone.

The available bedload is calculated for each point in the channel based on the analysis of the relief and other basic data. The possible debris flow releases are determined on the basis of the available bedload and the size of the catchment area. The spread and ranges for all debris flow releases are calculated using the *dfwalk* program (Gamma 2000) and archived as trajectories.

Driftwood

Model and simulation were developed respectively done by the Ingenieure Bart AG St.-Gallen.

A driftwood movement track is calculated from each point in the terrain that is not higher than 2000 m asl and fulfils the necessary conditions either until the maximum specified transport distance is reached or until a channel with debris flow potential or a flood buffer with a hydrological watershed area of at least 0.2 km² is reached.

Hydrologically effective areas

Model and simulation were developed respectively done by the Ingenieure Bart AG St.-Gallen.

The basic information as to whether a forest has an effect on flood water run-off is taken from the guide "Nachhaltigkeit im Schutzwald - NaiS" (Frehner et al. 2005) which specifies the extent to which the water retention capacity of the soil in every forest community can be influenced through silvicultural intervention. Thus the aim of the modelling is not the flood protection effect in itself, but the definition of the forest communities.

What is involved here is the identification of the most likely vegetation communities from a (limited) number of input data (based on Kienast et al. 1994, 1998). In addition to the actual plant species, the different forest communities mainly differ in terms of their regional distribution, altitudes, exposure, slope, climate and soil properties. These parameters were defined in a GIS and linked with each other.

DAMAGE

The damage potential was defined together with the support group and the relevant objects extracted from the input data as damage potential. Afterward, the line and point objects were buffered.

The following categories were included:

- road network with access function
- railway network with mandatory timetable and industrial railway

- residential building (permanently and temporarily occupied)
- industrial and commercial buildings and industrial zones
- public buildings
- installations
- tourism installations

INTERSECT

In this module, first, the data records from the other modules are depicted in a data model and managed in the Geographical Information System, and, second, the hazard perimeters are linked to the damage potential (Fig. 2):

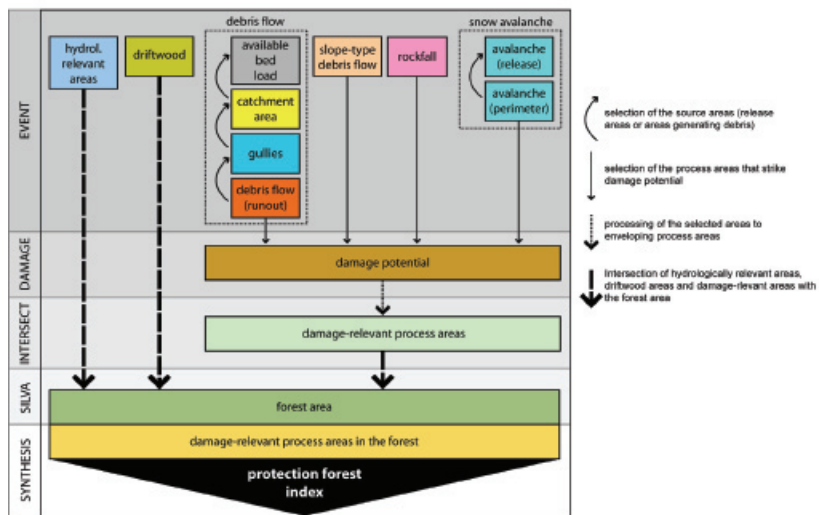


Abb. 2: Schematische Darstellung zu Datenverknüpfung und -bearbeitung im Modul INTERSECT
Fig. 2: Schematic representation of data linking and processing in Module INTERSECT

Based on the data in the EVENT and DAMAGE modules, the damage relevance of the modelled trajectories and areas is verified (blending with the damage potential, Fig. 3), buffered in part (rockfall, slope-type debris flow) and then summarized in one damage-relevant process area (Fig. 4).

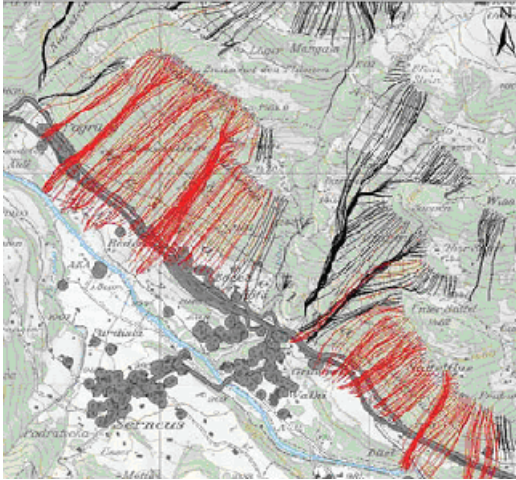


Abb. 3: Sturztrajektorien (rot), welche auf ein Schadenpotenzial (grau) treffen. Schwarz: übrige Sturztrajektorien
Fig. 3: Rockfall paths (in red) striking a damage potential. In black: remaining rockfall paths

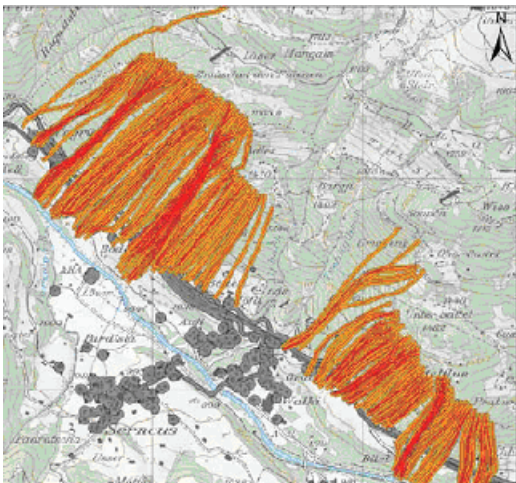


Abb. 4: schadenrelevante Sturztrajektorien (rot), und deren Umhüllende (orange)
Fig. 3: damage-relevant rockfall paths (in red) and their envelope (in orange)

SYNTHESE

The results from the INTERSECT module and the areas that generate driftwood as well as the hydrologically effective areas from the EVENT module are individually intersected with the forest area (SILVA module) to obtain the damage-relevant areas in the forest (*srPW*) per

process type (Fig. 5-6). These are then weighted for the calculation of the protection forest index with the overlaps of the individual areas being adjusted in advance.

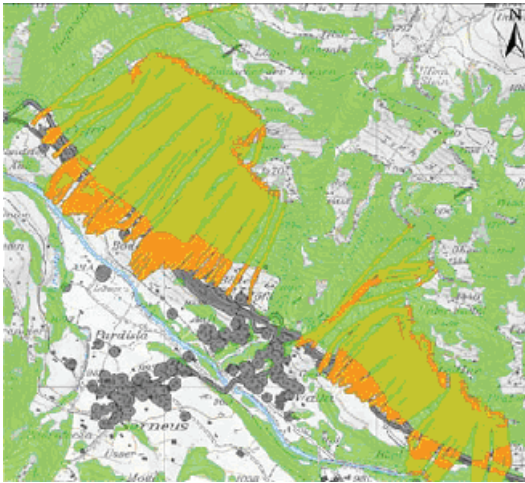


Abb. 5: Umhüllende der schadenrelevanten Sturztrajektorien (orange), überlagert mit der Waldfläche (grün)
Fig. 5: envelope of the damage-relevant rockfall paths (in orange) overlaid by the forest area (in green)

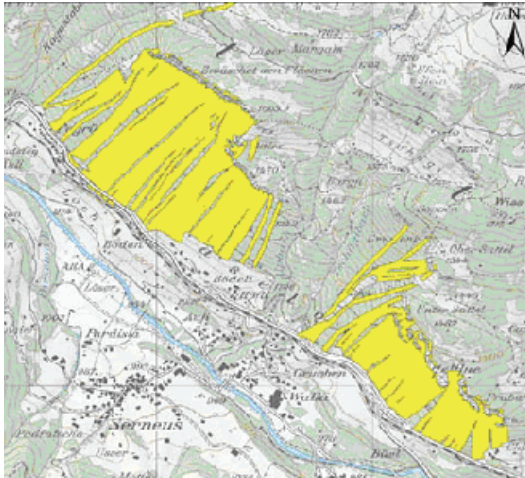


Abb. 6: schadenrelevante Sturzflächen im Wald *srPW*
Fig. 6: damage-relevant rockfall areas in the forest area *srPW*

Protection forest index SWI

The protection forest index is defined as the proportion of the damage-relevant process areas in the forest per canton derived from the project SilvaProtect-CH on the basis of the total damage-relevant process areas in the forest calculated for Switzerland (percentage). The individual processes here are weighted in accordance with the following criteria:

- the variety of the protective functions must be represented;
- well-represented processes are more strongly evaluated;
- processes must be represented as simply and transparently as possible;
- overlapping areas are not calculated twice - the area with the higher weighting counts.

The support group defined the following weighting system:

Process	Weighting
Snow avalanche	1
Rockfall	1
Debris flow	0.8
Slope-type debris flow	0.5
Driftwood	0.5
Hydrologically relevant areas	0.2

PROJECT PHASE II

In Phase II, harmonized criteria were developed for the cantonal delineation of protection forests based on the results of the first phase of the project. These are to be implemented in the cantons. The aim of Phase II is to define a delineated protection forest perimeter for each canton which is enshrined in the forestry planning. The “Protection forest in accordance with federal criteria” (*SW-B*, see definition below), which corresponds to the harmonized criteria for protection forest delineation, covers the main part of this cantonal protection forest perimeter or even the entire cantonal protection forest perimeter.

The aim of Phase II will be achieved over a number of stages. During the first stage the bases for the development of the harmonized criteria were compiled in the context of presentation visits to all cantons. As part of this process, the damage-relevant process areas in the forest (*srPW*) modelled in Phase I were compared with the current protection forest delineation using sample perimeters. The feedback from the cantons on the visits was very positive and in many cases there was relatively good level of agreement between the *srPW* and the cantonal protection forest delineations. However, numerous deviations also arose which demonstrated where the focus should be placed within the process of the development of harmonized criteria for protection forest delineation: i.e. on (1) the definition of the protection forest; (2) the delimitation of the protection forest in accordance with the Federal criteria (hazard and damage potential, consolidation); and (3) the implementation of the harmonized criteria in the cantons.

A very important insight from the presentation visits was that the development and definition of harmonized criteria for protection forest delineation must be approached as far as possible separately from the issue of the future protection forest index *SWI* (for the allocation of resources): whereas the priority in the case of the *SWI* is maximum objectivity, which can only be achieved with bases that are available on the same level for all of Switzerland, the requirements of the *SW-B* are rather more differentiated. What is required here are real forest areas, in which from the second new fiscal equalization (NFA) period, federal resources can only be used for the NFA Protection Forest Programme. It is clear here that the criteria for the *SW-B* (e.g. for consolidation) cannot be applied with such a high level of selectivity. Through the separation of *SW-B* and *SWI*, the debate surrounding the harmonized criteria (e.g. in relation to consolidation or cantonal basis for hazard or damage potential) can thus be approached in a more relaxed way.

In the second stage of Phase II, a support group comprising federal and cantonal representatives was developing a proposal for the harmonized criteria for protection forest delineation based on the above-mentioned focal points. This proposal was presented to the cantons for consultation should finally be adopted by the Board of FOEN by end of 2007. The cornerstones of this proposal are outlined in brief below:

Definition of protection forest and its denomination

The term “protection forest” has hitherto been construed in different ways in the cantons, ranging from very broad interpretations (“protection forest is forest that has some kind of protective function”, e.g. biodiversity, natural hazards, drinking-water protection) to very restrictive ones (“protection forest is only protection forest with special protective function against natural hazards”). The definition and use of the term protection forest is central to the further success of Phase II of SilvaProtect-CH. For this reason, the support group has formulated the following definition which should make the protection forest more tangible as a concept.

1. A *protection forest* is a forest which can protect the damage potential from an existing natural hazard or reduce the associated risks.
2. A *protection forest according to federal criteria (SW-B)* is a forest which can protect the damage potential acknowledged by the Confederation from an existing natural hazard or reduce the associated risks

The different protection forest categories can be described as follows: the total forest contains the protection forest. Most of this perimeter is also part of the *SW-B*: as demonstrated by the results of the presentation visits in the cantons, the cantonal protection forest perimeters already overlap relatively extensively with the “damage-relevant process areas in the forest” modelled in SilvaProtect-CH, but do not generally coincide with them 100 percent. The *SW-B* is the perimeter within which the federal funding for the protection forest programme may only be used from the second new fiscal equalization (NFA) period.

Criteria for the delimitation of the SW-B (hazard potential, damage potential, consolidation)

In order to delineate the *SW-B* in relation to hazard potential, it is first necessary to define the processes that must be taken into account. Only the following processes alone were included in the support group’s proposal: (1) avalanche; (2) rockfall (including ice fall [falling or rolling ice, in particular on rock faces]); (3) slope-type debris flow/landslide; and (4) channel borne processes.

The basis for the *criteria on hazard potential* is constituted primarily by the results from Phase I of SilvaProtect-CH (in particular the damage-relevant process areas in the forest (*srPW*)). These *srPW* require supplements in some cases, which must be based on objective information on the hazard potential. The link between the natural hazard to be demonstrated and an acknowledged damage potential (in accordance with the SilvaProtect-CH damage potential list or complementary damage potential criteria) is assumed, i.e. the natural hazard must affect a relevant damage potential. The minimum requirement for such information is the demonstration of the hazard potential at indication level by means of hazard indication maps or hazard maps in accordance with enforcement aids or by the event register. In other words: if a hazard potential is not duly covered by SilvaProtect-CH but is indicated on the

local hazard indication map, for example, the proof is provided and accepted as hazard potential for the *SW-B*.

The starting point for the processes debris flow, mobilization of driftwood and hydrologically effective areas (summarized as “channel-borne” processes) modelled in SilvaProtect-CH is somewhat different. Because with these processes, the differences between the *srPW* and the actual protection forest delineations considerably outnumber the coincidences, the *srPW* are revised in advance in SilvaProtect-CH using a new approach. This new approach should take the specified deficits into account and will also have impacts on the protection forest index (*SWI*). The re-calculation of the *srPW* for the channel-borne processes commenced in summer 2007.

The *definition of the damage potential* accepted by the Confederation was already the content of the first phase of SilvaProtect-CH. For the damage potential list compiled in this first phase, only input data can be used that are available at a consistent quality level for all of Switzerland, are regularly updated and recorded. This was necessary to obtain the most objective basis possible for the calculation of the *SWI*, but resulted, for example, in the fact that the entire third-class road network could not be taken into account as data is not available on it for all of Switzerland, which would enable a differentiation between “less important” and “more important” roads (with access function). Thus, while the damage potential list from Phase I is sufficient for the calculation an objective overview of the distribution of the protection forests throughout Switzerland and can be used for the *SWI*, the list does not fully reflect the actual protection requirements. For this reason, the support team proposed some additions to this damage potential list for the definition of the *SW-B*, in particular for the roads with access function. The following objects are explicitly not recognized as additional damage potential for the *SW-B*: (1) tourism infrastructure; (2) agricultural areas and infrastructure; (3) undeveloped construction zones.

As part of the calculation of the *SWI* in SilvaProtect-CH Phase I, the question regarding *consolidation* was explicitly excluded to avoid overloading the objective allocation key unnecessarily. Thus, in many areas the modelled *srPW* based on SilvaProtect-CH form a mosaic with “normal” forest (leopard skin) which is sufficient for the calculation of an index. However, consolidation is unavoidable for the management of protection forest in practice. Thus, as part of the harmonization of the criteria for cantonal protection forest delineation, the support group also developed a proposal on this point and, moreover, on the necessary additions to the forest perimeter as exists in the Silva module of SilvaProtect-CH. As opposed to this, the support group does not deem the discussion of the minimum area for individual *SW-B* perimeters as necessary; this should continue to be a matter for the cantons.

Implementation in the cantons

In the third stage of Phase II, the harmonized criteria will finally be implemented in the cantonal protection forest delineation. An essential objective by the second NFA period is that each canton has carried out protection forest delineation and forwarded it to FOEN for comment (for the purpose of verification with the *SW-B* criteria). In its response, FOEN will note whether the harmonized criteria have been complied with. Otherwise a reservation will be added in the programme agreement for the second NFA period. Ideally, this protection forest perimeter is already enshrined up to a certain point in time in the forestry planning. The (eventually revised) protection forest delineation must, however, be enshrined in the forestry planning by the next update of the latter. Where possible the implementation of the harmonized criteria should pass without major additional cost for the cantons.

OUTLOOK

The database developed in the first project phase offers a unique opportunity to carry out evaluations and scenarios on the topic of protection forest and natural hazards at national level. In the event of changes in the individual modules (change in the damage potential, new process modelling etc.), the protection forest index and the different scenarios can be recalculated at a relatively low cost. In addition, the data are available to the cantons for their own evaluations.

With the proposed criteria from Phase II, over 90 percent of the currently delineated protection forest should already be covered, or come within the *SW-B*. Additional clarification will be required for some protection forests (e.g. in the sense of the proof of hazard potential, see above), however this can generally be provided by the canton without incurring significant additional cost. A few perimeters will ultimately not be accommodated in the *SW-B*, but can be managed as cantonal protection forest (without the financial support of the state for their maintenance).

LITERATUR

- Frehner M., Wasser B., Schwitter R. (2005): „Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 564 S
- Gamma P. (2000): dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung, Geographica Bernensia G66, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- Gruber U. 1998. Der Einsatz numerischer Simulationsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung. PhD Thesis, Zurich, Zürich, 161 pp.
- Kienast F., Brzeziecki B., Wildi O. (1994): Computergestützte Simulation der räumlichen Verteilung naturnaher Waldgesellschaften in der Schweiz. - SZF 145 (1994) S. 293-309.
- Kienast F., Wildi O., Brzeziecki B., Zimmermann N., Lemm R. (1998): Klimaänderung und mögliche langfristige Auswirkungen auf die Vegetation der Schweiz. Schlussbericht NFP31. vdf Hochschul-Verlag an der ETH Zürich. 71 S.
- Liener S. (2000): Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Geographica Bernensia G64, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- Liener S., Pfeifer R., Giamboni M. (2008): “Simulation von Gefahrenhinweisflächen als Grundlage zur Schutzwaldausscheidung“. The International Research Society Interprevent“ 11. Congress, Dornbirn 2008 (In print).
- Liniger, M. (2000): Computersimulation von Stein- und Blockschlägen. Sonderdruck aus Felsbau 18 (2000) Nr.3: 56-63.

THE INFLUENCE OF VEGETATION ON EROSION FOLLOWING RESTORATION IN HIGH ZONES

DER EINFLUSS DER VEGETATION AUF DAS EROSIONSGESCHEHEN IN HOCHLAGEN NACH REKULTIVIERUNGEN

Wilhelm Graiss¹, Bernhard Krautzer¹ and Christian Partl²

SUMMARY

The areas from the montane to the sub-alpine and alpine vegetation belts are among the most sensitive parts of the Alps. Nevertheless, a great many interventions are undertaken in these regions every year that engender the need for subsequent recultivation. Vegetation taken from a site is generally not available in sufficient amounts. Seed mixtures used for the restoration of such areas should therefore combine different economic and ecological characteristics, such as a low nutrient demand, the capacity to foster a closed sward as well as endurance and good adaptation to climate and soil.

Conventional restoration seed mixtures and those containing useful site-specific species were compared at six different locations in Austria, Germany and Italy. The results obtained generally showed an increase of positive ecological effects together with a higher vegetation cover and corresponding erosion stability on plots where site-specific seed mixtures were used. With increased altitude, restoration becomes increasingly more difficult due to a rapidly worsening climate and more extreme soil conditions. Only sufficient vegetation development through sufficient ground cover stabilises topsoil in the long term and reduces erosion to an acceptable degree. The choice of recultivation technique is alone decisive for the degree of erosion control in the restoration area in the short term. In the long term, a stable, sufficient plant-stock cover of the topsoil in high zones can be achieved only through the establishment of site-specific vegetation with the use of site-specific restoration seed mixtures.

Keywords: seed mixture, site-specific vegetation, erosion control, high zones

ZUSAMMENFASSUNG

Bereiche von der montanen über die subalpine bis zur alpinen Vegetationsstufe gehören zu den sensibelsten Teile der Alpen. Trotzdem werden in diesen Regionen jedes Jahr sehr viele Eingriffe vorgenommen, die eine Rekultivierung nach sich ziehen. Vegetation vom Standort steht im Regelfall nicht in ausreichender Menge zur Verfügung. Die zur Wiederbegrünung solcher Flächen vorhandenen Saatgutmischungen sollten unterschiedliche ökonomische und ökologische Eigenschaften aufweisen, wie geringen Nährstoffbedarf, die Fähigkeit eine geschlossen Grasnarbe zu bilden, Ausdauer und gute Anpassung an Klima und Boden.

Auf sechs unterschiedlichen Standorten in Österreich, Italien und Deutschland wurden konventionelle Begrünungsmischungen und Begrünungsmischungen mit standortgerechten Arten verglichen. Die Ergebnisse zeigen generell einen höheren ökologischen Effekt neben einer höheren Vegetationsdeckung und damit verbundenen Erosionsstabilität auf den Flächen mit standortgerechten Saatgutmischungen. Mit zunehmender Höhenlage wird die

¹ Dr. Wilhelm Graiss and Dr. Bernhard Krautzer, Federal Research and Education Centre (HBLFA) Raumberg-Gumpenstein, 8952 Irnding, Austria

² Dipl.-Ing. Christian Partl, Amt der Tiroler Landesregierung, 6020 Innsbruck, Austria

Rekultivierung durch das rauere Klima und die extremeren Bodenverhältnissen immer schwieriger. Nur eine zufriedenstellende Vegetationsentwicklung mit einer damit verbundenen projektiven Deckung von 70 bis 80 % stabilisiert den Oberboden langfristig und reduziert die Erosion auf ein akzeptables Niveau. In den ersten Monaten nach der Rekultivierung ist die Wahl der richtigen Technik wichtig für die Vermeidung von Erosion. Langfristig können in Hochlagen erosionsstabile Verhältnisse nur durch einen ausreichend deckenden Pflanzenbestand erreicht werden. Dies ist nur bei Verwendung von standortgerechten Saatgutmischungen und sich daraus entwickelnder standortgerechter Vegetation möglich.

Keywords: Saatgutmischungen, standortgerechte Vegetation, Erosionskontrolle, Hochlagen

INTRODUCTION

As before, thousands of hectares of ground are levelled annually as a part of opening up areas for tourism and the corresponding infrastructural adaptations, and are now in need of restoration. A significant part of the need for recultivation is made necessary by the construction and adaptation of ski runs and lifts. But many of the technical measures required for the protection of facilities, which are mainly within the sphere of responsibility of the torrent- and avalanche barrier authorities, also take up large areas. All of the measures described lead to intensive construction activity each year, which subsequently engender the need for restoration of the areas subjected to intervention. Especially infrastructural measures undertaken for winter tourism also engender the need for restoration or reseeded in the sub-alpine and alpine-vegetation belts. The main aim of restoration is the creation of areas that ensure stability against erosion with low nutrient demand and sustainability (Krautzer et al. 2003).

In 1999 an international EU project was started under the direction of the HBLFA Raumberg-Gumpenstein with the participation of further research groups and firms from Austria (office of the Provincial Government of Tyrol, Kärntner Saatbau), Italy (provinces of Pordenone and Vicenza), Germany (University of Kassel) and Switzerland (Association for High Zone Restoration). The aim was to make possible for the first time an exact scientific comparison of the standard state of technology, high-quality application techniques and site-specific seed. The development of the vegetation from site-specific seed mixtures and a common conventional mixture was compared over a period of four years at six different sites. The aim of the work was to make a scientifically exact comparison of site-specific and conventional restoration seed mixtures and their influence on sustainable restoration in high zones.

MATERIALS AND METHODS

Exact trials arranged as two factorial split-plot designs were carried out on 21m² plots between 1999 and 2002 (Table 1) and replicated three times on six different sites. The seed mixture and its development will be presented in detail for two sites (Hochwurzten and Gerlos) and an overview of all six sites will then be given as an average.

Tab1: Beschreibung der Versuchsflächen, mittlere Temperatur (MAT) während der Vegetationsperiode (Juni bis August, Durchschnitt der Jahre) und Bodenkennwerte der Versuchsanlage (Krautzer et al. 2003, Graiss 2004, Peratoner et al. 2004)

Tab1: Description of experimental sites, mean air temperature (MAT) during the vegetation period (June to August, average of the years) and soil chemical properties at the trial site (Krautzer et al. 2003, Graiss 2004, Peratoner et al. 2004)

Site	Location	Examination period	Altitude (m) exposure	MAT °C	pH _{CaCl2}	Chemical soil properties			
						Humus g kg ⁻¹	N _{tot} g kg ⁻¹	P (CAL) mg kg ⁻¹	K (CAL) mg kg ⁻¹
Bayrischzell	Bav., G	2000-2002	1,230; N	14.0	6.9	82	4.4	<13	55
Piancavallo	Porden., I	2000-2002	1,435; SE	12.7	7.1	11	2.7	<13	64
Val Zoldana	Vicenza, I	2000-2001	1,660; NNE	12.5	6.2	43	1.7	<13	80
Hochwurzen	Styria, A	2000-2002	1,830; SE	10.5	6.6	40	2.1	<13	47
Gerlos	Tyrol, A	2000-2002	2,280; S	8.1	4.9	57	2.7	21	25
St. Anton	Tyrol, A	2000-2002	2,350; SSE	7.3	6.9	47	2.5	16	70

Two different seed mixtures (SM 1 = common conventional restoration seed mixture; SM 2 = site-specific restoration seed mixture containing sub-alpine and alpine grasses, leguminosae and herbs) were established at the Hochwurzen site (Table 2) using the hydro-seeding application technique (15g m⁻² mineral fertiliser (15N:15P:15K), 5g m⁻² Rekuform[®], 15g m⁻² synthetic binder, 15g m⁻² seeds).

Tab2: Zusammensetzung der Mischungen (in Gew. %), Hochwurzen (SM 1 und SM 2) und Gerlos (SM 1 und SM 3)

Tab2: Composition of the seed mixtures (weight in %), Hochwurzen (SM 1 and SM 2) and Gerlos (SM 1 and SM 3)

Grasses	SM 1	SM 2	SM 3		SM 1	SM 2	SM 3
	<i>Agrostis capillaris</i>	4.6	4		6	Leguminosae	
<i>Avenella flexuosa</i>			6	<i>Anthyllis vulneraria</i>		5	
<i>Cynosurus cristatus</i>				<i>Lotus corniculatus</i>	5	3	6
<i>Dactylis glomerata</i>				<i>Trifolium badioides</i>		5	2
<i>Festuca nigrescens</i>		35	22	<i>Trifolium hybridum</i>	2.4		6
<i>Festuca ovina</i>	2.5			<i>Trifolium nivale</i>		7	
<i>Festuca pratensis</i>				<i>Trifolium repens</i>	4.2		6
<i>Festuca supina</i>			5	Herbs			
<i>Festuca rubra</i> agg.	31			<i>Achillea millefolium</i>	0.7	1	2
<i>Lolium perenne</i>	15.7	3		<i>Campanula barbata</i>		0.22	
<i>Phleum alpinum</i>		10	6	<i>Crepis aurea</i>		0.5	
<i>Phleum pratense</i>	19.9			<i>Leontodon hispidus</i>		1	1
<i>Poa alpina</i>		15	27	<i>Silene dioica</i>		0.03	
<i>Poa pratensis</i>	10.6			<i>Silene vulgaris</i>		0.25	1
<i>Poa supina</i>		5	4	<i>Vicia sativa</i>	3.4		
<i>Poa violacea</i>		5					

Two different seed mixtures (SM 1 = common conventional restoration seed mixture; SM 3 = site-specific restoration seed mixture) were established at the Gerlos site using the hydro-seeding application technique with an additional straw mulch layer (500g m⁻²) for protection against surface erosion in the first year after the intervention (Krautzer and Wittmann 2006). Due to the normally limited possibilities for reaching and utilising such areas, the plots were fertilised only once during initial establishment. ANOVA was carried out for all comparisons.

An F-ratio of $P < 0.05$ was regarded as significant. Since no significant differences were seen between the application techniques in 2001 and 2002, no results were reported.

Classification of the assessed species was made in respect of their overall value in order to measure their ecological value and sustainability, and thus the capacity of the different plots for maintaining long-term protection against erosion, (Krautzer et al. 2006, Graiss et al. 2005).

Group 1: site-specific species, growing naturally under site conditions.

Site-specific species are mixtures of ecological materials with a high genetic biodiversity that have been collected at several sites in montane, subalpine and alpine zones in the Austrian Alps (Krautzer et al. 2004). This group shows the greatest endurance and best suitability for long-term protection against erosion in high zones.

Group 2: site-adapted species, not site-specific but sustainable under comparable site conditions.

Site-adapted species are mostly cultivated varieties that are well adapted to respective site conditions. This group showed satisfactory erosion protection in high zones in the long term.

Group 3: non-site-adapted species that do not occur naturally under specific climatic and site conditions.

Non-site-adapted species of seed mixtures generally comprise agriculturally cultivated varieties of lowland species. The decline and eventual absence of these species over the years leads to sparse vegetation cover and thus to erosion.

The projective vegetation cover and botanical composition (the share of protective cover given by each single species) were assessed each year. The share of all single species according to one overall (ecological viability and capacity for long-term protection against erosion) group was summarised. For the seed mixture, the total value of each group is expressed as a weight percentage and the results of the field assessments are expressed as a percentage of projective cover.

RESULTS AND DISCUSSION

The higher the altitude and the steeper the reseeded areas, the more important is sufficient protection against erosion. The results of several assessments indicate that a minimum vegetation cover of at least 70% is required to avoid erosion (Tasser et al. 2003) at altitudes between 1,200-2,400 metres. The achievement of a sufficient vegetation cover of more than 70% was therefore an important aim on all assessed sites. Greatly differing approaches can be found in the literature for describing indicators for the ecological value of stocks, e.g. balanced scores of the Landolt (1977) ecological indicators or an efficiency index (Parente et al. 2002). The presented method of grouping species according to their overall value permits a simple comparison of different sites and different seed mixtures.

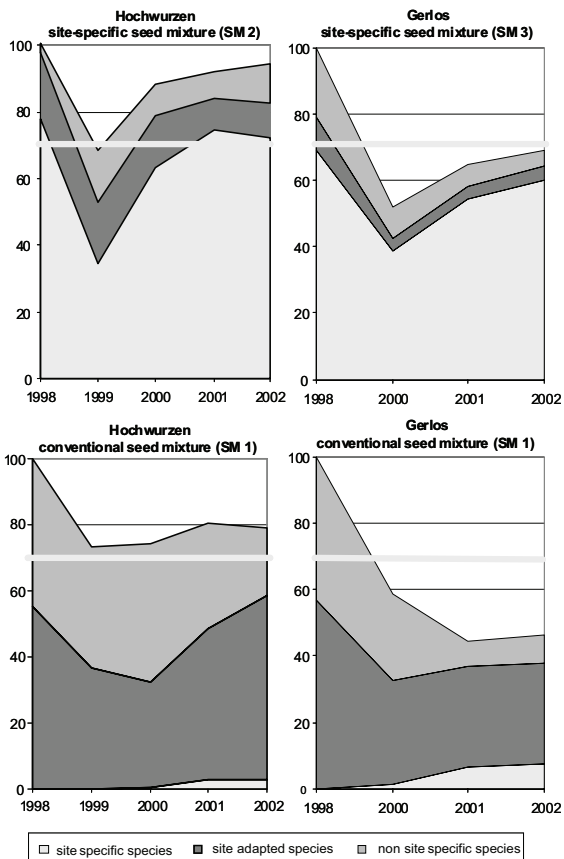


Abb1: Durchschnittliche Deckung der gruppierten Arten im Bezug auf die Standorte Hochwurz und Gerlos (1998 = Gew.% der Ansaatmischung, 1999-2001 = Artendeckung in %)

Fig1: Average vegetation cover of grouped species in reference to the Hochwurz and Gerlos sites (1998 = original seed mixture weight in %, 1999-2001 = species cover in %).

The conventional restoration seed mixture (SM 1) at the Hochwurz site contained no site-specific species but more than 56% of site-adapted species, mainly *Festuca rubra* (Figure 1). The total vegetation cover developed from 73% in 1999 to nearly 80% in 2002. A slow immigration of site-specific species, mainly from neighbouring plots, could be assessed from 2000. The share of site-adapted species decreased in the first two years and again reached 56% in 2002. The non-site-adapted species spread during the first two years, which can be explained by the effect of fertilisation undertaken in 1999. Their share decreased to below 20% from 2000. In all, the share of the valuable groups with expected sustainability and capacity for long-term protection against erosion reached 59%. Considering the share of species in the site-adapted restoration seed mixture (SM 2), it contained only 3% of the non-site-adapted *Lolium perenne* "Guru" variety, as a fast-growing nursery crop. Nearly 78% were allocated by weight to the group of site-specific species; about 20% accounted for the group of site-adapted species. The total vegetation cover increased from 70% in 1999 to 94% in 2002, nearly 15% higher than for SM 3. The ratio of difference in all groups differed little between the years of observation. The share of non-site-

adapted species increased to 11%, of which 7% was the *Lolium perenne* “Guru” variety that showed remarkable winter hardiness. A share of 72% of site-specific species and 10% of site-adapted species could be assessed in 2002. In summary, the share of valuable groups exceeded 82% of the total vegetation cover.

The total number of species reaches 38 with SM 2, of which 12 species originate from the seed mixture (Figure 4). In comparison, only eight species originate from the SM 1 seed mixture, with a total number of 29 species (in 2002).



Abb2: Vergleich von Begrünungsmischungen am Standort Hochwurzen, links Standardmischung, rechts standortgerechte Begrünungsmischung

Fig2: Comparison of different restoration seed mixtures on the Hochwurzen site. Left: conventional seed mixture. Right: site-specific restoration mixture

Most subalpine grassland is used agriculturally in summer in Austria. Nevertheless, rapid and enduring protection against erosion that can only be achieved with the aid of a dense sward is the first and most important aim. This can be assured in the short term with the use of a high-quality application technique (OEAG 2000). A plant stock comprising sustainable, site-specific vegetation that withstands the harsh climatic and soil conditions at such altitudes is necessary in the long term. The results obtained in the field trial at the Hochwurzen site show that the share of non-site-adapted species, and therefore the cover of plots with the SM 1, continually decreased. A mid-term evaluation showed that the cover will fall below the critical value of 70% and erosion problems can be expected. It can be assumed in the long term that especially in the subalpine vegetation belt the lack of sustainable site-specific species would require ongoing cultivation and corresponding expenditure.

Due to extreme conditions on the Gerlos site, both seed mixtures were not able to establish to a satisfactory vegetation cover (Figure 1). The conventional restoration seed mixture (SM 1) showed continuous decrease for the first three years and achieved a cover of 46% in 2002. The non-site-adapted species reduced from 43% to 8%, while the site-adapted species reduced from a 56% share of the original seed mixture to 31% projective cover. Site-specific species were able to fill emergent gaps by more than 7%. In comparison, the site-adapted restoration seed mixture (SM 3) showed a decreasing vegetation cover during the first year of assessment. The vegetation cover in the two following years showed an increase from 52% to 69%, more or less achieving

the threshold for sufficient stability against erosion. Of interest on this site was that the group of site-adapted species showed a strong decrease from 10% to 4%, whereby the site-specific species remained stable. As on all assessed sites, the non-site-adapted species also showed a strong decrease of cover from 20% to 4%.

In comparison to the subalpine Hochwurzten site, with the SM 1 mixture, the number of species decreased to 22 on the alpine site in Gerlos, of which only six of the surviving species originated from the mixture. 11 of the original 14 species sown were found with the SM 3 mixture, with a total count of 25 (Figure 4).

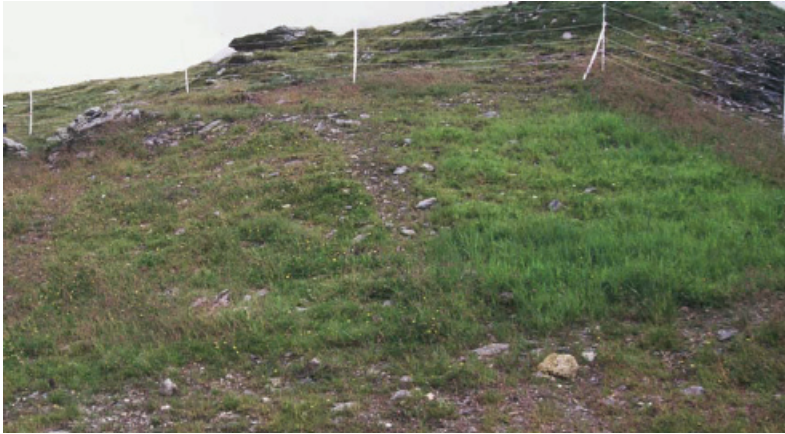


Abb3: Vergleich von Begrünungsmischungen am Standort Gerlos, links Standardmischung, rechts standortgerechte Begrünungsmischung

Fig3: Comparison of different restoration seed mixtures on the Gerlos site. Left: standard mixture. Right: site-specific restoration mixture

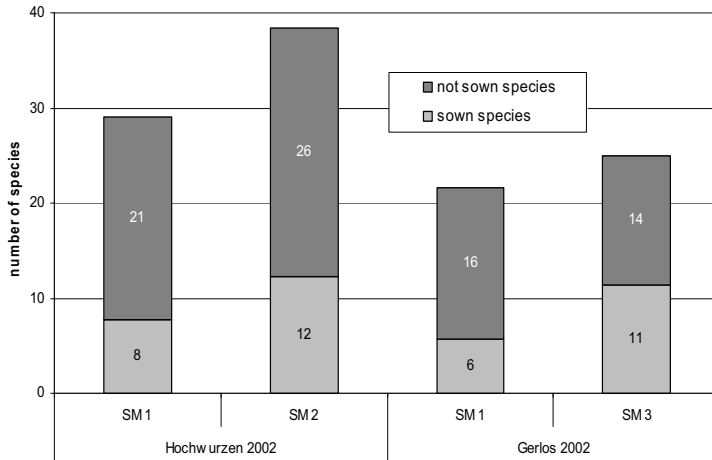


Abb4: Anzahl eingewanderter und von der Saatgutmischung verbliebener Arten im Vergleich der verwendeten Mischungen

Fig4: Number of migrated species and the remaining seed-mixture species compared to the mixtures used on the Hochwurz and Gerlos sites

Most of the non-site-adapted species in the alpine vegetation belt that are suitable for grassland at low elevations disappear after a few years. Only a few species, such as *Festuca rubra*, *Phleum pratense* and *Trifolium repens*, are able to survive for a longer period. Only seed mixtures with a preferably high share of site-specific and site-adapted species can therefore be recommended for reseeding or restoration at such altitudes. The results taken at the Gerlos site additionally showed that in some cases it is necessary to continue such measures as fertilisation or reseeding until the time that sufficient vegetation cover is achieved.

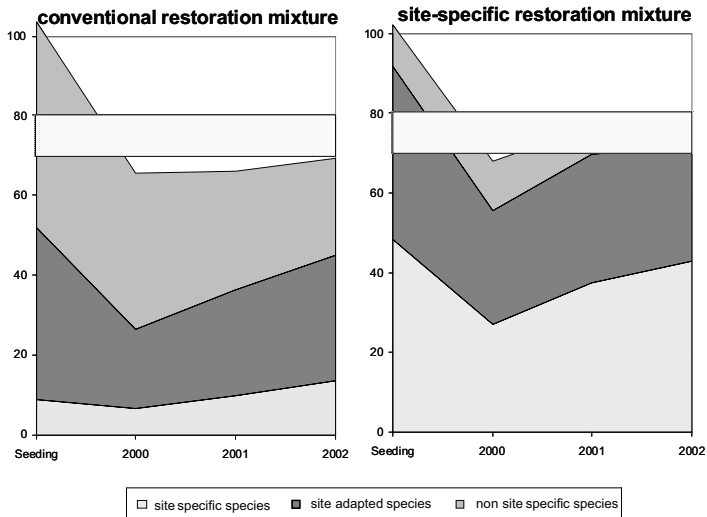


Abb5: Vergleich der durchschnittlichen Gesamtdeckung in Prozent der herkömmlichen und standort-spezifischen Wiederbegrüpfungsmischung (Saatgutmischung = Mischungszusammensetzung in %) auf sechs Versuchsflächen zwischen 1.245 und 2.350 Meter Seehöhe, Durchschnitt aller Standorte (Krautzer et al. 2006)

Fig5: Comparison of the overall average cover as a percentage of the conventional and site-specific restoration mixtures (seed mixture = mixture composition weight in %) on six trial sites at altitudes between 1,245 to 2,350 metres, average of all sites (Krautzer et al. 2006)

If one assesses the development of the entire ground cover on average on all trial sites, the conventional restoration mixture achieved somewhat more than a 60% overall cover in the fourth year of vegetation, thus still not achieving the target value of a 70% vegetation cover to stabilise erosion conditions (Figure 5).

Only about 24% of the total measured cover comprised non-site-specific species in 2002, the loss of which must be assumed in the short- and mid-term; 31% were site-adapted and 14% were site-specific species.

Compared to the conventional restoration mixture, the entire cover comprising the site-specific restoration mixtures achieved a significantly higher share of 79%.

The share of site-specific species remained stable at about 50% compared to the share in the initial mixture. The site-adapted species showed a cover of 25% in 2002, the non-site-specific species showed a cover of below 10% (Figure 5).

Conventional restoration mixtures available on the market comprise mainly high-growth, alien lowland plants that were originally bred for grassland economy in valley areas or for sport grass. These types are adapted to lower, warmer locations and are generally unsuitable for restoration in high zones (Florineth 1992). The high need for the nutrition of these species requires long-term, costly fertilisation measures to acquire the necessary complete cover. A high production of biomass is connected to this, and again requires regular cutting, grazing or removal of the material arising, because in the short vegetation period no sufficient decomposition of the increased biomass takes place and a stifling of the vegetation stigma would be the result. In many cases further use or care of the restored areas are also no longer desired or possible. Moreover, if the plants from conventional mixtures show no reproduction,

The essential long-term aim of recultivation in high zones lies in the establishment of resistant, easily maintained and sufficiently dense and enduring vegetation. This aim can only be achieved with the use of a site-specific seed mixture. With the use of such seed mixtures, a single fertilisation measure during sowing is generally sufficient to achieve a stable vegetation cover of more than 70%.

Only in exceptional cases are further fertilisation measures necessary to achieve satisfactory vegetation density. Only site-specific grasses and herbs, which provide an essential basis for enduring plant stocks for such restorations, can form mature seeds in high zones. Turf damage can in this way rapidly heal. Site-specific leguminosae ensure sufficient nitrogen supply to the grasses and are another essential component of sustainable restoration mixtures. Careful restoration with site-specific seed can be made without subsequent maintenance when needed, and without the danger of choking or other limitations.

In practice, this enables a strong decrease of otherwise necessary maintenance measures, which is especially desirable in restoration within the area of torrent- and avalanche barriers. Site-specific seed mixtures are more expensive than seed mixtures of species from low zones. But by comparison, a clear saving in costs is possible in the medium term with the saving of sowing volumes, fertilising, subsequent repair and maintenance.

CONCLUSIONS

According to the limited climatic and soil conditions of most meadows and pastures on the montane- to the alpine-vegetation belts, it becomes more and more important to choose species suitable for the prevailing site conditions. Collaterally, the possibility and feasibility for agricultural use and fertilisation of such sites decreases with altitude. A comparison of the assessments of the six trials in three different vegetation belts clearly showed that due to the worsening conditions and the naturally low intensity of land use, site-adapted and site-specific species become more and more important with increasing altitude.

In the montane vegetation belt, seed mixtures containing site-adapted but agriculturally useful species should be favoured. In the sub-alpine and alpine-vegetation belts, only seed mixtures containing a high share of site-specific and suitable site-adapted species can guarantee sustainable vegetation and sufficient protection against erosion, which is generally the first and most important aim if reseeded or restoration activities are necessary. Only such species are able to withstand the harsh climatic conditions of such sites. They ensure sustainable vegetation that provides sufficient long-term protection against erosion processes.

The suitability of site-adapted and site-specific seed mixtures for agricultural purposes could also be proved in several previous publications (Krautzer et al. 2003, Graiss 2004, Peratoner et al. 2004, Graiss et al. 2005, Krautzer et al. 2005).

ACKNOWLEDGEMENTS

The project as presented was supported in part by the European Commission (FAIR CT98-4024).

REFERENCES

- Graiss W. (2004): Rekultivierung nach Waldweidetrennung unter Berücksichtigung produktions-technischer, vegetationsökologischer und landschaftsplanerischer Aspekte, Veröffentlichung 41, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 104 S.
- Graiss W., Krautzer B. und Pötsch E.M. (2005): Evaluation of seed mixtures for montane pastures, Grassland Science in Europe, Volume 10, 182-185.
- ÖAG (2000): Richtlinie für standortgerechte Begrünungen - Ein Regelwerk im Interesse der Natur, Österreichische Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, c/o BAL Gumpenstein, A-8952 Irdning, 29 S.
- Krautzer B., Parente G., Spatz G., Partl C., Peratoner G., Venerus S., Graiss W., Bohner A., Lamesso M., Wild A. and Meyer J. (2003): Seed propagation of indigenous species and their use for restoration of eroded areas in the Alps, ALPEROS Final Report, Bundesanstalt für alpenländische Landwirtschaft Gumpenstein, 78 p.
- Krautzer B., Peratoner G. and Bozzo F. (2004): Site-Specific Grasses and Herb, Seed production and use for restoration of mountain environments, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 111 p.
- Krautzer B., Graiss W. and Pötsch E.M. (2005): Evaluation of seed mixtures for subalpine pastures, Grassland Science in Europe, vol. 10, 186-189.
- Krautzer B. and Wittmann H. (2006): Restoration of alpine ecosystems, Restoration Ecology, The new Frontier, Blackwell Publishing, edited by Jelte van Andel and James Aronson, 208-220.
- Krautzer, B., H. Wittmann, G. Peratoner, W. Graiss, C. Partl, G. Parente, S. Venerus, C. Rixen and M. Streit, 2006: Site-specific high zone restoration in the Alpine region, The current technological development, Federal Research and Education Centre (HBLFA) Raumberg-Gumpenstein Irdning, no.46, Wallig Ennstaler Druckerei und Verlag GmbH, Gröbming, 135 p.
- Landolt E. (1977): Ökologische Zeigerwerte zur Schweizer Flora, Veröffentlichungen Geobotanisches Institut der eidgenössischen Technischen Hochschule, Stiftung Rübel in Zürich, 208 S.
- Parente G., Venerus S., Fabian S., Bomben A., Zucchiatti D., Scimone M., Bozzo F. and Lamesso M. (2002): Efficiency index for evaluating the restoration methods in eroded ski slopes of Italian Alps, Multi-Function Grasslands, EGF 2002, 384-385.
- Peratoner G., Krautzer B., Bohner A. and Partl C. (2004): Forage production in ski runs restored with indigenous seed mixtures, Land Use Systems in Grassland Dominated Regions, 273-275.
- Pötsch E.M., Bergler F. und Buchgraber K. (1998): Ertrag und Futterqualität von Alm- und Waldweiden als Grundlage für die Durchführung von Wald-Weide-Trennverfahren - Bewertungsmodelle, 4. Alpenländisches Expertenforum, BAL Gumpenstein, 95-109.
- Tasser E., Mader M. and Tappeiner U. (2003): Effects of land use in alpine grasslands on the probability of landslides, Basic and Applied Ecology 4, 3, 2003, 271-280.

ENTWICKLUNG UND KALIBRIERUNG DES FLIESS- UND STAUBLAWINENMODELLS SAMOS-AT

DEVELOPMENT AND CALIBRATION OF THE DENSE AND POWDER SNOW AVALANCHE MODEL SAMOS-AT

Matthias Granig¹, Stefan Oberndorfer²

ZUSAMMENFASSUNG

Das Projekt *SamosAT* wurde 2004 im Auftrag der Wildbach- und Lawinenverbauung gestartet und konnte Ende 2007 abgeschlossen werden. Die Implementierung der neuen Berechnungsmethoden und Computertechnologien findet auch im Modellnamen *SamosAT*, für Advanced Technology, ihren Niederschlag. Das Modell berechnet sowohl Fließ- als auch StaUBLawinen. Aufgrund der kompletten Überarbeitung der *Samos* Simulationssoftware wurden umfassende Kalibrierungen der einzelnen Parameter und Systemeinstellungen notwendig. Anhand von 22 gut dokumentierten Lawineneignissen wurden die internen und externen Parameter kalibriert. Die starke Vernetzung sowie Abhängigkeit der einzelnen Parameter erforderte eine systematische Untersuchung der Modellparameter. Mit Hilfe von Matrizen konnten die Ergebnisse der Parametermodifikationen den Referenzlawinendaten gegenübergestellt werden, um so die zuverlässigsten Kalibrierungswerte für das *SamosAT* Modell zu erhalten.

Keywords: Lawine, Lawinensimulation, SamosAT

ABSTRACT

The new powder snow avalanche model – *SamosAT* – was initiated in 2004 by the Forest Technical Service for Avalanche and Torrent Control and released in the end of 2007. The advanced model provides simulation tools for dense and for powder flow avalanches. The previous *Samos* simulation platform has been completely redesigned in order to provide improved results and an easier software handling. In regard of these enhanced technologies the name *Samos* has been extended by the affix *AT* for Advanced Technology. The calibration of the model was done with 22 well documented reference avalanches. In a systematic study all internal parameters were analysed and adjusted to the reference data. By creating matrices with the decisive model parameters and the reference avalanches the suitable calibration values for the dense- and powder flow model were determined.

Keywords: Avalanche simulation, SamosAT, model calibration

¹ Stabstelle Schnee und Lawinen, Wildbach und Lawinenverbauung, Swarovskistraße 22a, 6130 Schwaz, Österreich (Tel.: +43-5242-66202, Email: matthias.granig@die-wildbach.at)

² Gebietsbauleitung Pongau, Wildbach und Lawinenverbauung, Bergheimerstrasse 57, 5021 Salzburg, Österreich (Tel.: +43-662-878154, Email: stefan.oberndorfer@die-wildbach.at)

EINLEITUNG

Aufgrund des großen Siedlungsdrucks im alpinen Raum, der hohen Mobilität der Menschen und dem steigenden Bedürfnis nach Sicherheit werden immer präzisere Werkzeuge zur Gefahrenabschätzung von Lawinen notwendig. Lawinensimulationen sind ein möglicher Baustein für eine nachvollziehbare und objektive Berechnung von potenziellen Lawinewirkungen. Besonders in der Gefahrenzonenplanung stellen die Simulationen mittlerweile den Stand der Technik dar. Folglich wird eine hohe Anforderung an die Zuverlässigkeit der Modelle gestellt.

Seit dem „Lawinenwinter“ 1999 ist das Staublawinenmodell Samos im operativen Einsatz und wird daher meist als Samos99 bezeichnet. In einer großen Reihe von Nachrechnungen der Lawinenergebnisse konnten wichtige Erfahrungen und Erkenntnisse mit dem Modell gewonnen werden. 2004 wurde zur Umsetzung dieses Wissens das Weiterentwicklungsprojekt SamosAT gestartet. Die Grazer Firma AVL List GmbH, die bereits das Vorgängermodell entwickelt hat, wurde mit dem Projekt SamosAT vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV) beauftragt. Der Namenszusatz „AT“ im Modellnamen steht für „Advanced Technology“ und repräsentiert die Implementierung neuer Berechnungsmethoden und Computertechnologien. Das Modell SamosAT ist ein 2D bzw. 3D Simulationsprogramm für Fließ- und Staublawinen und bezieht sich im Allgemeinen auf trockene Schneelawinen.

Die Weiterentwicklung SamosAT umfasst eine völlige Überarbeitung der Programmoberfläche, der Modellansätze und der Rechennumerik. Die graphische Benutzeroberfläche wurde optimiert und bietet eine Vielzahl an Möglichkeiten sowohl im Dateninput als auch im Datenoutput an. Im Gegensatz zu Samos99 stehen mehrere Reibungsmodelle zur Auswahl, die in der Endversion auf zwei Reibungsmodelle limitiert wurden. Das Reibungsmodell SamosAT ermöglicht, je nach Lawinengeschwindigkeit einen variablen Betreibungswinkel δ . Die Fließlawine wird anstatt von mitbewegten Zellen mit Hilfe eines raumfesten Euler Rechengitters simuliert. Weiters ermöglicht das Programm die Simulation von primären und sekundären Anbruchgebieten. Das Staublawinenmodell wurde einerseits auf die neueste Version der gasdynamischen Berechnungsplattform der AVL und andererseits auf ein echtes Zweiphasenmodell (Luft und Eispartikel) umgestellt (SAMPL 2007). Die einzelnen Rechenzellen im Staublawinengitter wurden um ca. ein Drittel verkleinert, um eine höhere Auflösung zu erzielen.

Das Programm verfügt über eine Reihe von Tools, um auf die individuellen Eigenschaften verschiedener Lawinen wie beispielsweise Topographie, Entrainmentdisposition, Einzugsgebietsrauigkeit, Lawinentyp und Lawinengröße eingehen zu können. SamosAT ermöglicht nun drei Arten des Snow-Entrainments: (i) Schneeaufnahme in eindeutig definierten Bereichen, (ii) Schneeaufnahme als globales Entrainment über den gesamten Bereich - optional unter Aufbringung von gewissen Mindestscherkräften - und (iii) Entrainment direkt in das Staublawinenmodul zur Verstärkung der Staublawinendynamik. Die Wirkung von Widerstandsgebieten wird über drei vordefinierte Szenarien gesteuert. Alternativ kann ein vom User frei wählbares Szenario als weitere Option eingesetzt werden. Neben dem Standardsuspensionsmodell steht ein abgeändertes Suspensionsmodell, unter Aktivierung der turbulenten Schmid-Zahl alternativ zur Verfügung (Sampl 2007). Die Berechnung mit der turbulenten Schmid-Zahl verstärkt die Staublawinendynamik, die vor allem bei kleineren

flächenhaften bzw. reinen Flächenlawinen geeignet erscheint (z.B.: Verwalllawine, Gargellnerköpfe-Lawine, Albona-Lawine). Die Berücksichtigung der Bruchlinienwinkel ermöglicht eine Integration der Impulsverluste an markanten Bruchflächen normal zur Lawinenrichtung in Abhängigkeit zur Winkeleinstellung. SamosAT sieht für die Simulation von Dämmen die Implementierung von sogenannten „wall lines“ vor. An diesen definierten Dammkronenlinien der „wall lines“ wird ein Impulsverlust durch Entfernen des Normalvektors am Lawinendamm berechnet.

Die Stabstelle Schnee und Lawinen (SSL) der WLW in Schwaz führte in enger Zusammenarbeit mit der Firma AVL List die Kalibrierung und Optimierung der Parameter durch. Aufgrund der enormen Rechenzeiten pro Staublawinensimulation von ca. 10h war die systematische Analyse der einzelnen Einstellungen vor allem eine logistische Herausforderung, da über 500 Simulationsläufe durchgeführt wurden. Das Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) in Innsbruck unterstützte die Entwicklung unter anderem mit Überprüfungen der simulierten Lawinengeschwindigkeiten mittels Radardaten.

METHODIK

Das Staublawinenmodell Samos99 überschätzt sowohl in der Hauptstoßrichtung als auch in der lateralen Ausdehnung in den meisten Fällen erheblich den maximalen Auslauf von Lawinen. Besonders die Simulation des Fließanteils kann in dieser Form in der Natur nicht nachvollzogen werden. Das klassische Samos99 Reibungsmodell wurde als eine Kombination aus Mohr-Coulomb und dem Chezy Ansatz formuliert. Die Erfahrungen zeigten, dass dieser Ansatz zu wenig sensitiv auf die Topographie reagiert und die simulierte Lawine tendenziell zu stark in die Breite fließt. Bei einem Großteil der Ergebnisse wird der maximale Auslauf überschätzt. Hingegen wird in Samos99 der maximale Auslauf bei enormen Lawinenkubaturen mit gleichmäßigem Auslauf der Lawinenbahn unterschätzt.

Infolge dessen wurden im Modell SamosAT sämtliche Berechnungsmethoden umgestellt und anhand von gut dokumentierten Referenzlawinen neu kalibriert. Der Referenzlawinendatenpool umfasst derzeit einen Lawinenbestand von 22 ausgearbeiteten Lawinenereignissen, der sukzessive erweitert wird. Eine Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur in Wien befasste sich mit diesem Thema, um den Datensatz zu vergrößern (Dichlberger 2008). Die Kalibrierung erfolgte getrennt für Fließ- und Staublawinen, da SamosAT eine separate Berechnung von reinen Fließlawinen (Flachwassermodell) oder Staublawinen (Suspensionsmodell) ermöglicht. Die Trennung beider Prozesse wurde in Absprache mit Dr. Sampl (AVL) seitens der Stabstelle (SSL) für methodisch richtig erachtet, da bei der gekoppelten Berechnung ein zu starker Massenübergang vom Fließanteil in Richtung Staubanteil erfolgt. Dadurch werden die Auslaufweiten der Fließlawine teilweise stark unterschätzt. Um beispielsweise für die Gefahrenzonenplanung die obere und untere Bandbreite (die Extrema) potenzieller Lawinenszenarien abdecken zu können, ist es erforderlich, die Fließlawinenprozesse getrennt von der Staublawinensimulation zu analysieren. Die Staublawinenberechnung erfolgt in einem gekoppelten Modell, das sich aus einem Flachwasser-, Resuspensions- und Suspensionsmodell zusammensetzt. Die Simulationsergebnisse der einzelnen Referenzlawinen wurden einer qualitativen und quantitativen Analyse unterzogen und zusätzlich den in der Praxis angewendeten

Lawinensimulationsmodellen Samos99 und Elba+ gegenüber gestellt, um dadurch die Bandbreite der einzelnen Ergebnisse vergleichen zu können.

Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wurden die internen Parameter systematisch verändert, um deren Einfluss auf das Ergebnis zu quantifizieren. Die Kriterien der Analyse waren, je nach Datenverfügbarkeit der einzelnen Lawinen die Lawinenausläufänge, die Lawinendruckverteilung, die Lawinengeschwindigkeiten und die Fließhöhen. Der Berechnungsmodus erfolgte zuerst in einem iterativen Abstimmungsprozess, um die modellsensitivsten Parametereinstellungen herauszufiltern. Anschließend wurde systematisch eine Feinabstimmung mit den modellrelevanten Parametern – jene, die das Ergebnis überproportional beeinflussen – durchgeführt. Dabei wurde sukzessive ein Parameterwert modifiziert bei gleichzeitig konstant gehaltenen Grundeinstellungen. Dieser Vorgang der internen Modellparametervariation wurde sowohl für das Fließlawinen- als auch für das Staublawinenmodell systematisch durchgeführt.

Die Auswertung der Simulationen erfolgte in einer qualitativen Ergebnisanalyse. Die lawinenspezifischen Druckgrenzen, Geschwindigkeitsverteilungen, Ablagerungshöhen und Auslaufweiten wurden mit den Chronikaufzeichnungen (Ablagerungskartierungen, Drucknachrechnungen, Geschwindigkeitsberechnungen) verglichen. Anschließend wurden die Ergebnisse in einer Entscheidungsmatrix qualitativ bewertet, um dadurch die zuverlässigsten Parametereinstellungen zu ermitteln.

Ein sich stark auswirkender Faktor auf die Staublawinensimulation ist das Staubgitter. Die Staublawine wird in einem raumfesten Gitter (Euler'sches Gitter) berechnet welches nicht nur das Auslaufverhalten und die Druckverteilung sondern auch die Rechenzeit beeinflusst (mit zunehmender Zellanzahl d. h. kleinerer Gitterauflösung steigt die Rechenzeit an). Es wurden daher Tests in Bezug auf unterschiedliche Zellgrößen vorgenommen. Neben der Zellauflösung wirken sich auch die absolute Gitterhöhe und die räumliche Überdeckung des Gitters über das digitale Gelände erheblich auf das Simulationsergebnis aus. Aus diesem Grund wurde der Einfluss unterschiedlicher Gitterhöhen und die Auswirkung unterschiedlich breiter Konturpolygone (unterschiedliche Flächenabdeckung des Staubgitters) untersucht. Durch eine systematische Überprüfung konnte die Sensitivität des Staubgitters analysiert und in weiterer Folge der Einfluss des Gitters durch die Wahl einer konstanten Gitterhöhe und einer erforderlichen Gitterüberdeckung eliminiert werden.

Neben den internen Parametervariationen wurde der Einfluss der „externen“ Parameter wie Anbruchgebiet, Entrainment, Widerstandsgebiete und Geländeoberfläche (DGM) analysiert. Die Anbruchmasse wurde durch unterschiedliche Abstufungen der Anbruchdichte variiert und anhand mehrerer Referenzlawinen getestet, um die Massensensitivität des Modells zu prüfen. Die Abstufung erfolgte in 25 kg/m³ Stufen und reichte von 75 bis 300 kg/m³ Anbruchdichte. Anhand der Ereigniskartierungen konnte das Auslaufverhalten studiert werden. Die Massenzunahme durch die Schneeaufnahme entlang der Sturzbahn (Entrainment) kann in SamosAT über drei verschiedene Methoden erfolgen: Einpflügen in begrenzten Bereichen, Einpflügen im gesamten Bereich und Aufnahme der Masse direkt in den Staubanteil. In umfangreichen Tests wurden die unterschiedlichen Funktionsweisen geprüft. Die Weiterentwicklung SamosAT ermöglicht nun die Verwendung von verschiedenen Szenarien mit Widerstandsgebieten. Diesbezüglich sind Tests noch im Gange. Die digitalen Geländemodelle stellen als Rechenoberfläche die wesentliche Randbedingung dar. Anhand

von airborne Laserscan Daten wurden unterschiedliche DGM mit Rasterweiten von 3m, 5m, 10m und 25m miteinander verglichen.

BESCHREIBUNG DES REIBUNGSMODELLS SAMOS-AT (FLIESSTEIL)

Der Modellansatz von Savage-Hutter aus dem Modell Samos99 wurde völlig überarbeitet und entspricht in SamosAT einem erweiterten Voellmy Ansatz mit variablem μ und ξ , unter Beachtung des Flachwasser Ansatzes. Neben dem Standardreibungsmodell (SamosAT) steht ein zusätzliches Reibungsmodell (SamosAT1) zur Verfügung. Das Modell SamosAT1 entspricht numerisch dem SamosAT Modell, jedoch mit Aktivierung einer Mindestschubspannung τ_0 . Die Berechnung der Wandschubspannung $\tau^{(b)}$, also die flächenbezogene Reibungskraft am Boden, wird im Reibungsmodell SamosAT wie folgt formuliert (SAMPL 2007):

$$\tau^{(b)} = \tau_0 + \tan \delta \cdot \left(1 + \frac{R_s^0}{R_s^0 + R_s} \right) \cdot \sigma^{(b)} + \frac{\bar{\rho} \bar{u}^2}{\left(\frac{1}{\kappa} \ln \frac{\bar{h}}{R} + B \right)^2} \quad [1]$$

Der Parameter τ_0 [N/m²] gibt die Mindestschubspannung an, damit die Lawine zum Fließen kommt. Die Mindestschubspannung τ_0 muss durch die antreibenden Kräfte überwunden werden, damit eine Bewegung erfolgen kann. Das bedeutet, dass $\bar{\rho} \bar{h} g \cos(\alpha) > \tau_0$ sein muss, bevor sich die Lawine in Bewegung setzen kann. Die Mindestschubspannung ist unabhängig von der Fließmächtigkeit, so dass dadurch im Endeffekt seichte Lawinen überproportional stark gebremst werden. Bei dem voreingestellten Wert $\tau_0=140$ N/m² wirkt sich dieser Term praktisch nur bei Fließmächtigkeiten unter 0.5 m durch Erhöhung des Bettreibungswinkels aus (SAMPL 2007). Die Aktivierung der Mindestschubspannung wirkt sich vor allem bei lang gezogenen und flächenhaft verteilten Auslaufstrecken aus.

Der Tangens des Bettreibungswinkels δ entspricht dem μ (trockene Reibung). Der effektive Bettreibungswinkel δ_{eff} ist gleich dem Verhältnis zwischen Bodenschubspannung und Normalspannung (Druck) senkrecht auf den Boden (SAMPL 2007). Eine Erhöhung des Bettreibungswinkels wirkt sich bremsend auf die Lawine aus.

$$\delta_{eff} = \frac{\tau^{(b)}}{\sigma^{(b)}} \quad [2]$$

R_s^0 bestimmt die Bettreibungsüberhöhung mit abnehmender Geschwindigkeit. Diese ist eine empirische Konstante. Das Auseinanderfließen im Ablagerungsbereich wird über den Wert R_s^0 gesteuert. Mit abnehmender Geschwindigkeit der Lawine wird das Auseinanderfließen verhindert. Eine Erhöhung von R_s^0 bewirkt einen kontinuierlichen Anstieg des Bettreibungswinkels im Auslaufbereich.

$R_s = \frac{\bar{\rho} \bar{u}^2}{\sigma^{(b)}}$ ist das Verhältnis zwischen turbulenten Kräften und Normaldruck durch die

Lawinenlast am Boden (SAMPL 2007). Der Term $\frac{R_s^0}{R_s^0 + R_s}$ erhöht den Bettreibungswinkel

mit abnehmender Geschwindigkeit und steigendem Bodendruck. Das verhindert vor allem im Auslaufbereich das langsame Auseinanderfließen der Lawine, nachdem sie praktisch schon zum Stillstand gekommen ist (SAMPL 2007).

Die Normalspannung $\sigma^{(b)}$ [N/m²] ist gleich dem Bodendruck durch die Lawinenauflast.

Die Karman'sche Konstante κ (kappa) ist eine universelle Konstante aus der Grenzschichttheorie turbulenter Strömungen (siehe z.B. GERSTEN, HERWIG, 1992).

R [m] ist die geometrische Rauigkeit des Bodens. Um die Geschwindigkeiten zu erhöhen und größere Auslaufweiten zu erreichen muss die Rauigkeit herabgesetzt werden.

B ist eine aus der Grenzschichttheorie stammende Rauigkeitskonstante.

BESCHREIBUNG DES STAUBMODELLS IN SAMOS-AT

Trockenschneelawinen bestehen aus einem Eispartikel-Luft Gemisch. Nach dem Verhältnis der beiden Komponenten des Binärgemisches ändert sich auch das dynamische Verhalten. Je nach Volumsanteil von Eispartikel [$\rho=900\text{kg/m}^3$] und Luft [$\rho=1,25\text{kg/m}^3$] spricht man von Fließlawinen oder Staublawinen. Für Staublawinen wird ein Volumsanteil von ca. 1:100 angegeben. Deshalb wird die Strömung im Wesentlichen vom Verhalten der Luft bestimmt. Das bedeutet, dass eine Staublawine wie eine turbulente, partikelbeladene Gasströmung mit kleinem Geschwindigkeitsunterschied zwischen Partikel und Luft behandelt werden kann (SAMPL 2007).

Der Fließzustand ohne nennenswerte zwischengelagerten Luftanteile wird als Fließlawine bezeichnet (Volumsanteil $< 1:10$). Die mittlere Dichte einer solchen Strömung kann bis zu 400kg/m^3 betragen. Der modellhafte Aufbau einer Staublawine besteht nach SAMPL (2007) aus einer Fließschicht, die über die Geländeoberfläche abgeleitet. An diese Schicht schließt sich die als sehr dünn zu betrachtende Resuspensionsschicht an. Darüber kann sich eine Staubschicht entwickeln, welche in ihrer Ausdehnung jene der zuvor angeführten Schichten bei weitem übertreffen kann.

Die Berechnung des Staubanteils erfolgt in der AVL-FIRE V8 Berechnungsplattform, die über das Resuspensionsmodell mit dem Fließanteil gekoppelt wird. Zur Simulation des Staubanteiles wird über das Berechnungsgebiet ein dreidimensionales Simulationsgitter generiert, das in eine große Anzahl von Berechnungszellen unterteilt wird. Als Randbedingung für die Staubsimulation wird die zwischen Staub- und Fließanteil herrschende Schubspannung τ_w , die vom Geschwindigkeits- und Dichteunterschied zwischen den Teilen abhängt, benötigt. Der Massenstrom j_w von Fließ- zu Staublawine wird pro Fließlawinen-Oberflächeneinheit berechnet. Multipliziert mit der Zeitschrittweite Δt und der zugeordneten Fläche A_p ergibt sich die von der Fließ- zur Staublawine übergeführte Teilmasse $\Delta m_{res} = j_w A_p \Delta t$ pro Berechnungsschritt und entsprechend viele Eispartikel werden in der darüber liegenden Staublawinenzelle erzeugt. Die Anfangsgeschwindigkeit der Eispartikel wird auf die Geschwindigkeit der darunter liegenden Fließlawinen-Oberflächeneinheit gesetzt (SAMPL 2007).

SamosAT ermöglicht eine echte Zweiphasen-Berechnung der Eispartikel und der Luftschichten, um die gasdynamischen Prozesse realistischer darstellen zu können. Neben dem Massenzuwachs ermöglicht diese Methode auch den Massenverlust durch Sedimentation entlang der Lawinensturzbahn. Somit kann dieser Massenverlust auch zu Verzögerung der Lawine führen, besonders an starken Knickungen und Biegungen. Das Berechnungsgitter

muss in Lawinen-Stoßrichtung groß genug ausgelegt werden, damit die bremsende Wirkung der zu verdrängenden Luft auch im Auslaufbereich ausreichend berücksichtigt wird. Ebenso muss die laterale Überdeckung des Rechengitters auf der digitalen Geländeoberfläche ausreichend groß definiert werden, damit das gesamte mitbewegte Luftvolumen in die Berechnung miteinbezogen werden kann.

ERGEBNISSE DER KALIBRIERUNG VON SAMOS-AT

Das Fließ- und Staublawinenmodell SamosAT wurde anhand von 22 Referenzlawinen kalibriert (Tabelle 1). Darüber hinaus wurden im Rahmen der Bearbeitung von Lawinenprojekten der SSL begleitende Testrechnungen durchgeführt, um eine breite Bandbreite an Lawinen prüfen zu können.

Tab. 1: Übersicht der Referenzlawinen.

Tab. 1: Overview of the reference data.

Nr.	Lawinenname	BL	Bezirk	Gemeinde	GBL	Kategorie
1	Aherbach	T	IBK Land	Gries im Sellrain	6.3	GL
2	Albona	V	Bludenz	Klösterle	7.2	GL
3	Alplehner	T	IBK Land	Rum	6.3	GL
4	Arzler Alm	T	IBK-Land	Mühlau	6.3	KL
5	Bleiberglawine	K	Villach-Land	Bleiberg	5.2	KL/GL
6	Birkgraben	Stmk	Liezen	Donnersbachwald	4.2	GI
7	Fleisskargraben	Stmk	Liezen	St. Nikolei im Sölkatal	4.2	GL
8	Galtür	T	Landeck	Galtür	6.2	GL
9	Gargellnerköpfe	V	Bludenz	St. Gallenkirchen	7.2	KL/GL
10	Heiligenblut	K	Spittal/Drau	Heiligenblut	5.4	GL
11	Kanisfluh	V	Bregenz	Bregenzer Wald	7.1	GL
12	Kerngraben	Sbg	Lungau	Tamsweg	3.3	KL
13	Madlein	T	Landeck	Ischgl	6.2	GL
14	Moosbach	T	Landeck	Kappl	6.2	GL
15	Naunzalm	T	Schwaz	Pill	6.4	GL
16	Ronggtobel	V	Bludenz	St. Gallenkirchen	7.2	GL
17	Roßbodenlawine	T	Landeck	Ischgl	6.1	GI
18	Schoberwies	Stmk	Liezen	Bad Aussee	4.2	GL
19	Wand	T	Schwaz	Tux	6.4	GL
20	Wiestal	T	Reutte	Bichlberg	6.1	GL
21	Wolfsgruben	T	Landeck	St. Anton	6.2	GL
22	Verwall	T	Imst	Sölden	6.2	GL

Exemplarisch werden vier Lawinen näher betrachtet. Im Anhang werden die Darstellungen der Lawinen Moosbach, Madlein, Kanisfluh und Fleißkargraben angefügt, um den Vergleich mit den Referenzdaten zu visualisieren.

Die Moosbachlawine ist als Runsenlawine einzustufen (Abbildung 1 und 2). Das Anbruchgebiet liegt leicht kesselförmig auf einer Höhe von 2400 bis 2000m. Die Sturzbahn weist eine Kanalisierung im unteren Abschnitt auf. Das Einzugsgebiet der Moosbachlawine erstreckt sich zwischen 2400m und 1100m. Das Anbruchgebiet umfasst eine Fläche von 36,6ha. Das Ereignis aus dem Jahr 1984 wurde genauer rekonstruiert. Es handelte sich um eine Staublawine, deren Fließ- und Staubanteil im Ablagerungsbereich kartiert wurde. Die Drucknachrechnung bei der zerstörten Brücke durch HUFNAGL (1986) ergab eine Belastung von 163kN/m². Die Nachrechnung der Schäden bei der alten Volksschule von TSCHOM

(1984) ergab eine minimale Intensität von $8,0\text{kN/m}^2$ und eine maximale Intensität von $13,4\text{kN/m}^2$. Beide Prozesstypen konnten mit gutem Ergebnis nachgerechnet werden. Die Drücke bei der zerstörten Brücke liegen etwas unter den Drucknachrechnungen, aber durchaus in einem plausiblen Wertebereich. Die Schäden bei diesem Bauwerk können hauptsächlich dem Fließanteil zugerechnet werden. Die Druckverteilung der Staublawine bei der Volksschule stimmt nahezu mit den Nachrechnungen überein.

Die Madleinlawine ist eine Runsenlawine (Abbildung 3 und 4). Für die Rückrechnung des Ereignisses von 1984 wurden drei Anbruchgebiete kartiert, welche eine Fläche von $51,3\text{ha}$ aufweisen (HUFNAGL 1988). Die flächengewichtete Anbruchmächtigkeit beträgt $0,91\text{m}$ wodurch sich ein Abbruchvolumen von 586.185m^3 ergibt. Die Sturzbahn erstreckt sich zwischen einer Seehöhe von 2770 und 1370m . Ein Staublawinenereignis ereignete sich im Jahr 1984, dessen Ablagerungen und Schäden genauer erhoben wurden (Fließ- und Staubanteil). Die Druckwirkung der Lawine wurde anhand des Schadens am Wählamt nachgerechnet und ergibt einen Staudruck von $9,2\text{kN/m}^2$. Jedoch wird seitens TSCHOM angemerkt, dass diese Werte zu gering sind, da der vorgelagerten Parkgarage ein erheblicher Anteil an der Energievernichtung zuzuschreiben ist. Als Schätzwert für die Lawinengeschwindigkeit bei diesem Referenzpunkt wird 100km/h ($27,8\text{m/s}$) angegeben. Die Fließlawine mit SamosAT stimmt mit der Chronikaufzeichnung gut überein. Ebenso ist die Staublawinensimulation plausibel, wengleich die laterale Verteilung des Druckbereiches im Vergleich zum Chronikereignis gering ausfällt. Die Staubdrücke beim Wählamt liegen im Bereich der Drucknachrechnung.

Aufgrund der Topographie der Lawinensturzbahn ist die Kanisfluhlawine als Mischlawine einzustufen (Abbildung 5 und 6). Das Lawineneinzugsgebiet ist im oberen Bereich sowie im Mittelteil flächig und geht im unteren Abschnitt in eine ausgeprägte Runse über. Anhand der Chronikaufzeichnungen ist bekannt, dass die Fließlawine dieser Runse folgt, hingegen ein Arm der Staublawine am orographisch rechten Hang zu Tale strömt. Die Sturzbahn der Lawine reicht von 1900m bis auf eine Höhe von 800m . Das Anbruchgebiet weist eine Fläche von $14,5\text{ha}$ auf. Es wurden drei separate Lawinenereignisse von der Wildbach und Lawinenverbauung in Bregenz gut dokumentiert. Am $19.02.1999$ ereignete sich eine reine Staublawine deren geschätzte Anbruchmächtigkeit mit $1,5\text{m}$ angegeben wurde. Diese Lawine richtete Schäden an Almhütten an, die ebenfalls kartiert wurden. Am $22.02.1999$ ereignete sich eine Fließlawine mit einer geschätzten Anbruchmächtigkeit von $0,8\text{m}$. Zusätzlich wurde die maximale Reichweite eines früheren Staublawinen Ereignisses kartiert. Die Ergebnisse für die Fließlawine mit SamosAT sind plausibel, wengleich die Reichweite des Ablagerungskegels zu groß und etwas zu breit ausfällt. Der orographisch linke Ausbruch der Fließlawinenablagerung konnte nicht nachgebildet werden. Dieser lässt vermuten, dass das Ereignis eine Fließlawine mit Nassschneeanteil war. Die Staublawinensimulation ergibt mit SamosAT brauchbare Ergebnisse. Der orographisch rechte Ausbruch kann andeutungsweise nachgebildet werden. Die Drücke im Bereich der beschädigten Häuser sind ausreichend hoch, um die aufgenommenen Schäden verursachen zu können.

Die Fleisskargabenlawine ist von ihrer Topographie eine klassische Runsenlawine (Abbildung 7 und 8). Die Anbruchgebiete befinden sich in einem breiten Kessel, wobei beim Referenzlawinenereignis nur die beiden orographisch rechts gelegenen Anbruchgebiete ausgelöst wurden. Die absolute Sturzhöhe beträgt 1150m (von 2075 bis auf 925m). Die flächengewichtete Anbruchmächtigkeit beider Anbruchgebiete ist $1,47\text{m}$. Beide Anbruchgebiete bedecken eine Fläche von $23,9\text{ha}$. Es wurde ein Ereignis von Februar 2005

genauer dokumentiert. Dieses ist von der Lawincharakteristik als Mischlawine zu klassifizieren. Es wurden der Fließanteil und der Staubanteil von MAYERL et al. (2005) digital erfasst. Weiters wurde ein zweiter kleinerer Fließlawinenabgang aufgenommen. Es kann anhand dieser Daten die Situation des Ereignisses vom Februar 2005 zufrieden stellend abgebildet werden. Die Fließlawine konnte mit gutem Ergebnis simuliert werden. Das Staublawinenergebnis stimmt mit den Chronikaufzeichnungen gut überein. Bemerkenswert ist die orographisch linke Einbuchtung der 5kPa Zone, da genau an dieser Stelle das Gelände eines Hauseingangs durch den Staubanteil der Lawine verbogen wurde.

DISKUSSION DER MODELLENTWICKLUNG SAMOS-AT

Das Programm SamosAT wurde seit Anfang des Jahres 2007 an der Stabstelle Schnee und Lawinen der WLV mit der AVL List GmbH in einem umfassenden Projekt kalibriert und auf die Praxistauglichkeit getestet. Weiters konnten auf Grund von abgeschlossenen Lawinenprojekten der SSL die Kalibrierungseinstellungen mit der Zielsetzung einer praxisbezogenen Absicherung der Parameter geprüft und in Abstimmung mit der AVL nachjustiert werden. Die Simulationen mit den Referenzlawinen zeigen, dass SamosAT für den operativen Einsatz geeignet ist und das Model kann je nach Berechnungsmodus, sowohl für Fließ- als auch für Staublawinensimulationen verwendet werden.

Systematische Überprüfungen der zusätzlichen Tools wie beispielsweise die direkte Schneeaufnahme in den Staubanteil, die Widerstandsgebiete, das alternative Suspensionsmodell oder die „wall lines“ sind noch ausständig. Die Verwendung im operativen Bereich muß für diese Zusatzfeatures noch in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Die Modellentwicklung per se kann als abgeschlossen betrachtet werden. Die Simulationen mit den 22 Referenzlawinen ergeben für den Fließ- und Staubanteil in den Grundfunktionen mit den vorgeschlagenen Kalibrierungswerten verifizierte und nachvollziehbare Ergebnisse.

LITERATURVERZEICHNIS

- Christen M., Bartelt P., und Gruber U. (2002): „AVAL-1D: Numerische Berechnung von Fließ- und Staublawinen“. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- Dichlberger G. (2008): „Auswertung und Analyse von ausgesuchten Referenzlawinen“. Department für Bautechnik und Naturgefahren, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Gersten K., Herwig H. (1992): „Strömungsmechanik“. Vieweg, Braunschweig, Wiesbaden.
- Granig M. (2006): „Anwenderrichtlinie Elba+ modifiziert“. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Stabstelle Schnee und Lawinen, Schwaz.
- Gruber U., Bartelt P., Margreth S. (1999): „Anleitung zur Berechnung von Fließlawinen“. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- Hagen G., Hufnagl H. J. (1986): „Beobachtungen an den Katastrophenlawinen der Jahre 1981, 1984 und 1986 sowie Ergebnisse von Nachrechnungen von Lawinenwirkungen“. Internationales Symposium on Avalanche Formation, Movement and Effects, Davos, Schweiz.
- Hufnagl H. (1988): „Ergebnisse einer rechnerischen Auswertung von fünf Lawinen des Katastrophenwinters 83/84“. Interpraevent 88, Vol. 3, Graz.
- Mayerl, M., Janu, S. (2005): „Lawinenbericht des Regionalbüros Stainach“. Interner Bericht, WLV, Stainach.
- Oberndorfer S., Granig M. (2007): „Modellkalibrierung des Lawinensimulationsmodells SamosAT“. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung. Stabstelle Schnee und Lawinen, Schwaz.
- Sampl P., Zwinger T., Kluwick A. (1999): „SAMOS Simulation von Trockenschneelawinen“. Wildbach und Lawinenverbau, 63. Jhg., April 1999, Heft 138, Villach.
- Sampl P. (1999): „SAMOS – Handbuch“. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien.
- Sampl P. (2007): „SamosAT – Modelltheorie und Numerik“. AVL List GmbH, Graz (In print).
- Sauermoser S. (2003): „Ergänzung SAMOS - Handbuch – Anwenderrichtlinien“. Stabstelle für Schnee und Lawinen, Schwaz.
- Sauermoser S., Herbert A., Hagen F. (2003): „Recalculation of the Galtür Avalanche with different models – a comparison“. IGS Tagung, Davos.
- Schellander H. (2004): „Die Bestimmung von mittleren Anbruchhöhen für Lawinen in Tirol“. Zamg, Innsbruck.
- Tschom H. (1984, 1986, 1988): „Nachrechnung statischer Belastungen bei Katastrophenlawinen“. Interne Unterlagen der GBL OI der WLV, Imst.
- Voellmy A. (1955): „Über die Zerstörungskraft von Lawinen“. Schweizer Bauzeitung, 73. Jhg.
- Volk G. (2005): „Handbuch ELBA+“. NiT Technisches Büro GmbH, Pressbaum.

ANHANG

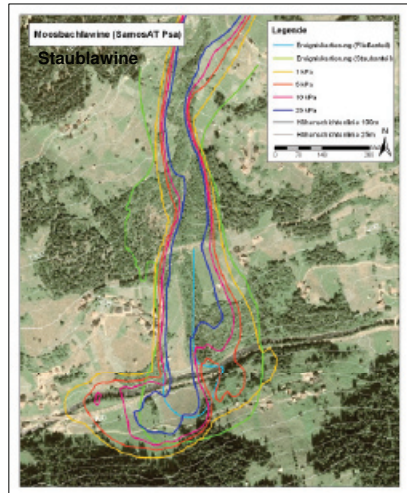
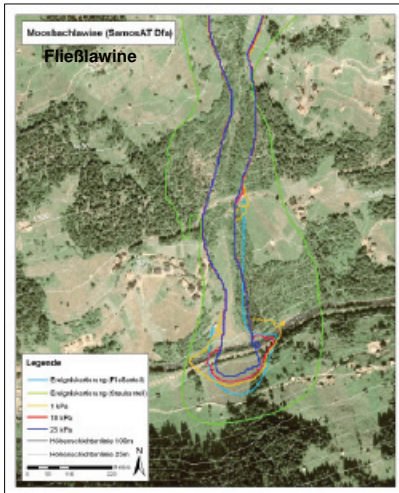


Abb. 1 und 2: Moosbach Fließ- und Staublawinensimulation im Vergleich zur Kartierung (hellblaue und grüne Linie).

Fig. 1 and 2: Moosbach dense and powder snow avalanche in comparison to reference data (light blue and green line).

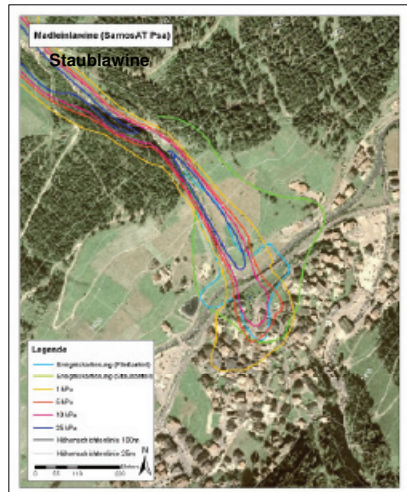
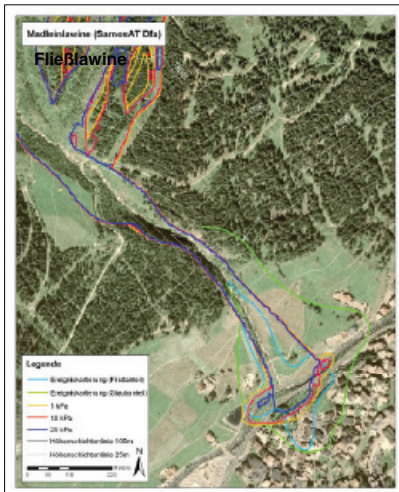


Abb. 3 und 4: Madlein Fließ- und Staublawinensimulation im Vergleich zur Kartierung (hellblaue und grüne Linie)

Fig. 3 and 4: Madlein dense and powder snow avalanche in comparison to reference data (light blue and green line)

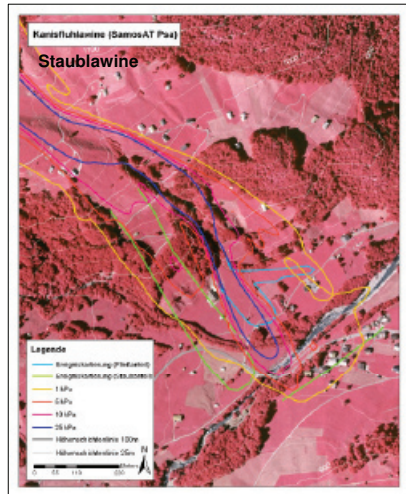
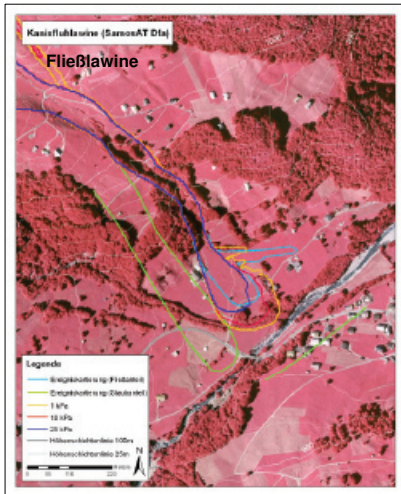


Abb. 5 und 6: Kanisfluh Fließ- und Staublawinensimulation im Vergleich zur Kartierung (hellblaue und grüne Linie)

Fig. 5 and 6: Kanisfluh dense and powder flow avalanche in comparison to reference data (light blue and green line)

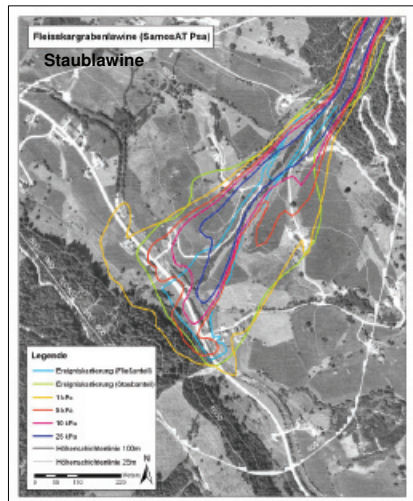
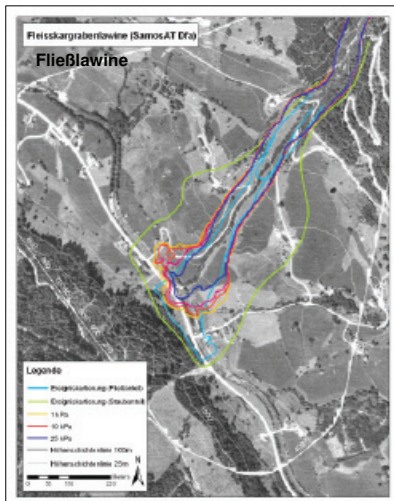


Abb. 7 und 8: Fleisskargraben Fließ- und Staublawinensimulation im Vergleich zur Kartierung (hellblaue und grüne Linie)

Fig. 7 and 8: Fleisskargraben dense and powder snow avalanche in comparison to reference data (light blue and green line)

ANALYSE UND MODELLIERUNG DER WALDWIRKUNG AUF DAS HOCHWASSEREREIGNIS IM PAZNAUN TAL VOM AUGUST 2005

ANALYSIS AND MODELLING OF THE EFFECT OF FOREST COVER ON THE 2005 FLOOD EVENT IN THE PAZNAUN VALLEY (AUSTRIA)

Bernhard Kohl¹, Klaus Klebinder¹, Gerhard Markart¹, Frank Perzl¹, Herbert Pirkl², Florian Riedl³, Leopold Stepanek⁴

ZUSAMMENFASSUNG

Um den Einfluss von Waldausstattung und Waldzustand auf das Hochwasserereignis 22. und 23. August 2005 im Paznauntal zu untersuchen werden im N/A-Modell unterschiedliche Systembedingungen (Zustand 1950 versus 2005) analysiert. Auf der Grundlage von flächendeckenden qualitativen und quantitativen Luftbildinterpretationen beider Zustände wurden Parameter zur Abflussmodellierung abgeleitet. Umfangreiche Standortdaten dienen der Anreichung und Verifizierung der Luftbildinterpretation. Detaillierte hydrogeologische Erhebungen bildeten den Grundstock für die N/A-Modellierungen. Unterschiede der Landnutzung sowohl innerhalb als auch außerhalb des Waldbereiches lassen sich deutlich hervorheben. Die Zunahme an Waldfläche und hydrologisch wirksame Veränderungen im Waldzustand konnten ebenso wie Veränderungen der Freifläche erfasst und beurteilt werden. Die N/A-Modellierungen bilden auf Teileinzugsgebietsebene Auswirkungen dieser Veränderungen auf das Hochwasserereignis 2005 nach Maßgabe des Veränderungsgrades deutlich ab. Bei Betrachtung des Gesamtgebietes wird jedoch die Wirkung der veränderten Landnutzung vernachlässigbar gering. Es kann gezeigt werden, dass die zwar vorhandene, jedoch auf das Gesamtgebiet bezogen vernachlässigbare hydrologische Schutzwirkung des Waldes auf entscheidenden Eigenheiten dieses Extremereignisses beruhen, z.B. der extremen Vorregensumme, der Niederschlagsverteilung, der Niederschlagsdauer und des Ereignistyps im Allgemeinen. Das außerordentliche Niederschlagsereignis vom August 2005 im Paznaun hat die Teilgebieten nachweislich vorhandene Schutzwirkung des Waldes vor Hochwässern regelrecht überfordert.

Keywords: Hochwasser, Waldwirkung, N/A- Modellierung

ABSTRACT

The impact of changes in forest cover on the flood event of the River Trisanna in the Paznaun valley in August 22nd and 23rd, 2005 has been investigated by means of process-oriented

¹ Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen, Hofburg – Rennweg 1, 6020 Innsbruck, Österreich (Tel.: +43-512-573933-5132; Fax: +43-512-573933-5135; email: bernhard.kohl@uibk.ac.at)

² Büro für Umweltgeologie – Geoökologie GEOÖKO, Gentzgasse 17/1/6, 1180 Wien, Österreich (Tel.: +43-1-4796291; email: herbert.pirkl@chello.at)

³ Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Langgasse 88, 6460 Imst, Österreich (Tel.: +43-5412-66531; Fax: +43-5412-665312-23; email: florian.riedl@die-wildbach.at)

⁴ Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Liebeneggstraße 11, 6020 Innsbruck, Österreich (Tel.: +43-512-596120; Fax: +43-512-581216; email: leopold.stepanek@die-wildbach.at)

hydrological modelling. The effect and influence of different forest cover configurations (status 1950 and 2005) was analysed. Based on qualitative and quantitative aerial image interpretations hydrological response units (HRU) attributed with hydrological parameters for modelling (initial abstraction and water storage, surface runoff coefficient and surface roughness) were derived. Field investigation data (forest site and stand characterisation on approx. 3000 points within the Paznaun valley) were used for calibration and verification of these parameters. Detailed hydro-geological survey and discharge measurements formed the base for hydrological modelling. Differences in land use could be identified clearly within and outside the forest cover. Increase of forest cover and hydrologically effective changes in forest stand characteristics have been detected and evaluated. The impact of these changes on the flood event of August 2005 is shown quite clearly regarding subcatchments of the Paznaun valley according to the degree of variation. The hydrological modelling of the August 23rd, 2005, event in the whole Paznaun valley showed only negligible differences between scenario 1950 and 2005. The so “disappeared effects” of forest cover are due to the specific peculiarities of this event, such as an enormous amount of rain during the period before the event, the areal rain distribution, the duration of the event as well as the event type in general. The verifiably protection effects of forest cover on floods in general were overstrained by this extraordinary event.

Keywords: flood, effect of forest cover, hydrological modelling

EINLEITUNG

Am 22. und 23. August 2005 führten extreme Niederschlagsmengen zu katastrophalen Hochwasserereignissen in Tirol und Vorarlberg. Im Paznauntal erreichte die Trisanna Abflussspitzen jenseits der HQ₁₀₀-Marke.

In den 50er Jahren des 19. Jahrhunderts erreichte die Entwaldung im Paznauntal einen Tiefpunkt. Der Holzbedarf des mittelalterlichen Bergbaues und Jahrhunderte traditioneller Almwirtschaft reduzierten den Waldbestand beträchtlich (vgl. Abb. 1). Der Zustand vieler verbliebener Waldflächen war hinsichtlich Schichtung, Struktur und Wuchsklasse im Bezug auf die Schutzwirkung des Waldes als kritisch einzustufen.

Waldwirkung und Hochwasserschutz ist ein viel diskutiertes Thema. Einen guten Überblick über die vorhandene Literatur zum Thema Waldhydrologie findet sich in den Berichten der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF 2004 und 2006). HEGG (2006) hält fest, dass Bewaldung die Abflussbildung bei Hochwasser nur unter bestimmten Voraussetzungen maßgeblich beeinflusst. Je nach Bodentyp übt der Wald eine mehr oder weniger starke Wirkung auf die Speicherkapazität aus. HUBER (2006) beschreibt wie andere Autoren (KENNEL 2004, MARKART et al. 2006) Wald als natürlichen und kostengünstigen Hochwasserschutz, obgleich auch sie Wald nicht gleich Wald sehen.

In Bezug auf das Hochwasserereignis 23. August 2005 im Paznauntal stand die Frage im Raum, welchen Einfluss denn die Waldausstattung des Tales auf dieses extreme Niederschlagsereignis hatte. Jene, für ihre extrem hohen Regenintensitäten gefürchteten Vb – Wetterlagen könnten mit fortschreitendem Klimawandel im Alpenraum und nördlich davon häufiger auftreten (KIRNBAUER et al. 2008).

Waren Aufforstungs- und Waldverbesserungsmaßnahmen des vergangenen halben Jahrhunderts wirkungslos und ineffizient? Wäre das Ereignis vom August 2005 im Jahre 1950 noch extremer ausgefallen? Oder muss man vermuten, dass das gleiche Ereignis 1950 trotz schlechteren Waldzustandes bei gleichzeitig geringerem Versiegelungsgrad niedrigere Abflussspitzen erzeugt hätte?

Um diesen Fragen auf den Grund zu gehen initiierte der Forsttechnische Dienst für Lawinen- und Wildbachverbauung das Projekt „HOPWAP - Hochwasser Paznaun - Wald-Ablfluss-Potentiale“.

Ziel dieses Projektes ist es, mittels prozessorientierter hydrologischer Modellierung die Wirkung und Effekte der veränderten Landnutzung und des Waldes im speziellen zu analysieren. Die Orientierung an den stattfindenden Prozessen und die Plausibilisierung der Nachbildung des Hochwasserereignisses vom August 2005 erlauben die Simulation unterschiedlicher Landnutzungsszenarien und auf diesen aufbauend die Überprüfung der Auswirkungen von Landnutzungsänderungen.

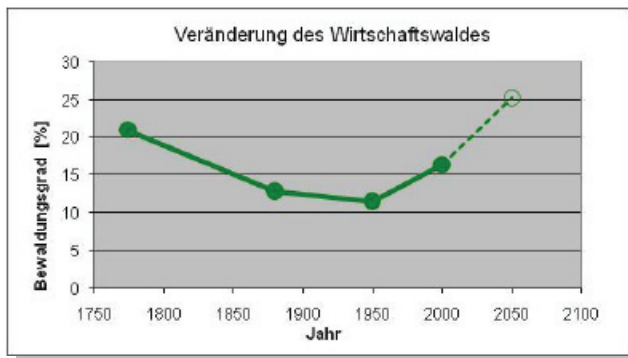


Abb. 1: Veränderung des Bewaldungsprozentes im Paznauntal. Künftige Bewaldung ist als potentielle bewaldbare Fläche zu verstehen (Quelle: FROMME 1952, SEGER 2001).

Fig. 1: Forest cover changes in the Paznaun valley in percent of the basin area. Prospective forest cover is understood as possibly afforestable area (Source: FROMME 1952, SEGER 2001).

METHODE

Das Projekt HOPWAP wurde in die drei Phasen Lokalisierung, Regionalisierung und N/A-Modellierung gegliedert.

Zur Lokalisierung wurde anhand der am BFW vorhandenen Berechnungsdaten typische hydrologische Reaktionseinheiten (HRE) definiert und deren hydrologische Reaktion auf das Hochwasserereignis 2005 bewertet und modelliert. Weiters wurden die Waldfunktionen-Indikatoraufnahmen des Projektes FOMUMIS (Pitterle und Perzl 2000, 2003), die im Zuge des Projektes HOPWAP digitalisiert wurden, als Punktdaten der aktuellen Waldsituation hydrologisch beurteilt.

Zur Bewertung der Waldsituation 1950 wurden Waldstandsaufnahmen aus den Jahren 1932 bis 1956 im Sinne der oben genannten hydrologischen Reaktionseinheiten interpretiert.

Die Regionalisierung erfolgte flächendeckend mittels Auswertung aktueller und alter Luftbildserien. Im Maßstab 1:5.000 wurden an Orthophotos hydrologische Reaktionseinheiten, im Waldbereich unterschiedliche Hauptwaldtypen, Einheiten unterschiedlicher Wuchsklassen, unterschiedlicher Schichtung und Bestockung abgegrenzt. Diese Standortparameter wurden laufend mit den Daten der Waldfunktionen-Indikatoraufnahmen abgeglichen.

Entsprechend der vorangegangenen Definition hydrologischer Reaktionseinheiten wurden den ausgeschiedenen Landnutzungseinheiten die Parameter Abflussklasse, Oberflächenrauheit und Speicherpotenzial zugewiesen.

Als Grundlage für die Hochwassermodellierung wurden im Projektgebiet umfangreiche hydrogeologische Untersuchungen durchgeführt und über Luftbildauswertung und Geländeerhebungen das aktuelle Gerinnesystem erfasst. Analog wurden geomorphologische Informationen erarbeitet. Systematische wiederholte Durchflussmessungen lieferten das Fundament zur Charakterisierung typischer Einzugsgebietsreaktionen. Für die Abflussmodellierung stellen die Karte der hydrogeologischen Abflussprofiltypen und die Ausscheidung von Prozessflächen ohne Gerinneanschluss im Ereignisfall eine bedeutende Eingangsgröße dar. Zur Ermittlung des Basisabflusses aller Teileinzugsgebiete und zur Plausibilisierung der N/A-Modellergebnisse wurden die Durchflussmessungen, die Hochwasser 2005 - Ereignisdokumentation (BMLFUW 2006) und Pegelmessungen des Ereignisses der Vorarlberger Illwerke herangezogen.

Tab. 1: Modellparameter für die N/A-Modellierung (Art: d.a.P. = direkt abgeleitete und erhobene Parameter; j.P. justierbare Parameter für die Modelleichung).

Tab. 1: Model parameters (Art: d.a.P. = directly deduced or collected parameters; j.P. setting parameters for model calibration).

Parameter als Mittelwerte je Teileinzugsgebiet	Einheit	Art
Vorregen	[mm]	d.a.P.
Niederschlag (Intervall 15min, 1x1 km)	[mm]	d.a.P.
Teileinzugsgebietsfläche	[km ²]	d.a.P.
Durchschnittlicher Fließweg am Hang (Oberfläche ≙ Zwischenabfluss)	[m]	d.a.P.
Durchschnittliche Hangneigung (Oberfläche ≙ Zwischenabfluss)	[°]	d.a.P.
Flächenanteile je Abflussklasse (MARKART et al. 2004)	[ha]	d.a.P.
Flächenanteile je Rauheitsklasse (MARKART et al. 2004)	[ha]	d.a.P.
Flächenanteile je Speicherpotentialklasse	[ha]	d.a.P.
Flächenanteile je Abflussprofiltypenklasse	[ha]	j.P. / d.a.P.
Prozentanteile der hydrogeologisch nicht beitragender Flächen	[%]	d.a.P.
Widerstands- und Verzögerungsbeiwert Zwischenabfluss	[]	j.P.
Basisabfluss	[m ³ /s]	d.a.P.
Gerinnelänge	[m]	d.a.P.
Gerinneneigung	[°]	d.a.P.
Gerinnerauigkeit, D90	[m]	j.P. / d.a.P.

Als wesentliche, treibende Eingangsgröße für die Niederschlags-Abfluss-Modellierung dient die zeitliche und räumliche Niederschlagsverteilung des Hochwasserereignisses 2005 wofür Computermodelldaten verwendet wurden, auf welche im Folgenden noch näher eingegangen wird. Unter Berücksichtigung der beim Ereignis herrschenden Vorbedingungen wurde das Hochwasser mit einer stark modifizierten Version des hydrologischen Modells ZEMOKOST (STEPANEK et al. 2004) anhand der aktuellen Landnutzung nachgerechnet und plausibilisiert. Anschließend erfolgte die Modellierung der Waldflächenszenarien 1950. Tabelle 1 führt die verwendeten Modellparameter an, unter Differenzierung welche Parameter direkt abgeleitet bzw. erhoben wurden und welche als Stellschrauben der Modellkalibrierung dienen.

TOPOGRAPHIE

Mittels digitalem Geländemodell (10x10 m), zur Verfügung gestellt vom LFRZ (Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - BMLFUW) wurde das hydrologische Einzugsgebiet der Trisanna (Paznauntal, 409 km²) abgegrenzt und nach den maßgeblichen Zubringern in 37 Teileinzugsgebiete zwischen 2 und 40 km² Größe gegliedert. Im

Geographischen Informationssystem wurden für jedes Teileinzugsgebiet die durchschnittliche Hangneigung und der durchschnittlich maximale Fließweg am Hang abgeleitet.

Als mittlere maximale Fließstrecke wurde für alle Zellen (10x10m) eines Teileinzugsgebietes mit einer Akkumulation = 1, also alle Zellen unterhalb einer Wasserscheide, der Fließweg bis zu einer Gerinnezelle berechnet und gemittelt. Für die Fließwege des Zwischenabflusses wurden dieselben Hanglängen angenommen.

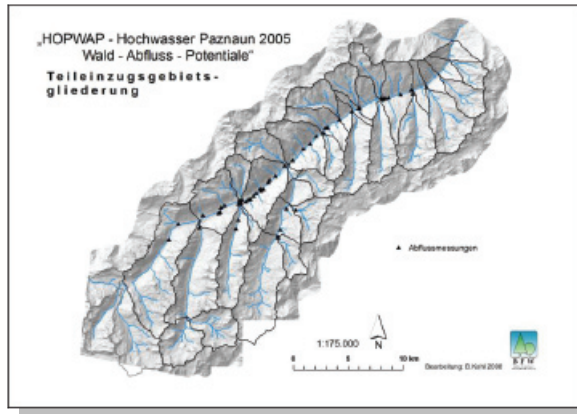


Abb. 2: Teileinzugsgebietsgliederung, Gerinnenetz und Abflussmessstellen im Paznauntal.

Fig. 2: Subcatchments, locations of discharge measurement and channel network in the Paznaun valley.

Die aus hydrogeologischen Grundlagen und Teileinzugsgebietsgliederung abgeleiteten Gerinneabschnitte wurden über ihre Höhen- und Horizontalabstand definiert, ihre Länge und ihr Pauschalgefälle berechnet. Das Laufzeitverfahren ZEMOKOST benötigt für die Berechnung der Abflussgeschwindigkeit im Gerinne einen Rauheitsparameter, der im verwendeten Berechnungsansatz nach den Empfehlungen gemäß ETALP (BMLFUW, 2003) als Kornrauigkeit (D90) ausgedrückt wird. Diese Kornrauigkeit wurde für die jeweiligen Gerinneabschnitte im Gelände okular geschätzt. Im Zuge der Modellierung, vor allem im Hauptgerinne der Trisanna, entspricht jedoch dieser D90 nicht mehr einer Korngröße, sondern allgemein einem Widerstandsbeiwert. Ausuferung, Erosion und Verlandung können nur durch höhere D90-Werte simuliert werden. Für die seitlichen Zubringer wurde der im Feld geschätzte Korndurchmesser verwendet.

NIEDERSCHLAG

Essentiell für plausible (Niederschlags-Abfluss-)Modellierungen sind die das Modell antreibenden Niederschlagsdaten. Die Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) stellte für das Projekt HOPWAP INCA-Daten (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) zur Verfügung. Zur Zeit des Hochwasserereignisses war das Wetterradar Valuga noch nicht in Betrieb. Die INCA-Analyse basiert deshalb fast ausschließlich auf Stationsdaten (Stationen: Prutz, Landeck, Pitztaler Gletscher). Die Station Ischgl und Galtür waren am 22.8.2005 um 23 Uhr, also annähernd am Höhepunkt des Ereignisses, ausgefallen und in diesem Zeitraum für die INCA-Auswertung nicht zu verwenden. Um ein möglichst vollständiges und naturgetreues Abbild des Niederschlagsereignisses zu erhalten, wurden nachträglich weitere Stationsdaten (Kappl -

Oberhaus, Ladis) in die INCA-Auswertung eingerechnet. Die überarbeiteten INCA-Daten (Niederschlag und Temperatur) in der Auflösung 1x1 km und 15 min Zeitintervall wurden für die Modellierung je Teileinzugsgebiet gemittelt und in 1 min Zeitschritten verwendet. Die räumliche und zeitliche Temperaturverteilung wurde dahin interpretiert, dass beim Hochwasserereignis auch bis in die Gletscherregionen von flüssigen Niederschlägen ausgegangen werden kann.

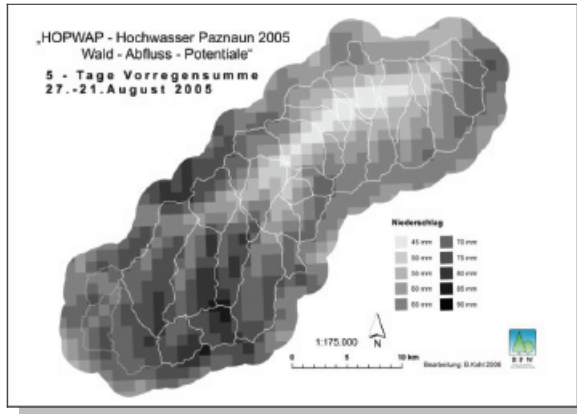


Abb. 3: Regensumme 5 Tage vor dem Hochwasserereignis 22.-23. August 2005.
Fig. 3: 5days pre event rainfall sum (05-08-17 to 05-08-21).

Die Vorbedingungen wurden im Modell dahingehend berücksichtigt, dass allen Hydrologischen Reaktionseinheiten (HRE) aus den Erfahrungen der Beregnungsversuche am Bundesforschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) und den zur Verfügung stehenden Geländedaten ein Speichervolumen zuerkannt wurde, das entsprechend der 5 Tage Vorregensumme eine mehr oder weniger große Vorverfüllung aufwies. Abbildung 3 zeigt die Regenmenge der letzten fünf dem Ereignis vorangegangenen Tage.

LANDNUTZUNGSÄNDERUNG, ABFLUSS, RAUHEIT, SPEICHERPOTENTIAL

Anhand der am BFW vorhandenen Beregnungsdaten wurden typische hydrologische Reaktionseinheiten (HRE) als Landnutzungshaupttypen definiert und ihre Reaktion auf das Hochwasserereignis 2005 bewertet und modelliert.

Tabelle 2 listet diese Landnutzungstypen auf und gibt ihre Flächenanteile in Hektar für die Jahre 1950 und 2005 wieder. Zudem ist die prozentuelle Veränderung bezogen auf das Jahr 1950 angeführt. Für die weitere hydrologische Beurteilung wurden die Waldfunktions-Indikatoraufnahmen des Projektes FOMUMIIS als Punktdaten der aktuellen Waldsituation herangezogen. Bei den FOMUMIIS-Daten (Forest Multiple Use Measurable Indicator Identification System) handelt es sich um eine luftbildgestützte taxative terrestrische Erhebung von Standorts- und Vegetationsmerkmalen auf Waldflächen und unbewaldeten Flächen mit Bezug zu den Waldfunktionen (PITTERLE & PERZL 2000, 2003). Dieser Datensatz mit etwa 4000 Punktaufnahmen und flächiger Abgrenzung von Homogenbereichen, deckt etwa ein Viertel der Gesamtfläche des Paznauntales ab. Für das Projekt HOWAP waren die vorhandenen Daten des BMLFUW für folgende Bereiche verwendbar:

- Erfassung und Überprüfung der Baumartenzusammensetzung in Kombination mit anderen Daten und Methoden und Übertragung derselben für fehlende Bereiche.
- Abschätzung der Bodenbedeckung in den Beständen. Die Bodenbedeckung ist für die Wasserspeicherung im Boden und die Infiltration bzw. den oberflächennahen Abfluss relevant. Die Daten enthalten eine sehr detaillierte Aufnahme der unmittelbaren Bodenbedeckung in den Beständen (Deckungsgrad Bodenvegetation, Streu, Totholz, Blockbedeckung). Diese Informationen können mit Hilfe der Luftbildinterpretation nicht oder nur für gering überschirmte Flächen gewonnen werden.

Tab. 2: Aufstellung der Landnutzungshaupttypen (LN_Htyp \equiv hydrologische Reaktionseinheit HRE) mit deren Flächenanteilen in Hektar 2005 und 1950 und ihrer prozentuellen Veränderung.

Tab. 2: List of main land use types (LN_Htyp \equiv hydrological response unit HRU) with surface ratio (hectare) for the land use scenarios 2005 and 1950 and change in percent.

LN_Htyp	Beschreibung	2005	1950	Δ [%]
11100	Wohn- und Wirtschaftsflächen	212	76	177
11200	Freizeitflächen (Sportanlagen)	7	0	
11300	Sonderflächen	4	3	25
11400	Bau-, Deponie-, Planieflächen	93	14	575
12000	Verkehrsflächen (Straßen)	472	115	311
13000	Schiwege (für den Schibetrieb errichtete Straßen)	13		
14000	Schipisten	493		
21110	alpine Rasen und Zwergsträucher auf Fels	3683	3680	0
21120	Fels der Gipfellagen	7860	7764	1
22000	Schutt und kluftige Felsflächen	6941	6606	5
23000	Erosionsflächen	141	161	-12
31100	alpine Rasen und Zwergsträucher auf Schutt	4384	4345	1
32100	Mähwiesen	1689	2506	-33
32200	Weideflächen und Almweiden	1873	2381	-21
33000	Feuchtfelder	406	436	-7
40000	Zwergstrauchheiden	2676	2936	-9
51000	Laubholzgebüsch (ohne Grünerlen)	4	2	127
52000	alpines Laubholzgebüsch mit Latsche/Nadelholz gemischt	412	317	30
53000	Latschen (Deckungsanteil Latsche ≥ 70 %)	165	162	2
54000	Grünerlengebüsche	1052	869	21
71000	Nadelwald (Deckungsanteil Nadelholz ≥ 70 %)	6005	5502	9
72000	Laubwald (Deckungsanteil Laubholz ≥ 70 %)	11	6	84
73000	Laub-/Nadel-Mischwald	65	49	31
74100	räumige Baumbestockung an der Waldgrenze	383	339	13
74200	sonstige Räumden und Blößen (im Wald)	496	709	-30
91000	Seen	44	30	44
92000	Fließgewässer	160	152	5
93000	Gletscher	1115	1688	-34
94000	Verlandungs-, Mäanderzonen	43	51	-15

Zur Bewertung der Waldsituation 1950 wurden Waldstandsaufnahmen (Operate) herangezogen, die den Waldstand um 1932 repräsentieren. Weiters standen Feldaufnahmen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Außenstelle für subalpine Waldforschung in Innsbruck (in den Jahren 1951 bis 1953 aufgenommen) zur Verfügung (PITSCHMANN et al. 1973). Weitere Grundlagen - Auswertungen über die Waldsituation im Paznauntal der 50er Jahre - finden sich auch in den Arbeiten von FROMME (1952, 1957). Die verwertbaren Angaben wurden im Sinne der oben genannten HRE's herangezogen und interpretiert.

Tab. 3: Flächen forstlicher Bestockung im Paznauntal – Veränderungen zwischen 1950 und 2005 (Brutto = inkl. eingeschlossene Siedlungs-, Verkehrs-, und Gewässerflächen bzw. Schipisten; Netto = exkl.).

Tab. 3: Area under forest management in the Paznaun valley – changes between 1950 and 2005 (Brutto = gross = enclosed settlements, roads, water bodies and ski lanes within forested areas; Netto = net = exclusive).

[km ²]	[%]	Flächen
409,0		Gesamteinzugsgebietsfläche
90,8		zwischen 1950 und 2005 Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Brutto)
78,0		1950 Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Brutto)
89,8		2005 Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Brutto)
77,3	19	1950 Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Netto) bzw. Bewaldungsgrad 1950 [%]
85,9	21	2005 Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Netto) bzw. Bewaldungsgrad 2005 [%]
0,7		1950 eingeschlossene Siedlungs-, Verkehrs-, und Gewässerflächen
3,9		2005 eingeschlossene Siedlungs-, Verkehrs-, und Gewässerflächen bzw. Schipisten
8,6	11	Netto-Waldzunahme zwischen 1950 und 2005 (Bezug 1950)
12,8		1950 (gegenüber 2005) noch keine Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Brutto)
11,8		1950 (gegenüber 2005) noch keine Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Netto)
1,0		2005 (gegenüber 1950) keine Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Brutto)
1,0		2005 (gegenüber 1950) keine Flächen mit forstlicher Bestockung > 30% (Netto)
74,0	96	1950 bestockte Flächen sind 2005 bestockt geblieben (Netto)

Unter Bezugnahme auf diese Vorarbeiten und Grundlagendaten wurden im Maßstab 1:5.000 (teilweise bis 1:1.000 im Waldbereich) an aktuellen digitalen Orthophotos und an den digitalisierten Ortholuftbildern der Flüge der Waldstandsaufnahme der frühen 50er Jahre Homogenbereiche der in Tabelle 2 angeführten Landnutzungshaupttypen abgegrenzt. Im Waldbereich wurden zusätzlich Flächen gleicher Bestandeseigenschaften hinsichtlich Bestockungsgrad, Wuchsklasse, Schichtung und Gesamtdeckung ausgeschieden und bewertet. Diese Auswertungen lieferten als Ergebnis zwei Landnutzungsdatensätze, aus denen sich die Veränderungen im Paznauntal der vergangenen 55 Jahre rekonstruieren und kalkulieren lassen. Einerseits lassen sich natürliche Veränderungen nachverfolgen (z.B. Gletscherrückgang, Entstehung und Wiederbewaldung von Erosionsflächen und Lawenstrichen, Anstieg der Waldgrenze,...), andererseits können anthropogene Eingriffe deutlich bemessen werden (z.B. Siedlungsentwicklung, Straßenbau, Auflassen von Mähwiesen, Erschließung von Schigebieten,...).

Im Waldbereich, dessen Veränderung Hauptaugenmerk des Projektes HOPWAP ist, werden natürliche sowie von der Bewirtschaftung hervorgerufene Veränderungen ersichtlich. So ist beispielsweise die Bewaldung des Paznauntales von 1950 bis 2005 von 19 auf 21 Prozent angestiegen, was einer Waldzunahme von 11 Prozent entspricht (vgl. Tabelle 3).

Hinsichtlich der qualitativen Veränderungen im Waldbereich konnte festgestellt werden, dass der Überschirmungsgrad aller Flächen mit forstlicher Bestockung seit 1950 von durchschnittlich 46 auf 52 Prozent angestiegen ist.

Die als kleinflächig schlagweiser Hochwald angesprochene Waldfläche hat um 640 ha bzw. relativ um rund 340 % zugenommen. Diese deutliche Zunahme kleinflächig bewirtschafteter Wälder geht überwiegend zu Lasten der Fläche der einschichtigen und schwach gestuften großflächigen (> 1 ha) Stangen- und Baumhölzer (Abnahme um 470 und 340 ha bzw. relativ um 50 % und 11 %). Das ist eine Folge der Veränderung der Bewirtschaftungsart welche sich aus der Luftbildinterpretation und den Operatsbeschreibungen ableiten lässt und zu großflächig einschichtigen Strukturen führte. Sie dürfte auch der Grund für die doppelt so hohe Fläche an Stangenholz (bis schwaches Baumholz) um 1950 im Verhältnis zum Jahr 2005 sein. Die Bewirtschaftungsart änderte sich auch mit der zunehmenden Erschließung der Waldflächen durch Forststraßen. Im Bereich dichter Erschließung an den unteren Talflanken überwiegt nun kleinflächig schlagweise Bewirtschaftung, Plenterung und Femelung (Loch- und Kleinkahlschlag). Großflächig einschichtige Baumhölzer in den weniger dicht erschlossenen Lagen werden vermehrt durch Femelung verjüngt.

Diese Veränderung des Waldes in Richtung kleinflächig strukturierter Wald ist im Verhältnis zur Bewirtschaftung um bzw. vor 1950 aus schutztechnischer Sicht und hydrologisch vermutlich günstig. Durch die kleinflächige schlagweise Bewirtschaftung entstehen zahlreiche Ränder und Säume. Dadurch gelangt Licht in die Bestände und auf den Boden, ohne dass der Schlussgrad der Bestände vermindert wird. Auch bei geschlossenem Kronendach eines Kollektivs kann sich Bodenvegetation entwickeln und werden infiltrationshemmende Streuauflagen abgebaut. Bodenbedeckung mit Bodenvegetation und Totholz ist ein wesentlicher Faktor zur Verminderung des oberflächennahen Abflusses. Die hydrologischen Auswirkungen der Veränderungen in der Landnutzung wurden über die vordefinierten hydrologischen Reaktionseinheiten (HRE) in Form von Abflussbeiwert-, Oberflächenrauheits- und Speicherpotentialkarten ausgewiesen. Abbildung 4 zeigt beispielhaft die Karte der Oberflächenabflussbeiwertklassen für das Landnutzungsszenario 2005.

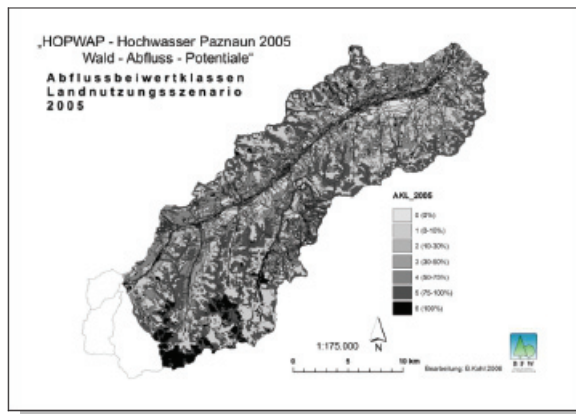


Abb. 4: Oberflächenabflussklassen für das Landnutzungsszenario 2005.

Fig. 4: Surface runoff classes for scenario land use 2005.

HYDROGEOLOGIE

Im Unterschied zu kurzzeitigen Starkniederschlägen, deren Reaktion sich zumeist auf erhöhten Oberflächenabfluss konzentriert, verlagert sich bei Dauerregen der Abflussprozess vermehrt in den Untergrund. In einem eigenen Arbeitsschritt wurden hydrogeologische Grundlagen für die Hochwassermodellierung Paznaun erarbeitet. Hauptziel dieser Untersuchungen war die Identifizierung von Flächen im Einzugsgebiet der Trisanna, die durch Abfluss im Untergrund zum Hochwasser August 2005 beigetragen haben bzw. der Ausschluss solcher Flächen, die keinen Abfluss lieferten. Basis für die hydrogeologische Beurteilung bildeten Auswertungen von Orthophotos zum einen hinsichtlich des aktuellen Gerinnesystems, sowie der Verteilung von Quellen/Quellhorizonten und Feuchtfächen, zum anderen hinsichtlich geomorphologischer Informationen (Auswertung der Flächenverteilung tiefgründiger Massenbewegungen z.B. ausgedehnte Talzuschübe). In Zusammenschau von Orthophotos, digitalem Höhenmodell, geologischer Karte und geomorphologischen Detailinformationen wurden die Massenbewegungskörper für das spezifische Projektziel abgegrenzt. Geländekontrollen, ergänzende Aufnahmen und systematische Abfluss-

/Durchflussmessungen an 53 ausgewählten Messstellen komplettierten die hydrogeologischen Arbeiten.

Als Produkt für die hydrologische Modellierung resultierten daraus eine Abflusstypenkarte (vgl. Abbildung 5) und eine Karte von Flächen, die im Ereignisfall vom Abflussprozess auszuschließen sind sowie eine Ableitung unterschiedlicher Abflussreaktionen von Teileinzugsgebieten aus den systematischen Abfluss-/Durchflussmessungen. Letztere waren für die Plausibilisierung der Modellrechnungen bedeutungsvoll.

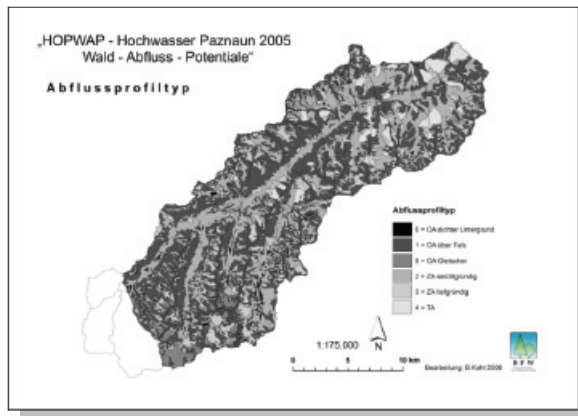


Abb. 5: Abflussprofiltypenkarte Paznaun.
Fig. 5: Map of dominant runoff processes.

MODELLERGEBNISSE

Grundlage für die hydrologische Modellierung stellte eine stark modifizierte Version des Laufzeitverfahrens ZEMOKOST (STEPANEK et al. 2004) dar. Dieses Modell zur Bemessung von Hochwässern bei Starkregen in kleinen Wildbacheinzugsgebieten ermöglichte durch die Verwendung intensitätsabhängiger, variabler Abflussbeiwerte, der Berücksichtigung von Oberflächenrauheit und vor allem der Bezugnahme auf unterschiedliche Speicherpotentiale von Standorten die Modellierung verschiedener Landnutzungsszenarien.

Wesentliche Modifikationen waren einerseits in Bezug auf die Verwendung einer zeitlichen und räumlichen Verteilung des Niederschlages und andererseits für die Berücksichtigung der Laufzeit von oberflächennahem und tiefgründigem Zwischenabfluss notwendig.

Die Geschwindigkeit des Beitrages aus dem Untergrund wurde mittels eines „Rauheitsfaktors“ an den Ergebnissen der Ereignisdokumentation, an den unterschiedlichen Abflussreaktionen von Teileinzugsgebieten aus den systematischen Abfluss-/Durchflussmessungen und an den wenigen vorhandenen Pegeldata geeicht (vgl. Tab 1). Mit diesem validierten Modell wurde dann der Abfluss für das Landnutzungsszenario 1950 gerechnet.

Aus dem Vergleich der Abflussbeiwertkarten 1950 und 2005 (vgl. Abb.4) lässt sich ersehen, dass im Starkregenfall in einzelnen Teileinzugsgebieten Veränderungen in der Größenordnung von minus 12 bis plus 49 Prozent Oberflächenabfluss anzutreffen sind. Die Auswirkungen im Starkregenereignis sind, abhängig vom Überregnungsszenario und der Größe des Teileinzugsgebietes, entsprechend hoch. Auch die Modellrechnung des Ereignisses vom

August 2005 zeigt für einzelne Teilgebiete seit 1950 prozentuell sehr hohe Veränderungen in der Abflussspitze (-25% bis +100%). Absolut betrachtet jedoch sind Veränderungen der Abflussspenden dieser Teileinzugsgebiete verschwindend gering ($< 1\text{m}^3/\text{s}$).

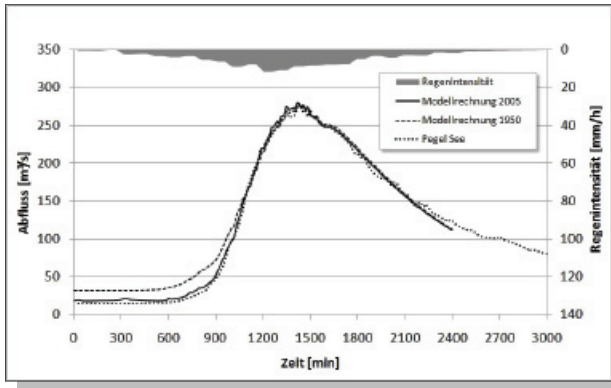


Abb. 6: Modellierte Abflussganglinien Landnutzungsszenarien 1950 und 2005 – Einzugsgebiet Trisanna und Ereignisganglinie des Abflusspegels See (Quelle: Vorarlberger Illwerke).

Fig. 6: Simulated hydrographs for land use scenarios 1950 and 2005 – Trisanna, Paznaun valley and hydrograph of gauge See (Source: Vorarlberger Illwerke).

In Abbildung 6 sind die Abflussganglinie des Pegels See und die modellierten Abflüsse der beiden Landnutzungsszenarien für das ganze Paznauntal dargestellt. Die höchste modellierte Variation der Abflussspitzen in einzelnen Teileinzugsgebieten liegt zwischen $\pm 5\text{m}^3/\text{s}$. Die modellierte Veränderung der Abflussreaktion des Gesamteinzugsgebietes der Trisanna ist aus Abbildung 6 erkennbar. Mit dem Verlust der Wirksamkeit der Kraftwerksableitungen nähern sich die Abflussganglinien der Landnutzungsszenarien sehr stark an. Die Abflussspitze liegt 2005 um 1,6% höher als im Szenario 1950.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Quantitative und qualitative Verbesserungen der Waldausstattung hinsichtlich hydrologischer Schutzwirkung sind im Paznauntal nachweisbar. Im Starkregenfall können diese Besserungen in Teileinzugsgebieten Abflussspitzen mindern bzw. Verschlechterungen kompensieren. Im speziellen Ereignisfall Augusthochwasser 2005 jedoch war die vorhandene Schutzwirkung des Waldes vor Hochwässern regelrecht „überfordert“ bzw. nicht mehr wirksam. Mehrere Gründe sind hierfür maßgeblich:

- Enorme Niederschlagssummen (inkl. 5 Tage-Vorniederschlag je nach Teileinzugsgebiet zwischen 108 und 202 mm) brachten auch die Waldflächen an den Rand der Sättigung ihres Speicherpotentials.
- Hydrologische Verbesserungen im Waldbereich des Paznauntales betreffen nur einen sehr geringen Flächenanteil: Bewaldungsprozent 1950 19 Prozent, 2005 21 Prozent.
- Die Niederschläge des Ereignisses 22.-23. August 2005 waren im waldfreien Bereich deutlich höher als in den bewaldeten Teilen.
- Anthropogene Veränderungen egalieren in zusehendem Maße die hydrologische Schutzwirkung aus dem Waldbereich (Schipisten, Planien, Versiegelungen,...).

DANK

Das Projektteam HOPWAP dankt DI Siegfried Sauer Moser, Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Tirol, DI Dr. Dieter Stöhr, Landesforstdirektion Tirol und DI Hubert Steiner, Abteilung Wasserwirtschaft des Amtes der Tiroler Landesregierung, und dem BFW für die Finanzierung des Projektes. Dank gilt ebenso der Gebietsbauleitung Oberes Inntal für die Unterstützung der Geländearbeiten (Herrn Alois Gabl), Herrn DI Günter Moser, Vorarlberger Illwerke AG, Herrn DI Wolfgang Tinkl vom LFRZ, Dr. Wolfgang Gattermayr, Mag. Klaus Niedertscheider und Ing. Martin Neuner von der Abteilung Hydrographie, Dr. Hermann Gspan von der Abteilung Vermessung und Geologie und Dr. Dieter Stöhr von der Landesforstdirektion Tirol für die Bereitstellung von Daten. Ebenso bedanken wir uns bei Dr. Thomas Haiden, Mag. Klaus Stadlbacher und Mag. Dr. Andreas Schaffhauser von der ZAMG für die Bereitstellung der INCA-Daten.

LITERATUR

- BMLFUW (2003): „Gesamtheitliche Erfassung und Bewertung von Erosions- und Transportvorgängen in Wildbacheinzugsgebieten (ETALP - Erosion, Transport in Alpinen Systemen).“ S.716.
- BMLFUW (2006): „Hochwasser 2005 – Ereignisdokumentation. Teilbericht der Wildbach- und Lawinenverbauung. S.126.
- Fromme G. (1952): „Schach der Waldverwüstung.“ Teile I-III. Österreichisches Produktivitäts-Zentrum; Überreuter Verlag.
- Fromme G. (1957): „Der Waldrückgang im Oberinntal (Tirol). Untersuchungen über das Ausmaß, die Ursachen und Folgeerscheinungen des Waldrückganges in einem Gebirgslande sowie über die Aussichten der Wiederaufforstung.“ Mitteilungen der Forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Mariabrunn, (54): S.222.
- Haiden T., Kann A., Stadlbacher K., Steinheimer M., Wittmann C. (2006): „Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (INCA) - System overview.“ ZAMG internal report, 24p.
- Hegg C. (2006): „Waldwirkung auf Hochwasser.“ LWF-Wissen Nr. 55, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising 2006, 29-33.
- Huber Th. (2006): „Wald – ein natürlicher und kostengünstiger Hochwasserschutz.“ LWFaktuell, Nr. 52. Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising 2004, 33-34.
- Kennel M. (2004): „Vorbeugender Hochwasserschutz durch Wald und Forstwirtschaft in Bayern.“ LWF Wissen, Nr. 44, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising 2004.
- Kirnbauer R., Kohl B., Formayer H., Kromp-Kolb H. (2008): „Coupling Climate Change and hydrological Models to Calculate the Design of Torrent Catchments.“ Natural Hazard Report Chapter 2 (Contribution of BMLFUW - Austria), Interreg III B Project CLIMCHALP.
- LWF (2006): „Wald – Schutz vor Hochwasser.“ LWF-Wissen Nr. 55, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising 2006, 83.
- Markart G., Kohl B., Perzl F. (2006): „Der Bergwald und seine hydrologische Wirkung - eine unterschätzte Größe?“ LWF-Wissen Nr. 55, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising 2006, 34-43.
- Pitschmann H., Reisigl H., Schiechl H.M., Stern R. (1973): „Karte der Aktuellen Vegetation 1:100 000 II Teil: Blatt5, Silvretta und Lechtaler Alpen. Documents de Cartographie Ecologique; V.11.
- Pitterle A., Perzl F. (2000): „Kennwertbestimmung für regionale Waldschutzpotentiale sowie Schutzerfüllungsgrade“, unveröffentlichter Bericht an das BMLFUW, Abt. Vc7.
- Pitterle A., Perzl F. (2003): „Schutzwaldinventur 2000-2002. FOMUMIIS-Bewertung der Schutzwirkungen im Schutzwald außer Ertrag.“ Endbericht im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Waldbau-Institut. BOKU-Wien.
- Seger, M. (2001): „Rauminformationssystem Österreich - ein digitaler thematischer Datensatz des Staatsgebietes.“ VGI: Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation; 89/2; S.101-110.
- Stepanek, L., Kohl B., Markart G. (2004): „Von der Starkregensimulation zum Spitzenabfluss.“ Internationales Symposium Interpraevent 2004 – Garda / Italien, Tagungspublikation, Band 1, I/101-112.

STEUERUNG DES OBERFLÄCHENABFLUSSES DURCH STANDORT- OPTIMIERTE WALDBEWIRTSCHAFTUNG

SURFACE RUNOFF CONTROL BY ADEQUATE FOREST MANAGEMENT

Bernhard Kohl¹, Ralf Klosterhuber², Manfred Hotter², Gerhard Markart¹

ZUSAMMENFASSUNG

Der Einfluss der Vegetation auf den Wasserkreislauf ist mannigfaltig. Aus biologischen, geometrischen, energetischen sowie hydrologischen Gründen sind Evaporation, Transpiration und Interzeption jeder Pflanze und jedes Bestandes unterschiedlich. Aus einer Vielzahl an Beregnungsexperimenten am Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald-, Naturgefahren und Landschaft (BFW) konnten drei Hauptkomponenten für die Abflusssentstehung abgeleitet werden: (1) Initialabstraktion und Wasserspeicherung, (2) Abflussbeiwert in Abflusskonstanz und (3) Oberflächenrauheit.

Im Rahmen des Projektes :nab (Naturpotentiale alpiner Berggebiete), gefördert von der Gemeinschaftsinitiative INTERREG IIIB des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung und beauftragt durch die Gruppe Forst im Amt der Tiroler Landesregierung, wurde vom Büro für Vegetationsökologie und Umweltplanung (WLM) die Walddtypisierung und Waldstratifizierung Tirol durchgeführt. Alle Waldtypen dieser Modellierung wurden hinsichtlich ihres hydrologischen Potentials beleuchtet. Unter der Vorstellung durchschnittlicher, relativ reifer Bestände wurden diese Waldtypen als hydrologische Reaktionseinheiten (HRE) attribuiert. Die zuvor angesprochenen drei Hauptkomponenten für die Abflusssentstehung wurden für jede HRE unter Berücksichtigung von topographischen Parametern (Morphologie, Exposition, Neigung und Strahlung), Bodenparametern (Textur, Skelettgehalt und Gründigkeit) sowie Vegetationsparametern (Artenzusammensetzung, Frequenz und Deckungsgrad) zugeordnet. Aktuelle Kartierungen (Abflussbeiwert, Oberflächenrauheit) nach Markart et al. (2004) im Einzugsgebiet Enterbach Inzing / Tirol wurden für den Vergleich und die Validierung dieser HRE – Standortspotentiale herangezogen.

Die Auswirkung unterschiedlicher hydrologischer Eigenschaften zwischen aktueller Ausstattung und Standortspotential wurde an ausgewählten Waldtypen am Computermodell simuliert. Die hydrologische Wirkung einer multifunktionalen Forstwirtschaft auf Einzugsgebietesebene hängt sehr stark von der aktuellen und potentiellen Waldausstattung und zudem von möglichen Überregnungsszenarien dieser Flächen im Einzugsgebiet ab. Modellrechnungen eines Bemessungsereignisses der Jährlichkeit 100 für das Testgebiet Enterbach zeigen eine substantielle Reduktion der Abflussspitze um 15 Prozent im Vergleich der aktuellen und potentiellen Waldsituation.

¹ Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Abteilung Gebietswasserhaushalt, A-6020 Innsbruck, Rennweg 1 – Hofburg, bernhard.kohl@uibk.ac.at; gerhard.markart@uibk.ac.at

² WLM Büro für Vegetationsökologie und Umweltplanung; A-6020 Innsbruck, Innstrasse 23, manfred.hotter@wlm.at; ralf.klosterhuber@wlm.at

Die Vegetationsdecke, im speziellen die Waldausstattung, bietet eine effiziente, ökonomische und nachhaltige Steuerungsmöglichkeit für den Hochwasserschutz am Ort der Abflussbildung. Der dargestellte Ansatz unterstützt den Ausbau eines integralen multifunktionalen Schutzwaldmanagements hinsichtlich des Schutzes vor Hochwasser, welcher zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Keywords: Multifunktionale Forstwirtschaft, präventiver Hochwasserschutz, Oberflächenabfluss

ABSTRACT

The influence of vegetation cover on hydrologic cycle is variate. Evaporation, transpiration and interception differ for each plant and habitat for biologic, geometric, energetic and hydrologic reasons. Three main factors influencing flood generation have been deduced from analysis of a multitude of rain simulation experiments carried out at the Federal Research and Training Centre for Forests, Natural Hazards and Landscape (BFW): (1) initial abstraction and water storage, (2) surface runoff coefficient and (3) surface roughness.

Within the project :nab Natural Potential of Alpine Regions, co-financed by the Eu-Initiative INTERREG IIIB – Alpine Space, and by order of the regional forest authority Tyrol the forest typing and forest stratification Tyrol was carried out by WLM. The forest types of this modelling approach have been evaluated concerning their hydrologic potential. The different forest types, considered as relatively mature habitats at an average, have been attributed as hydrological response units (HRU). The three main factors mentioned above have been assessed for each HRU, taking into account topographic parameters like morphology, exposition, slope and radiation as well as soil properties like texture, soil skeleton and depth and further vegetation spectrum with its coverage and frequency.

Current mapped parameters served for comparison with the habitat potential. Subject to vegetation, soil properties and land use surface runoff coefficient and surface roughness have been estimated within the test site Enterbach, Inzing / Tyrol according to Markart et al. (2004).

The differences in hydrological properties between habitat potential and current forest situation have been simulated for a couple of selected forest types at the plot scale. At the catchment scale the hydrological effects of a flood-protection functional forest management is strongly depending on current and potential forest area and moreover how relevant rain scenarios cover this area. In our test site simulation of a recurrent design event with a return period of 100 years showed a substantial reduction of the flood peak of about 15% comparing hydrological habitat potential and current situation.

Vegetation, especially forest cover is an efficient, economic and sustainable control factor for preventive flood protection at the point of origin of runoff. The shown approach helps to expand integral multi-functional protection forest management with the forest function flood protection that is becoming more and more important.

Keywords: multi-functional forest management, preventive flood protection, surface runoff

EINLEITUNG

Erklärte Ziele des Interreg IIIB Projekts :nab (Naturpotenziale alpiner Berggebiete) waren unter anderen die Entwicklung von Leitlinien zur schutzfunktionalen Bewirtschaftung von Bergwäldern durch eine flächige Beurteilung der Wirkungen von Standort, Vegetation, Wasserhaushalt und Landnutzung zum Schutz vor Hochwasser, Erosion und Muren sowie die

Entwicklung von Analyse- und Planungsinstrumenten zur Bewertung von Wildbacheinzugsgebieten und die Schaffung transnationaler Standards.

Im vorliegende Projektteil sollte der Versuch unternommen werden, modellierten Waldtypen (Waldtypisierung und Waldstratifizierung Salzstraße, HOTTER, 2006) aktuelle und potentielle Oberflächenabflussbeiwerte und Oberflächenrauigkeitsklassen zuzuordnen und damit die Auswirkungen künftiger Zustandsänderungen im Boden-Vegetationskomplex auf den Oberflächenabfluss speziell in Waldflächen als auch im gesamten Einzugsgebiet darzustellen.

Fragestellung

Eine naturnahe, standortgerechte und nachhaltige Forstwirtschaft wirkt sich positiv auf den Hochwasserschutz aus (GÖTTLE, 2006). Generell wird Wald im Vergleich mit anderen Vegetationstypen günstiger in Bezug auf Abflussminimierung angesehen. Es soll hier jedoch differenziert betrachtet werden, wo welcher Waldstandort in welchem Ausmaß eine Abflussminderung bewirken kann. Wie viel kann im Waldgebiet zukünftig nach Änderung der Abflussbedingungen durch Bewirtschaftungsmaßnahmen zurückgehalten werden, und in welchem Ausmaß wirkt sich dies auf die Hochwasserwelle im Einzugsgebiet aus?

Zielsetzung

Vorrangiges Ziel des Projektes war es, für großflächig, relativ rasch und kostengünstig modellierbare Waldtypen Aussagen über ihr Verhalten gegenüber konvektiven Starkregen treffen zu können bzw. waldbezogene Eingangsdaten für die Simulationen von potentiellen Oberflächenabflüssen (z.B. als Datenbasis für Niederschlag-Abflussmodelle) zu erhalten. Die Studie wurde in dem hydrologisch abgegrenzten Einzugsgebiet des Enterbaches durchgeführt, für welches terrestrisch kartierte aktuelle Abflussbeiwert- und Rauigkeitsklassen (KOHL et al., 2006) erhoben wurden. Die Karte der potenziellen Abflussbeiwerte sollte der Kartierung des aktuellen Zustandes gegenübergestellt und die hydrologischen Parameter interpretiert werden. Hieraus sollte eine flächenbezogene Prioritätenreihung für die funktionale Schutzwaldbewirtschaftung in Bezug auf Hochwasserschutz ableitbar sein. Die Ergebnisse liefern Informationen über die hochwasserrelevanten Gebietscharakteristika bezüglich der Faktoren Vegetation und Boden. Der Einfluss der geologischen Ausstattung des Einzugsgebietes (NITTEL et al. 2005) wird bei den potenziellen Abflussbeiwerten nicht direkt sondern über die waldtypenspezifischen Bodentypengruppen beurteilt.

OBERFLÄCHENABFLUSS

Allgemeines, Wirkung des Waldes

Bewaldeten Flächen wird in der Regel eine hohe abflussdämpfende Wirkung zugesprochen. Durch die gegenüber anderen Nutzungen erhöhte Interzeption und die starke Transpiration von Waldbeständen ist die Bodenfeuchte unter Waldbeständen im Sommer und Herbst in der Regel geringer als im Umland, was in diesem Zeitraum ein erhöhtes Aufnahmevermögen des Bodens für Wasser zur Folge hat. Die Art der Bewirtschaftung des Waldes hat einen potenziell größeren Einfluss auf das Abflussverhalten von Waldflächen als die An- oder Abwesenheit des Waldes an sich. Zu den Einflussfaktoren der forstwirtschaftlichen Nutzung auf den Hochwasserabfluss zählen vor allem:

- Weitgehende Bodenversiegelung durch Wegebau.
- Verdichtung des Bodens (durch Befahrung mit hohen Achslasten bzw. im alpinen Raum durch intensive Waldweide).
- Anlage von Entwässerungsgräben.
- Erhöhte Anfälligkeit für Waldschäden in ökologisch labilen forstlichen Monokulturen.

Die Pflanzendecke selbst trägt in mehrfacher Hinsicht zur Verminderung und Verzögerung von Hochwasserabfluss bei:

- Vorübergehende Speicherung und Verdunstung von Niederschlagswasser an Pflanzenoberflächen und damit Verminderung des Hochwasservolumens.
- Verzögerung von Oberflächenabfluss durch Erhöhung der Rauigkeit der Bodenoberfläche.
- Tendenzielle Verbesserung der Infiltrationsbedingungen durch Wurzelgänge.
- Dämpfung des an der Bodenoberfläche auftreffenden Niederschlages und damit Schutz vor Verschlämmung und Verdichtung der Bodenoberfläche sowie deren negativen Folgen für die Infiltration von Niederschlagswasser.
- Verhinderung von Krustenbildung an der Bodenoberfläche durch Schutz vor Austrocknung des Oberbodens.

In der Vergangenheit wurde die hochwasserdämpfende Wirkung von Wald häufig sehr undifferenziert gepriesen. Dass diese Wirkung nicht zwangsläufig zum Tragen kommt, wird durch den starken Einfluss von Bodenmächtigkeit, -textur und -lagerung auf die Hochwasserentstehung erklärt. Je nach Untergrund, auf dem sich ein Boden entwickelt, übt der Wald eine mehr oder weniger starke Wirkung auf die Speicherkapazität aus (HEGG, 2006). Stockt der Wald auf geringmächtigen Böden mit grobem Substrat, so können unterirdische Fließprozesse auch auf Waldflächen eine rasche Abflussreaktion hervorrufen.

Wie sehr der Einfluss des Waldes gegenüber den geomorphologischen Rahmenbedingungen eines Gebietes in den Hintergrund treten kann, wird auch durch aktuelle Untersuchungen belegt (z.B. KOHL et al., 2008, BESCHTA et al., 2000). In großen Einzugsgebieten und bei sehr seltenen Ereignissen ist der Einfluss der Bewaldung bzw. von Kahlschlägen auf die Hochwasserentstehung nicht mehr zweifelsfrei nachweisbar.

Der Einfluss der Vegetation auf den Wasserhaushalt ist mannigfaltig: Evaporation, Transpiration und Interzeption sind aus biologischen, geometrischen, energetischen und hydrologischen Gründen für jede Pflanze und jeden Bestand individuell verschieden. Über die Bodenbildung werden von der Vegetation Tiefensickerung, Kapillaraufstieg, sowie Zu- und Abfluss im Boden beeinflusst. Die Boden-/Vegetationsoberfläche selbst nimmt in Bezug auf die Abflussbildung eine Schlüsselstellung ein. Sie entscheidet häufig darüber, ob das Wasser infiltrieren kann oder Oberflächenabfluss entsteht. In vielen Fällen steuert die Vegetation die Auswirkungen des Wassers auf das Abtragsgeschehen und auf die Abtragsbereitschaft, da die hydrologischen Standorteigenschaften durch die Vegetation beeinflusst werden. Die Pflanzendecke ist also maßgeblich mit der Infiltration bzw. der Bildung von Abfluss verknüpft. Aus einer Vielzahl an Beregnungsexperimenten am Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen, des Bundesforschungszentrums für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) und den begleitenden vegetations- und bodenkundlichen Untersuchungen lassen sich für den Hochwasserabfluss drei wesentliche Einflussgrößen zusammenfassen. Ein Starkregen, im Beispielfall ein einstündiger Niederschlag mit einer Regenmenge von 100 mm pro Stunde, erzeugt auf einer Homogenfläche nach einer **Abstraktionszeit** eine trapezförmige oder schiefwinkelige Abflussganglinie. Der Anstieg dieser Ganglinie ist, neben den topographischen Standortparametern Hangneigung und Hanglänge sowie der Fließmenge, wesentlich von der Oberflächenrauigkeit (**Rauigkeitsklasse RKL**) abhängig. Die Fließmenge ist durch den Parameter Oberflächenabflussbeiwert (**Abflussbeiwertklasse AKL**) charakterisiert. Inhomogenitäten, wie sie in nahezu allen natürlichen Vegetations-/Bodenkomplexen anzutreffen sind führen zur Ausrundung der Trapezganglinie mit längeren Nachlaufzeiten.

Initialabstraktion, Wasserspeicherung

Die Abstraktion entspricht jener Niederschlagshöhe, die erforderlich ist, um einen Direktabfluss zu erzeugen. Sie beinhaltet all jene Wasserverluste, die für die Bestimmung extremer Hochwässer zu berücksichtigen sind. Zu diesen so genannten Wasserverlusten von Niederschlägen zählen das Haftwasser an Boden und Vegetation (Interzeption), die

Verdunstung an Boden und Vegetation (Evaporation), der aktive Wasserverbrauch der Pflanzendecke (Transpiration), der Wasserrückhalt in Bodenebenenheiten (Muldenpeicher), das Versickern (Infiltration) und schließlich der unterirdische Abfluss. Für den unterirdischen Abfluss ist die Wasserspeicherung des Bodens von wesentlicher Bedeutung. Beide Größen, die Summe der Anfangsverluste und das Speicherpotenzial des Bodens sind neben den klimatischen Vorbedingungen (Vorfeuchte) im Wesentlichen von der Pflanzenausstattung des Standortes abhängig.

Hier sind die entscheidenden Fragen, wie viel Wasser im Starkregenfall im System gebunden werden kann und wie schnell der Standort dieses Speicherpotenzial für ein neuerliches Niederschlagsereignis wieder zur Verfügung stellen kann? Wie rasch entsteht Oberflächenabfluss und wie viel Regenwasser gelangt in den unterirdischen Abfluss?

Abflussbeiwert

Unter dem Begriff Abflussbeiwert verstehen wir das Verhältnis Niederschlag zu Abfluss in einem Zeitintervall der Abflusskonstanz. Dieser Gleichgewichtszustand zwischen Infiltration und Abfluss ist in unterschiedlichem Maß von den Faktoren Vegetation und Boden geprägt. Die Vegetation als Ausdruck historischer wie aktueller Landnutzung kann die Infiltrationsleistung des unterliegenden Bodenkörpers gänzlich überprägen. Beispielsweise führen hydrophobe Effekte nach Austrocknung von Moderhumusaufgaben unter dichten Fichtenbeständen, dichter Wurzelfilz oder Strohdacheffekte der Totmasse von Borstgrasrasen zur Entstehung hoher Oberflächenabflüsse. Im Gegenzug fördert eine lockere hohe Durchwurzelung die Infiltration bis hin zum Makroporenfluss in abgestorbenen Wurzelkanälen. Der Bestand und seine Struktur nehmen also direkt oder indirekt - über seine Effekte auf den Boden - Einfluss auf den Oberflächenabfluss.

Aufbauend auf den Ergebnissen einer Vielzahl von Starkregensimulationen wurde in einer Kooperation vom Bundesforschungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) und Bayerischem Landesamt für Wasserwirtschaft (LfW) eine "Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes alpiner Boden-/Vegetationskomplexes bei konvektiven Starkregen" (MARKART et al. 2004) entworfen. Unter Verwendung dieser Anleitung sollte es möglich sein, die dominanten Boden-/Vegetationskomplexe der Ostalpen ab der montanen Stufe einer von 7 Abflussbeiwertklassen zuzuordnen. Die wichtigsten Kriterien dafür sind hydrologische Bodeneigenschaften, Bodenvegetation und aktuelle Bewirtschaftung.

Unter dem Link <http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=4343> ist die Geländeanleitung vom Netz ladbar. Für das gegenständliche Projekt erfolgte die Abschätzung der aktuellen Abflussbeiwertklassen nach obigem System anhand einer Kartierung des gesamten Einzugsgebietes im Maßstab 1:5.000.

Oberflächenrauigkeit

Eine oft deutlich unterbewertete Rolle im Bezug auf den Einfluss der Vegetation auf die Abflussbildung spielt die Rauigkeit der Oberfläche. Die Geschwindigkeit des Abflusses trägt maßgeblich zur Ausprägung der Abflussganglinie eines Hochwassers bei. Raue Oberflächen dämpfen die Hochwasserwelle, je länger das Wasser im Bestand verbleibt, desto positiver ist seine hydrologische Wirkung.

Unterschiedliche Rauigkeiten und damit Fließgeschwindigkeiten wurden während Starkregensimulationen über Salz- und Farbracerexperimente gemessen. Ähnlich der Geländeanleitung zur Abflussbeiwertschätzung wurde ein Schema zur Klassifizierung der Rauigkeit nach Art und Qualität des Bewuchses entworfen (MARKART et al. 2004).

Die Kartierung im Einzugsgebiet erfolgte auch für die aktuelle Rauigkeitsklasse entsprechend der Geländeanleitung nach obigem System.

Kriterien für die Bewertung des Wasserhaushalts von Waldtypen

Bodeneigenschaften und vegetationsökologische Parameter wurden als Kriterien für die Bewertung des Wasserhaushalts der 27 Waldtypen im Testgebiet Enterbach herangezogen (siehe Tabellen 1 und 2).

Initialabstraktion, Wasserspeicherung

Die Bewertung der Wasserspeicherung orientiert sich an der nutzbaren Wasserspeicherkapazität bzw. der Feldkapazität (nWSK) und dem Welkepunkt. Die Einstufung erfolgte anhand von Wasserspannungskurven (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1982) als verfügbares Haftwasser (Werte zwischen Feldkapazität und Welkepunkt). Das aktuelle *Speichervermögen* eines Bodens ist stark von den Feuchtebedingungen zu Beginn des Niederschlagsereignisses abhängig. Da der Bereich der Feinporen im humiden Klimabereich nur sehr selten entleert wird, kann jedoch bereits das Volumen der Mittelporen (bzw. Grobporen >10 Mikrometer) als maximal speicherbare Niederschlagsmenge angesehen werden. Als Kriterien für die Einteilung wurden Entwicklungstiefe (Gründigkeit), Skelettgehalt, Bodenart und Gehalt an organischer Substanz (gutachterlich, Erfahrungswerte und Aufnahmematerial) verwendet und wie folgt kalkuliert:

Nutzbare Wasserspeicherkapazität nWSK = (Gründigkeit * verbleibender Feinboden [100 – mittlerer Skelettanteil %] * mittleres Volumsprozent verfügbares Haftwasser) * 0,1.

Die Berechnung (379 Standortaufnahmen) ergibt einen numerischen Richtwert, der stark vereinfacht einem mittleren Wasseraufnahmevermögen entspricht. Zur Darstellung erfolgte die Einteilung in 5 grobe Klassen (siehe Tabelle 1). Die unterschiedliche Speicherfähigkeit des humosen Mineralbodens blieb dabei unberücksichtigt, ebenso die Wasserspeicherung im Auflagehumus. Diese wirkt sich vor allem bei Standorten mit mächtigen Humusaufgaben (Rohhumus, Tangel, Kalkmoder und organischen Böden) entscheidend auf die Wasserspeicherung aus und wurde getrennt berücksichtigt. Eine Absicherung der Einschätzung der Wasserspeicherung erfolgt durch Vergleich der Waldtypen untereinander. Mit Ausnahme weniger Standorte in Gewinnlagen bzw. Vernässungsstandorten werden die Kategorien „gering“ bis „mittel“ vergeben.

Tab. 1: Legende der Bodeneigenschaften (*nach OTT et al., 1997).

Tab. 1: Legend of soil properties

Gründigkeit					
cm	0 - 15	15 - 30	30 - 60	60 - 120	120 -
Beschreibung	sehr flach	flach	mittel	tief	sehr tief
Skelettgehalt					
%	100 - 80	80 - 40	40 - 20	20 - 10	10 - 0
Beschreibung	überwiegend	s. hoch	hoch	mäßig	gering
Bodenart					
Schwereklassen	1 (S, uS)	2 (U, IS, sU)	3 (IU, sL, tS)	4 (L, sT, uL)	5 (T, IT)
Beschreibung	sehr leicht	leicht	mittel	schwer	sehr schwer
Wasserspeicherung (aus Gründigkeit, Skelettgehalt und Bodenart abgeleitet)					
nWSK [mm]	0-20	20-60	60-100	100-300	300-600
Beschreibung	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Versickerung / Durchlässigkeit (aus Skelettgehalt und Bodenart abgeleitet)					
Klasse	5	4	3	2	1
Beschreibung	sehr hoch	hoch	mittel	gering	sehr gering
Durchlässigkeit *	übermäßig	normal	leicht gehemmt	stark gehemmt	undurchlässig

Abflussbeiwert

Die Darstellung der Bodeneigenschaften beim jeweiligen Waldtyp bezieht sich primär auf die vegetations- und bodenökologisch relevanten Größen Gründigkeit, Skelettgehalt und Bodenart. Zur Abschätzung des Abflussbeiwertes wurde insbesondere die Versickerung

(„Durchlässigkeit“ nach FREHNER et al. 2005) herangezogen. Von besonderer Bedeutung für die Beurteilung der Durchlässigkeit ist die *Luftkapazität* (Luftgehalt bei Wassergehalt der Feldkapazität; entspricht dem Volumen der nicht wasserhaltenden Grob- und Größtporen) welche in hohem Maße von Bodenart und Skeletgehalt beeinflusst wird.

Die Klassifizierung der Durchlässigkeit erfolge entsprechend anhand einer Kombination der am häufigsten vorkommenden Schwereklasse bzw. Bodenart für den jeweiligen Waldtyp mit der am häufigsten vorkommenden Skelettklassensklasse (Skelett >2mm; Berechnung ohne Felsanteil). Der mittlere Felsanteil des Standortes (100 % Abfluss) wird beim Abflussverhalten (genauso vegetationsloser Boden) gesondert berücksichtigt. Die Abstimmung mit vergleichbaren Waldstandorten von OTT et al. (1997) und FREHNER et al. (2005) ist möglich, zeigt aber manchmal unterschiedliche Einschätzungen. Versickerung „mittel“ in der Darstellung entspricht der Durchlässigkeit „leicht gehemmt“ (bis „normal“) bei OTT et al. (1997). Neben der Durchlässigkeit wurde für die Beurteilung des potentiellen Abflussbeiwertes das Kriterium *Bodenvegetation* verglichen. Es wurden die mittleren Deckungsgrade in Prozent der im Gelände angesprochenen Vegetationsschichten berechnet. Unter 70 % Deckungsgrad besteht nach FREHNER et al. (2005) ein erhöhtes Abfluss- und Erosionspotenzial. Durch die Zusammenführung der Wasserhaushalts- und Vegetations-Kenngrößen wurde der abflussbeiwert gutachterlich in Bezug zur Geländeanleitung nach MARKART et al. (2004) erschlossen.

Oberflächenrauigkeit

Ergänzend zur Beurteilung nach Erfahrungswerten und Berechnungsversuchen (siehe MARKART et al. 2004) wurden Mittelwerte für die Deckungen der Vegetationsschichten (Moos- und Flechtenschicht, Farn-, Kraut-, Gras- und Zwergstrauchschicht) eines jeden Waldtyps errechnet und als Kriterien für die Beurteilung der potentiellen Rauheit der Bodenoberfläche verwendet.

ERGEBNISSE

Den 27 im Einzugsgebiet vorkommenden Waldtypen wurde jeweils die Abflussbeiwertklasse (**AKLpot**) und die Rauigkeitsklasse (**RKLpot**) zugewiesen (vgl. Tabelle 2). Die Einstufung geht von einem Idealzustand eines ungleichaltrigen Dauerwaldes mit lockerem Bestandesschluß (Kronenschlußgrad 0,6-0,8 bei Fi-, Fi-Ta-, Fi-Ta-Bu- und Lh-Wäldern und 0,4-0,6 bei (Ei-)Ki-, Lä- und Zirbenwäldern), gut entwickelter und natürlicher Bodenvegetation, ausreichender Verjüngung aller Hauptbaumarten, vertikal und/oder horizontal strukturierten Beständen aus den Hauptbaumarten in den geforderten Anteilen der Potentiell Natürlichen Waldgesellschaft (PNWG) aus.

Die Klassifizierung von AKLpot und RKLpot wurde vorab anhand der Typus-Beschreibungen der Waldstratifizierung durchgeführt und in einer Diskussionsrunde mit den Boden- und Vegetationsauswertungen abgeglichen. Bei zwei Typen ergaben sich aufgrund des breiten Standortsspektrums Probleme: Der Warme Silikat-Fichten-Tannenwald (FT 11) kommt nicht nur auf gemäßigten Sonnseiten, sondern auch in der unteren Hochmontanstufe (mittelmontan) an extrem steilen, trockeneren und felsigen Hängen vor, welche einen höheren Abflussbeiwert hätte. (ähnlich FT 12), wurde aber vorerst nicht geteilt. Der Arme Silikat-Kiefern-Eichenmischwald Ei 7 (und eingeschränkt auch der Frische Silikat-Linden-Eschen-Stieleichenwald) kommt zwar meist auf sandig-kiesigen Terrassensedimenten vor, kann aber auch in einer nicht getrennt modellierten Ausbildung auf tonigem Substrat (Grundmoräne, Bänderton) vorkommen und wäre dann ebenfalls ungünstiger zu bewerten. Für alle aktuellen Waldflächen im Einzugsgebiet (Flächenkategorien Hochwald und Krummholz) wurde eine Karte der potenziellen Abflussbeiwertklassen erstellt. Nicht berücksichtigt werden konnten Flächen, die bei der Realraumanalyse Österreichs (SEGER

2001) und im Waldlayer der Österreichischen Karte 1:50.000 (ÖK 50) als Nichtwald aufscheinen (z.B. „Natürliche Rasen“, aktuell aber bereits wieder bestockte Schlagflächen oder Grünerlengebüsche).

Tab. 2: Vegetationsökologische Parameter für die Zuordnung von potenziellen AKL und RKL zu den Waldtypen.

Tab. 2: Vegetation ecological factors for classification of potential surface runoff (AKL) and potential surface roughness (RKL).

Code	WST	AKLpot	RKLpot	WSPP	Boden	KS ges	ZwSt	Gräser	Farne	HoSt	Moos	WHH	VS	ÜS	n
Bu11	ZB2Bti	0	2	4	76,4	21,6	0,8	7,0	3,2	2,3	2,0	4,0	2	8,8	5
Ei1	ZE2Qmi	0	3	4	28,8	61,3	0,0	17,7	2,8	2,0	10,0	4,0	2	7,8	4
E4	wE3Qbr	0	3	3	42,5	47,1	1,5	33,6	2,0	1,0	10,3	2,1	4	7,3	7
Ei7	dE1Qmy	0	3	4	46,3	29,2	12,0	12,0	1,0	0,0	24,5	2,7	4	7,8	6
Fs1	dS1Smy	0	6	4	0,0	68,3	41,0	18,1	6,8	10,0	45,0	4,3	4	6,1	39
Fs17	ZS2Sha	1	4	3	33,9	34,7	4,2	15,1	10,0	1,0	31,4	4,4	4	6,2	7
Fs2	wS1Sva	2	3	3	39,9	41,0	22,1	17,5	1,4	2,0	19,1	3,1	4	6,7	35
FT1	ZT2Tea	0	4	3	32,5	38,1	8,2	17,8	4,7	2,6	29,4	3,7	3	7,5	41
FT11	dT1Tms	1	4	3	44,3	18,9	16,9	5,8	2,5	1,0	36,9	2,9	4	7,2	16
FT2	dT1Tmy	0	5	3	0,0	52,4	41,6	9,2	2,2	3,0	58,5	3,6	3	7,4	17
FT9	ZT3Tgr	0	3	4	32,5	40,4	2,1	13,3	6,5	6,4	27,1	3,6	3	7,1	12
Ki15	WB1Kpf	0	5	2	15,0	30,0	20,0	6,0	1,0	0,0	50,0	1,1	4	5,0	1
Zi1	dP1Zrf	0	6	4	0,0	80,7	64,0	19,1	5,0	1,8	41,7	4,4	4	4,2	29
Z4	wP1Zlh	0	6	2	26,8	62,9	32,3	33,7	1,0	1,4	10,4	3,2	4	5,4	14
FT5	nT2Tdr	1	3	3	12,1	59,6	2,5	13,6	19,7	17,9	28,4	4,6	3	7,2	35
Lh3	RE2Eti	1	4	3	38,9	55,5	1,0	9,3	9,4	17,6	5,6	4,3	4	8,0	11
Fs10	LS2Sav	2	4	3	0,0	75,0	12,0	37,5	17,0	11,3	27,8	4,8	3	6,2	10
Fs3	DS1Scv	2	4	3	5,7	56,1	21,5	34,4	4,4	4,7	38,2	3,9	3	5,9	24
FT12	DT1Trf	2	6	3	23,8	43,3	18,7	21,3	5,1	2,0	32,9	3,7	4	6,7	19
La5	DP1Lev	2	4	3	0,0	71,7	37,2	34,4	5,6	1,3	37,8	4,2	4	4,8	9
La6	LP2Lav	2	3	3	0,0	88,9	20,3	45,9	18,6	16,8	18,5	4,9	3	4,4	11
Lh5	nE4Epa	2	4	3	9,0	74,2	0,0	2,2	23,3	26,3	16,8	4,8	3	8,0	6
Er2	AT2Aap	4	2	2	0,0	82,0	0,0	5,2	5,6	21,3	20,0	5,0	4	6,5	5
Er3	AE2Aai	4	2	2	0,0	91,7	0,0	15,0	1,0	10,0	18,3	5,7	4	8,0	3
Ge1	LP2Gav	4	4	2	0,0	85,0	17,3	35,0	14,5	27,5	35,0	5,0	4	6,8	4
Fs11	NS4Seq	5	5	1	0,0	69,2	15,5	33,3	14,5	5,7	33,3	6,0	1	6,2	6
Fi17	NT0Fsp	6	5	1	0,0	51,7	58,3	4,0	12,7	1,0	85,0	6,0	2	7,0	3

Abkürzungen:

Code...Waldtypencode Tirol; WST...Waldstratentyp (Codierung WLM); AKL...potentielle Abflussbeiwertklasse; RKL...potentielle Rauigkeitsklasse; WSPP...„Wasserspeicherpotenzial“ (Grobporenspeicher); Boden...Anteil vegetationsloser Boden (Baumschicht nicht berücksichtigt); KSGes...Krautschicht gesamt (Deckungs%); ZwSt...Zwergstrauchschicht (Deckungs%); Gräser...Grasschicht (Deckungs%); Farne...Farnschicht (Deckungs%); HoSt...Hochstaudenschicht (Deckungs%); Moos...Moos- und Flechtenschicht (Deckungs%); WHH...Wasserhaushalt gemittelt (Geländeansprachen des Gesamtwasserhaushalts = Geländewasserhaushalt und Klimafeuchte); VS...Versickerung (häufigster Wert, ohne Streuung; 5=sehr hoch, 1=sehr gering)); ÜS...Überschirmung Baumschicht gemittelt (Geländeansprachen in Zehntel); n...Anzahl der Aufnahmen für die Berechnungen

Schutzfunktionale Hinweiskarte Hochwasser mit Dringlichkeitsreihung

Als abschließender Schritt erfolgte der Verschnitt der potenziellen (vom Standort / Waldtyp abgeleiteten) mit den aktuellen (kartierten) Abflussbeiwertklassen, mit dem Ergebnis einer Dringlichkeitsreihung hinsichtlich Notwendigkeit, Wirksamkeit und Effizienz von Landnutzungs- bzw. – Waldbau-Maßnahmen zum Hochwasserrückhalt.

Erst dieser Verschnitt ermöglicht die Beurteilung der Chancen bzw. Notwendigkeiten von Nutzungs- und Bewirtschaftungsänderungen in Hinblick auf Hochwasserrückhaltung und somit eine Prioritätenreihung der Waldflächen für die Einleitung von Maßnahmen.

Durch Vergleich der Karte der aktuellen mit den potenziellen Abflussbeiwertklassen der natürlichen Waldtypen ergeben sich folgende Kombinationsmöglichkeiten für die „Schutzfunktionale Hinweiskarte Hochwasser mit Dringlichkeitsreihung“ (siehe Tabelle 3).

Tab. 3: Dringlichkeitsreihung (Priorität) durch Vergleich AKL aktuell und potenziell.

Tab. 3: List of main land use types (LN_Htyp ≡ hydrological response unit HRU) with surface ratio (hectare) for the land use scenarios 2005 and 1950 and change in percent.

Prior	Bezeichnung	Definition	Farbe
6	deutliche Verbesserung möglich	AKL pot. 0-1, akt. - pot. > 1	Rot
5	kritische Standorte, deutliche Verbesserung möglich	AKL pot. 2-3, akt. - pot. > 1	Orange
4	geringe Verbesserung möglich	AKL pot. 0-1, akt. - pot. = 1	Hellorange
3	kritische Standorte, geringe Verbesserung möglich	AKL pot. 2-3, akt. - pot. = 1	Gelb
2	kritische Standorte, keine Verbesserung möglich	AKL pot. 2-3, akt. = pot.	Grau
1	Problemstandorte, keine Verbesserung möglich	AKL pot. >3	Dunkelgrau
0	Optimalzustand	AKL pot. 0-1, akt. = pot.	Dunkelgrün

Legende zur Dringlichkeitsreihung (Priorität):

6: Flächen mit hohem Verbesserungspotenzial: In Flächen, die aktuell im Starkregenfall hohe Mengen an Oberflächenabfluss liefern, potenziell (naturnaher Zustand) jedoch ein sehr hohes Aufnahmepotenzial hätten, besteht die größte Chance, eine deutliche Verbesserung durch waldbauliche Maßnahmen zu erreichen, da sich das Waldökosystem von selbst in die gewünschte Richtung entwickeln würde (Probleme: Waldweide, Wildstände, Einbringung der Tanne etc.). Hier kann mit dem geringsten Aufwand der größte Nutzen erzielt werden.

5-4: Flächen mit unterschiedlichem Verbesserungspotenzial: Wie bei Priorität 6 ist an diesen Flächen mit relativem geringem Aufwand eine Verbesserung der hydrologischen Eigenschaften zu erzielen.

3: kritische Standorte mit geringem Verbesserungspotenzial: In Flächen, die aktuell und potenziell hohen Oberflächenabfluss erwarten lassen, müssen Ziele definiert werden, die unter Umständen vom naturnahen Zustand abweichen, oder technische Maßnahmen ergriffen werden. In diesen Flächen ist die Chance zu Verbesserungen durch waldbauliche Maßnahmen gering bzw. der Aufwand groß, da sich das Waldökosystem von selbst in eine unerwünschte Richtung entwickelt. Prioritäten richten sich nach der Spannweite der potentiellen Abflussreduktion.

2: kritische Standorte: Bereiche, die aktuell wie potenziell ähnlich hohen Oberflächenabfluss erwarten lassen (Vergrasung etc.), müssen sorgfältig bewirtschaftet werden. Es ist keine Verbesserung möglich, die Gefahr für Verschlechterungen (etwa durch Waldweide) jedoch groß.

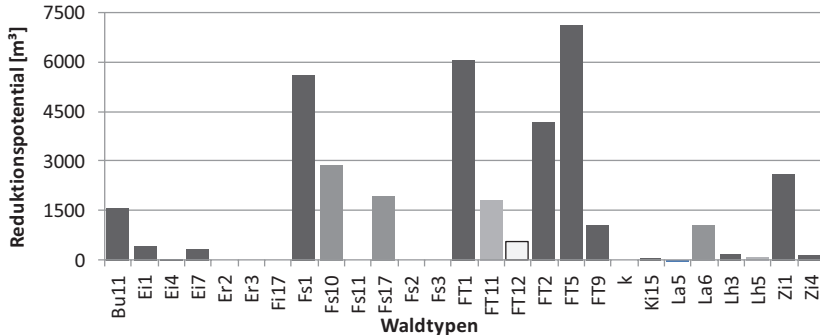
1: Problemstandorte, keine Verbesserung möglich: Sonderstandorte, die aktuell und potenziell im Starkregenfall sehr hohe Abflussspenden aufweisen (z.B. Moor-/Auwälder, Grünerlen), können durch waldbauliche Maßnahmen nicht wesentlich verbessert werden. Verbesserungen könnten nur durch technische Maßnahmen (od. ev. extrem aufwändige Aufforstungen) erzielt werden.

0: Optimalzustand: Bereiche, die aktuell und potentiell geringe Gefährdungen bezüglich Oberflächenabfluss aufweisen, sind als unproblematisch einzustufen. Es sind keine Eingriffe erforderlich.

HYDROLOGISCHE AUSWIRKUNGEN EINER SCHUTZFUNKTIONALEN WALDBEWIRTSCHAFTUNG

Um den Einfluss einer schutzfunktionalen Waldbewirtschaftung aus hydrologischer Sicht auch quantitativ zu veranschaulichen wurde die Abflussreaktion der im Einzugsgebiet Enterbach vorkommenden Waldtypen für ein extremes Starkregenereignis simuliert und flächig quantifiziert (siehe Abbildung 1). Entsprechend der in Tabelle 3 dargestellten Dringlichkeitsreihung können jene Waldtypen mit dem, qualitativ wie quantitativ, größten Verbesserungspotential lokalisiert werden. Für drei Waldtypen wurde in den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 2 bis 4) beispielhaft die Abflusskurve wiedergegeben. Die potenzielle Abflussreaktion ist durch unterbrochene Linien markiert, die mittlere aktuelle Abflussganglinie durchgezogen dargestellt. In der Modellrechnung wurden je 1 ha Bestand

mit einer Hanglänge von 200m und einer, dem jeweiligen Waldtyp entsprechenden, mittleren Hangneigung einem einstündigen Blockniederschlag mit einer Intensität von 100 mm/h ausgesetzt. Jeder Waldtyp wurde einerseits unter Verwendung der ihm zugemessenen potenziellen hydrologischen Eigenschaften (AKLpot und RKLpot) und andererseits mit den Durchschnittswerten der aktuellen Kartierung der entsprechenden Werte der jeweiligen Waldtypen berechnet.



	Fläche	Abfluss akt. [m³,%]	Abfluss pot. [m³,%]	Differenz [m³,%]
Wald	496,2	66.000	19%	28.000
Nichtwald	769,5	289.000	81%	289.000
Gesamt	1274,0	355.000	100%	317.000

Abb. 1: Flächenbilanz, Abflussfracht und Reduktionspotential der Waldtypen im Einzugsgebiet Enterbach
Fig. 1: Area, discharge and reduction potential of forest types at the test site Enterbach / Tyrol; rain: 100mm*h⁻¹

Dem „Reichen Silikat-Fichten-Tannenwald“ (im Enterbach ca. 36 ha), der an seinem typischen Standort in schattseitigen, luftfeuchten Unterhang- und Grabenlagen der hochmontanen Stufe vorkommt, kann als Potenzial ein Abflussbeiwert von 0-10 Prozent (AKLpot 1) zugewiesen werden.

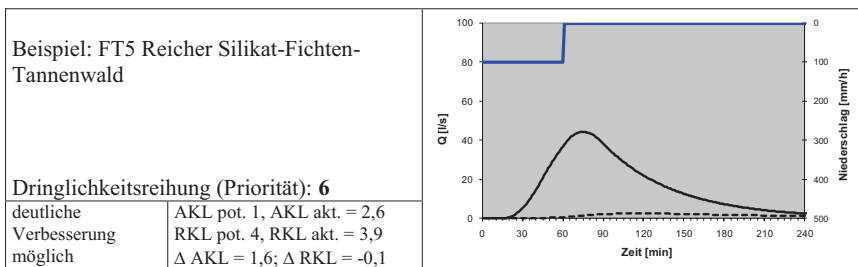


Abb. 2: Abflussganglinien Simulation FT5: aktuell (—) / potenziell (---); Fläche: 1 ha; NS100 mm, 1h
Fig. 2: Simulation hydrographs forest type FT5: current (—) / potential (---); area: 1 ha; rain: 100mm*h⁻¹

Die errechneten aktuellen Werte dieses Waldtyps liegen im Durchschnitt bei 2,6. Die aktuelle Rauigkeitsklasse entspricht ungefähr dem Potenzialwert. Ein extremer Gewitterregen (100 l/m² in einer Stunde) würde auf einem Hektar dieses Waldtyps aktuell mit einer Spitze von ca.

40 l/s ein kleineres Gerinne füllen. Das ausgeprägte Kleingerinnenetz im Bereich dieses Waldtyps untermauert diese Rechenergebnisse. Könnten im Zuge einer schutzfunktionalen Waldbewirtschaftung diese Bestände ihrem hydrologischen Potenzial zugeführt werden, würde der Oberflächenabfluss dieser Bereiche deutlich reduziert. In diesen Beständen besteht die größte Chance, eine deutliche Verbesserung durch waldbauliche Maßnahmen zu erreichen, da sich das Waldökosystem von selbst in die gewünschte Richtung entwickeln würde. Hier kann mit dem geringsten Aufwand der größte Nutzen erzielt werden.

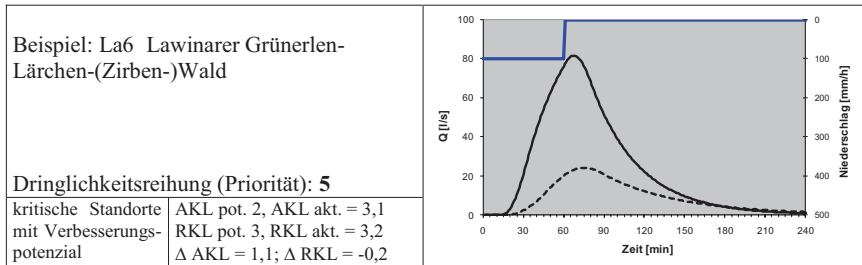


Abb. 3: Abflussganglinien Simulation La6: aktuell (—) / potenziell (----); Fläche: 1 ha; NS100 mm, 1h
Fig. 3: Simulation hydrographs forest type La6: current (—) / potential (----); area: 1 ha; rain: 100mm*h⁻¹

Der „Lawinare Grünerlen-Lärchen-(Zirben-)Wald“ (im Einzugsgebiet mit nur 5 ha vertreten) ist als azonale Lärchenwaldgesellschaft an rutschgefährdeten, fast immer lawinar beeinflussten Einhängen anzutreffen. Aus Sicht einer schutzfunktionalen Waldbewirtschaftung sind diese Standorte als kritische Standorte mit Verbesserungspotenzial zu bewerten. Ihr aktuell schlechter Abflussbeiwert von durchschnittlich 43 % (AKL 3,1) wäre deutlich reduzierbar, jedoch auf Grund der Standorteigenschaften nicht zur Gänze. Dieser Waldtyp gehört zudem zu jenen Standorten, welche bei ungünstiger Bewirtschaftung (z.B. Waldweide) sehr rasch zur Verschlechterung ihrer hydrologischen Eigenschaften neigen.

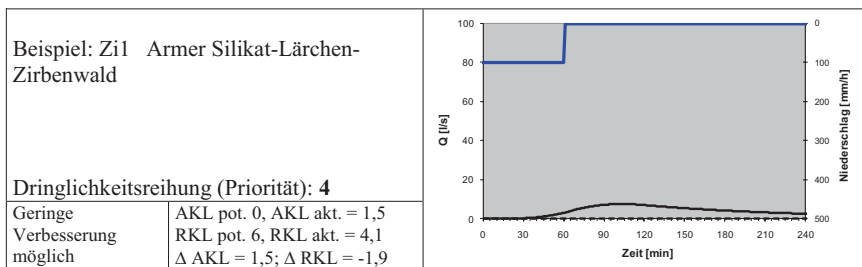


Abb. 4: Abflussganglinien Simulation Zi1: aktuell (—) / potenziell (----); Fläche: 1 ha; NS100 mm, 1h
Fig. 4: Simulation hydrographs forest type Zi1: current (—) / potential (----); area: 1 ha; rain: 100mm*h⁻¹

Die Standorte des „Armen Silikat-Lärchen-Zirbenwaldes“ sind im Untersuchungsgebiet (potenziell 36 ha) in der Priorität, also der Dringlichkeitsreihung der schutzfunktionalen Waldbewirtschaftung über mehrere Kategorien verteilt. Da dieser Waldtyp in seiner optimalen Ausprägung potenziell keinen Oberflächenabfluss entstehen lässt, wäre er aus hydrologischer Sicht sehr wertvoll. Jene zahlreichen Flächen wo aktuell dieser Waldtyp durch Weideflächen ersetzt ist wären Standorte mit einem deutlichen Verbesserungspotenzial

(Priorität 6). Auf den aktuell bestockten Flächen ist jedoch zumeist nur eine geringe bis keine Verbesserung möglich, da diese Flächen bereits aktuell nur geringe Oberflächenabflussbeiwerte aufweisen oder aus hydrologischer Sicht bereits einen „Optimalzustand“ aufweisen.

ABSCHLIESSENDE BEWERTUNG

Die Wälder tragen im Einzugsgebiet Enterbach 1/5 zum Oberflächenabfluss bei. Bei schutzfunktional idealer Waldbehandlung und -ausstattung könnte der Gesamtabfluss eines gedachten Starkregens von 100 mm/h im Wald um 58% minimiert werden (vergleiche Abbildung 1). Für das gesamte Einzugsgebiet, das zu 40% bewaldet ist, würde dies noch eine Abflussminderung von 11% bewirken. Die Eingriffsmöglichkeiten im Gebiet erscheinen zunächst von geringer Größe. Doch auch 10% mehr Spielraum können bei gewissen Hochwasserereignissen entscheidend sein. Es erscheint deshalb sinnvoll, abflussmindernde Maßnahmen im Zuge einer schutzfunktionalen Waldbewirtschaftung durchzuführen, da damit kein unvertretbarer Mehraufwand verbunden ist.

Eine Steuerung des Abflussgeschehens durch eine naturnahe Waldausstattung ist grundsätzlich möglich. Der Beitrag wird umso größer, je höher die Bewaldung in einem Einzugsgebiet ist und je weniger kritische Waldstandorte in Bezug auf Abfluss vorkommen und je günstiger das Abflussgeschehen im Wald durch waldbauliche Maßnahmen und Nutzungsregelungen unterstützt wird.

LITERATUR

- Beschta R., Pyles M., Skaugset A., Surfleet C. (2000): „Peakflow responses to forest practices in the wetsern cascades of Oregon, USA.“ *Journal of Hydrology* 233; 102-120.
- Frehner M., Wasser B. und Schwitler R. (2005): „Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion.“, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 564.
- Göttle A. (2006): „Was erwartet die Wasserwirtschaft von der Forstwirtschaft hinsichtlich der Hochwasservorsorge?“ LWF-Wissen Nr. 55, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising 2006, 24-28.
- Hotter, M., Plettenbacher T., Aschaber R. und Klosterhuber R. (2006): „Waldtypisierung und Waldstratifizierung Tirol für das Wuchsgebiet 1.2. Subkontinentale Innenalpen – Westteil, Areal 2 und Wuchsgebiet 2.1: Nördliche Zwischenalpen – westteil: Salzstrasse – Oberinntal.“ Im Auftrag der Landesforstdirektion Tirol.
- Kohl B., Klebinder K., Markart G., Perzl F., Pirkel H., Riedl F., Stepanek L. (2008): „Analyse und Modellierung der Waldwirkung auf das Hochwasserereignis im Paznauntal vom August 2005.“ *Interprevaent 2008 – Dornbirn* (eingereicht).
- Kohl B., Kohl K. und Markart G., (2006): nab - Naturpotentiale alpiner Berggebiete Modul 1 Naturgefahrenbewertung, Evaluierung ETAlp (Erosion, Transport in Alpiner Systemen). *Endbericht Übersichtsebene – Regionalstudie, Themenkomplex Boden, Vegetation und Landnutzung.* BFW, Innsbruck
- Markart G., Kohl B., Sotier B., Schauer T., Bunza G. und Stern R. (2004): „Provisorische Geländeanleitung zur Abschätzung des Oberflächenabflussbeiwertes auf alpinen Boden-/Vegetationseinheiten bei konvektiven Starkregen (Version 1.0).“ BFW-Dokumentation. 3: 83.
- Nittel P., Frank S., Jacobs S., Piccolruaz C., Krainer K. und Poscher G. (2005): „Geologische Karte Projekt Salzstraße. Unveröffentlichte Karte mit 6 Teilberichten. Im Auftrag der Tiroler Landesregierung und der Wildbach- und Lawinenverbauung, Innsbruck.
- Ott E., Frehner M., Frey H.U., Lüscher P. (1997): „Gebirgsnadelwälder: praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung.“ Verlag Paul Haupt, Bern-Stuttgart-Wien.
- Scheffer F. und Schachtschabel P. (1982): „Lehrbuch der Bodenkunde.“ Stuttgart. 11. Auflage.
- Seger, M. (2001): „Rauminformationssystem Österreich - ein digitaler thematischer Datensatz des Staatsgebietes.“ *VGI: Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation*; 89/2; S.101-110.
- Hegg C. (2006): „Waldwirkung auf Hochwasser.“ LWF-Wissen Nr. 55, Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF), Freising 2006, 29-33.

SIMULATION VON GEFAHRENHINWEISFLÄCHEN ALS GRUNDLAGE ZUR SCHUTZWALDAUSSCHIEDUNG IN DER SCHWEIZ

SIMULATION OF POTENTIAL HAZARD AREAS TO DETERMINE PROTECTION FOREST IN SWITZERLAND

Serena Liener¹, Robert Pfeifer², Marzio Giamboni³

ZUSAMMENFASSUNG

Viele Bergwälder stellen für Menschen und Siedlungen einen wirksamen Schutz vor Naturgefahren dar. Mit dem Ziel, eine optimale Schutzwirkung aufrecht zu erhalten, werden die Schutzwälder meist durch die öffentliche Hand subventioniert. Um einen effizienten Einsatz der Geldmittel zu ermöglichen ist es zunächst notwendig, eine landesweit vergleichbare Definition der Schutzwaldflächen zu haben. Hierzu hat das Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention das Projekt SilvaProtect-CH initiiert. Das Projekt hat zwei Hauptziele. Einerseits soll ein landesweit gültiger, objektiver Verteilschlüssel für die Subventionsgelder erarbeitet und andererseits Grundlagen für eine standardisierte, nachhaltige Ausscheidung der Schutzwaldflächen bereitgestellt werden. SilvaProtect-CH besteht aus fünf Modulen. Im Modul EVENT werden die Naturgefahren mit verschiedenen Simulationsmodellen landesweit modelliert. Dieses Paper beschreibt die Ausscheidung der Prozessräume Stein-/Blockschlag, Hangmure / spontane Rutschung sowie Murgang sowie die Vorarbeiten zur Schutzwaldausscheidung.

Keywords: Simulationsmodell, Schutzwald, Gefahrenhinweiskarte, Steinschlag, Hangmuren, Murgang

ABSTRACT

Many mountain forests effectively protect people and assets against natural hazards. In order to provide a most favorable protective effect, these forests are mostly managed by means of public funds. For an efficient application of these funds, the spatial definition of protective forests first needs to be comparable on a national level. For this purpose, the Federal Office for the Environment FOEN launched the project SilvaProtect-CH. The project has two major aims, namely (i) to provide an objective nationwide distribution frame for the distribution of

1 Geo7 AG, Geowissenschaftliches Büro, Neufeldstrasse 5, CH-3012 Bern, Switzerland,
email: serena.liener@geo7.ch

2 Geotest AG, Birkenstrasse 15, CH-3052 Zollikofen, Switzerland,
email: robert.pfeifer@geotest.ch

3 Federal Office for the Environment FOEN, Hazard Prevention Division, CH-3003 Berne,
email: marzio.giamboni@bafu.admin.ch

public funds and (ii) to supply basics for a standardized segregation of protective forests in the long-term. SilvaProtect-CH is organized in five modules. In the EVENT module, different natural hazards such as snow avalanches, rockfall, shallow landslides and debris flow were modeled nationwide, using different simulation models. The following paper describes how the potential hazard areas for rockfall, shallow landslides and debris flows have been assessed and how they are prepared for the intersection with the damage potential.

Keywords: Simulation model, protection forest, hazard index map, rockfall, shallow landslide, debris flow

AUSGANGSLAGE

Die bis heute vorliegenden kantonalen Schutzwaldausscheidungen zeigen ein weites Spektrum der angewandten Verfahren mit kantonal stark unterschiedlichen Schutzwaldperimetern. Zusammen mit den Kantonen wurde deshalb beschlossen, dass der Bund Grundlagen für die Vereinheitlichung der kantonalen Schutzwaldausscheidung ausarbeiten soll. Die Verteilung der Subventionen für die Schutzwaldpflege soll auf objektiven Kriterien basieren, u.a. auf dem Schutzwaldindex (schadenrelevante Prozessflächen im Wald).

DAS PROJEKT SILVAPROTECT-CH

Das Gesamtprojekt für die Schutzwaldhinweiskarte der Schweiz trägt die Bezeichnung SilvaProtect-CH und ist in 5 Teilmodule (SILVA, DAMAGE, EVENT, INTERSECT, SYNTHESE) unterteilt. Die Bearbeitung des Moduls EVENT beinhaltet die Modellierung der Prozessräume und ist die zentrale Basis für die Bestimmung des Schutzwaldindex. Dieses Paper beschreibt das Vorgehen und die Resultate des Moduls EVENT, in welchem u.a. die Prozesse Stein-/Blockschlag, Hangmure/Rutschung sowie Murgang bearbeitet wurden. Im Rahmen des Projekts SilvaProtect-CH wurden alle Prozessräume nicht als Flächen, sondern in Form der modellierten Prozessstrajektorien abgelegt. Der Verschnitt (im Modul INTERSECT) der Prozessstrajektorien mit dem Schadenpotenzial (Aufbereitung im Modul DAMAGE), ergibt die schadenrelevanten Trajektorien, aus welchen wiederum die schadenrelevanten Waldflächen (Aufbereitung Wald im Modul SILVA) bestimmt werden können. Der modulare Aufbau von SilvaProtect-CH mit definierten Modul-Schnittstellen ermöglicht sowohl die schnelle Neuberechnung der Schutzwaldindizes nach allfälligen Änderungen in den Teilmodulen (v.a. Waldflächen, Schadenpotenziale) als auch effiziente Szenarienstudien.

VORGEHEN

Die für SilvaProtect-CH eingesetzten Simulationsmodelle sind bewährte 3D-Modelle, welche von den bearbeitenden Büros seit Jahren in verschiedenen Projekten eingesetzt wurden: Nebst detaillierten Gefahrenstudien zur Hauptsache für die Erarbeitung der kantonalen Gefahrenhinweiskarten im Massstab 1:25'000 (teilweise mit Ausscheidung von Schutzwald). So z.B. für die Gefahrenhinweiskarten der Kantone Bern, Luzern, Solothurn, Zug, Basel- Landschaft und Aargau.

Nach Prozessen gegliedert wurden folgende Modelle eingesetzt:

- **Stein-/Blockschlag:** Die Trajektorien sind mit dem 3D-Steinschlagmodell Geotest+Zinggeler (Liniger 2000) berechnet. Innerhalb der definierten Ausbruchzonen werden Startpunkte mit einem gegenseitigen Abstand von 20m generiert. Ausgehend von diesen Punkten wird der Sturz eines Blockes als Abfolge von Kontaktreaktionen des Blockes mit dem Untergrund, Flugparabeln sowie von Rollprozessen modelliert.
- **Hangmuren/Rutschungen:** Die Modellierung des Prozesses Hangmure ist zweiteilig. Zuerst werden mit dem Modell SliDisp (Liener 2000) die Anrissflächen modelliert. Anschliessend werden mit dem Modell SlideSim die Transit- und Auslaufbereiche berechnet.
- **Murgang:** Die Murgang-Trajektorien wurden mit dem Programmpaket MGSIM/dfwalk simuliert (Gamma 2000), welches in einem ersten Schritt die Murganganrissgebiete bestimmt ausgehend von den Anrissen werden anschliessend die Reichweiten und die Ausbreitung modelliert.

Damit die Modellierungsergebnisse für die ganze Schweiz vergleichbar sind, wurden als Modell-Input ausschliesslich schweizweit verfügbare, einheitliche digitale Datengrundlagen verwendet. Die wichtigste digitale Grundlage bildet das Höhenmodell DHM25/10. Für das DHM25/10 wurde die Höheninformation der Schweizer Landeskarte 1:25'000, LK25 (Hauptbruchkanten, Höhenkurven sowie in einem 25m-Raster angeordnete Höhenpunkte) zu einem 10m-Grid verrechnet.

Für die Hangmuren/ Rutschungen sowie die Murgänge bildet der geologische Untergrund eine zentrale Inputgrösse. Hierzu wurde, mangels detaillierter Alternativen (Geologische Atlasblätter 1:25'000 sind nicht flächendeckend und zudem nur wenige Blätter digital vorhanden), die neue Geotechnische Karte der Schweiz 1:200'000 der Schweizerischen Geotechnischen Kommission SGTK verwendet. Die Modelle wurden zuerst in ausgewählten Testgebieten mit den teilweise generalisierten Inputdaten angewandt und anschliessend aufgrund der Resultate mit angepassten Modellparametern die ganze Schweiz bearbeitet.

RESULTIERENDE PROZESSTRAJEKTORIEN

Prozess Steinschlag

In Abb. 1 sind die Steinschlagtrajektorien im Pilotgebiet im Raum Thunersee dargestellt. Die Umhüllende aller Trajektorien bildet den möglichen Prozessraum Stein-/Blockschlag ab. Qualitativ gute Modellierungsergebnisse können dann erzielt werden, wenn einerseits die potenziellen Ausbruchzonen genau erfasst werden und andererseits die Geländeparameter (Dämpfung Untergrund, Geländerauhigkeit) differenziert kartiert werden.

Für SilvaProtect-CH sind die Ausbruchzonen mit der Verwendung der 'Felsmasken' (Abmaskierung des Reliefons über der Felszeichnung auf der LK25) und einem gegenseitigen Abstand der Startpunkte von 20m gut abgebildet. Für die Geländeparameter werden jedoch (analog den kantonalen Hinweiskarten) lediglich standardisierte, eher pessimistische Modellparameter eingesetzt. Dadurch zeigen die ermittelten Prozessräume, welche Gebiete bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnten.

Die modellierten Trajektorien können zudem kleinräumige Situationen bezüglich der Topographie (DHM) nicht abbilden. Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden grössere Geländeschüttungen (Schutzdämme), welche sich morphologisch im DHM25/10 abzeichnen.

Die Daten sollten deshalb auf Stufe Gefahrenhinweis verwendet werden, was einem Arbeitsbereich bis zum Massstab 1:25'000 entspricht.

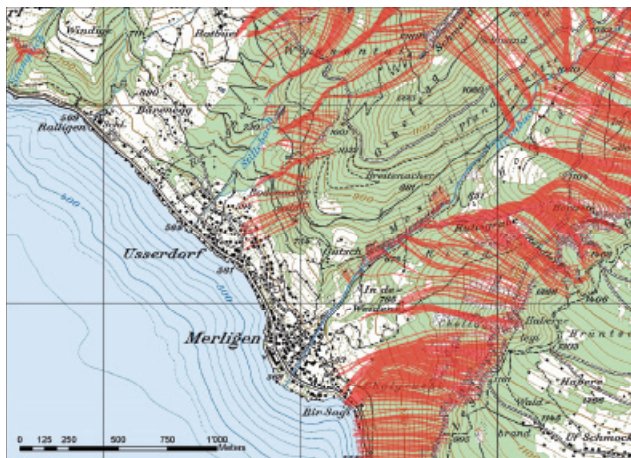


Abb. 1: Steinschlagtrajektorien (rot) im Pilotgebiet (Beispiel Merligen am Thunersee)

Fig. 1: rockfalltrajectories (red) in the testarea (lake of Thun)

Prozess Hangmuren

In Abb. 2 sind die Hangmurentrajektorien im Pilotgebiet im Raum Thunersee dargestellt. Die Hangmurentrajektorien bilden in ihrer Gesamtheit den möglichen Prozessraum Hangmuren ab.



Abb. 2: Hangmurentrajektorien (braun) im Pilotgebiet (Beispiel Merligen am Thunersee)

Fig. 2: trajectories of shallow landslides (brown) in the testarea (lake of Thun)

Die Teilprozesse, welche zur Auslösung einer spontanen Rutschung oder einer Hangmure führen sind einerseits komplex und andererseits ist die räumliche Variabilität der zugrunde liegenden Einflussfaktoren sehr hoch: So kann z.B. der Aufbau und die Mächtigkeit des Lo-

ckermaterials lokal recht stark variieren. Bei der Kohäsion des Lockermaterials kommt eine hohe zeitliche Variabilität hinzu.

Die schweizweit verfügbaren einheitlichen Datengrundlagen zeigen massstabsbedingt eine starke Generalisierung und können daher dieser Variabilität nicht genügend Rechnung tragen.

Für SilvaProtect-CH müssen somit räumlich wenig differenzierte, standardisierte Modellparameter eingesetzt. Die modellierten Trajektorien können deshalb kleinräumige Situationen bezüglich Geologie und Hydrologie sowie auch Topographie (DHM) nicht abbilden.

Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden grössere Geländeschüttungen, wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme, Ufermauern und ähnliche, welche sich morphologisch im DHM25/10 abzeichnen.

Die Modellierung der Hangmuren ergibt generell ein sehr pessimistisches Bild bei ungünstigen Voraussetzungen. Effektive Hangmurenereignisse betreffen nur einen geringen Flächenanteil der modellierten Prozessfläche. Zudem können die Auslaufzonen bei Hangmuren und insbesondere bei spontanen Lockermaterialrutschungen oft kürzer sein als die modellierten Trajektorien.

Die Daten genügen deshalb lediglich einer generalisierten Gefahrenhinweisstufe, was einem Arbeitsbereich bis zum Massstab 1:50'000 entspricht.

Prozess Murgang

In Abb. 3 sind die Murgangtrajektorien im Pilotgebiet im Raum Thunersee dargestellt. Die Murgangtrajektorien bilden in ihrer Gesamtheit den möglichen Prozessraum Murgang ab.

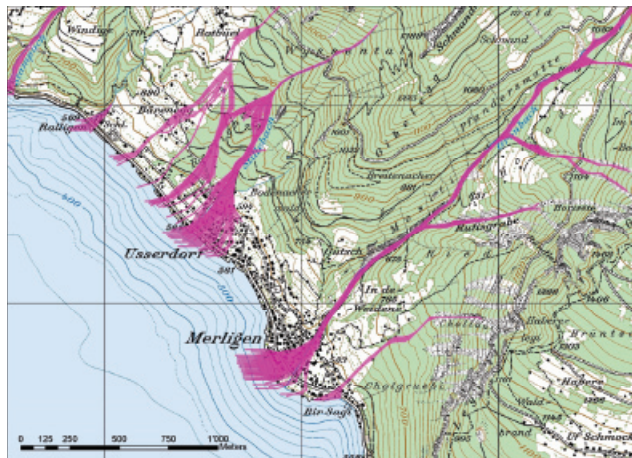


Abb. 3: Murgangtrajektorien (pink) im Pilotgebiet (Beispiel Merligen am Thunersee)

Fig. 3: trajectories of debris flows (magenta) in the testarea (lake of Thun)

Es wurden ausschliesslich Murgänge im Gerinne modelliert. Murgänge im Hang (beispielsweise in alpinen Schutthalden) wurden als Hangmuren ausgeschieden und sind als Hangmuren-trajektorien abgelegt. Andere geschiefbeführende Prozesse im Gerinne (Geschiebetransport, Erosion, Übersarung) wurden nicht berechnet und sind im Prozessraum Murgang nicht enthalten.

Für SilvaProtect-CH werden standardisierte Modellparameter eingesetzt. Die modellierten Trajektorien können deshalb kleinräumige Situationen bezüglich Topographie (DHM), Geolo-

gie und Hydrologie nicht abbilden. Schutzbauten wurden bei der Modellierung nicht berücksichtigt. Ausnahmen bilden grössere Geländeschüttungen, wie z.B. Schutzwälle, Schutzdämme, Ufermauern und ähnliche, welche sich morphologisch im DHM25/10 abzeichnen. Dadurch zeigen die ermittelten Prozessräume, welche Gebiete bei ungünstigen Voraussetzungen betroffen sein könnten. Die Daten sollten deshalb auf Stufe Gefahrenhinweis verwendet werden, was einem Arbeitsbereich bis zum Massstab 1:25'000 entspricht.

DIGITALE DATEN

Die Modellresultate werden in einem Datenmodell beschrieben und in einer Geodatenbank unter ArcSDE abgelegt. In diese Datenbank werden alle Informationen der verschiedenen Module integriert. Sie bildet die Grundlage für die Anwendungsapplikation. Die Datenbank beinhaltet die folgenden Prozessrajektorien als Endprodukte:

Tab. 1: Anzahl abgespeicherte Prozessrajektorien

Tab. 1: number of trajectories

Prozess	Anzahl Elemente
Stein-/Blockschlag	9.3 Mio. Sturz-Trajektorien
Hangmure/spontane Rutschungen	47.6 Mio Hangmuren-Trajektorien
Murgang	6.7 Mio Murgang-Trajektorien

Zusätzlich wurden für die gesamte Schweiz die massgebenden Runsen und Gerinne sowie die zugehörigen Einzugsgebiete bestimmt. Alle berechneten Einzugsgebiete werden als Polygone abgespeichert. Sie dienen zusammen mit den Runsen als Grundlage um eine Beziehung zwischen Murgangrajektorien und den geschiebeliefernden Flächen herzustellen.

Alle Runsen und Gerinneabschnitte werden als Polylinien in einem gerichteten Geometric Network abgelegt. Damit lassen sich 'Oberhalb-' und 'Unterhalb'-Suchabfragen einfach und schnell durchführen. Zusätzlich werden zu den geometrischen Attributen auch noch die Höhendifferenz und ein Parameter für den Geschiebetransport eingefügt. Da die Elemente im Geometric-Network (ArcGIS) verwaltet werden, ist es möglich dass zusätzliche Attribute für Auswertungen eingefügt werden. Diese können als Abbruch- oder Filterkriterien in den Auswertungen des Modules INTERSECT benutzt werden. Gleichzeitig wird eine direkte Beziehung 1 zu 1 zwischen der Runse und dem Einzugsgebiet aufgebaut.

SCHUTZWALDAUSSCHIEDUNG

Nachfolgend werden das Prinzip des Datenmodells und der Auswertungsapplikation schematisch erläutert.

Im Modul EVENT wird zwischen zwei Prozessgruppen unterschieden:

- Prozesse, bei denen die räumlichen Zusammenhänge durch die Prozess-Trajektorien oder Polygone und der daraus gebildeten Flächen bestimmt werden (Stein/ Blockschlag, Hangmuren).
- Prozesse, bei denen die räumlichen Zusammenhänge durch die Runsen-/Gerinnestruktur bestimmt werden (Murgang, Schwemholz, Hydrologie allgemein). Beim Murgangprozess werden die Prozess-Trajektorien mitberücksichtigt.

Um eine maximale Auswertungsflexibilität zu erreichen, werden die Prozessräume nicht als Flächen (Polygone) abgelegt, sondern als Prozessstrajektorien. Somit kann der relevante Prozessraum und die zugehörigen Schutzwaldflächen jederzeit mit einem beliebigen Schadenpotenzial ausgeschieden werden, ohne dass eine neue Prozess-Simulation notwendig ist. Der Vorteil dabei ist, dass verschiedene Schadenpotenzial-Szenarien durchgespielt werden können. Im Modul INTERSECT werden die Prozessräume nach prozessspezifischen Kriterien mit dem Schadenpotenzial und dem Wald überlagert und der massgebende Schutzwald ausgeschieden. Nachfolgend wird das Auswertungsprinzip für die zwei genannten Prozessgruppen erläutert.

Ausscheidung von Schutzwald für Steinschlag

Die Sturzbahnen von Stein- und Blockschlägen können im Modul INTERSECT beliebig oft mit verschiedenen Schadenpotenzials-Varianten überlagert werden.

Abb. 4 zeigt an einem Beispiel im Emmental die aus dem Modul EVENT resultierenden Steinschlagtrajektorien (rot). Für die Ausscheidung des Schutzwaldes sind sie nur dann relevant, wenn sie ein Schadenpotenzial, wie beispielsweise die Eisenbahnlinie (gelb) im Talboden treffen können.

Diejenigen Sturzbahnen, welche die Eisenbahnlinie treffen, werden in einem ersten Schritt durch eine Überlagerung der Trajektorien mit dem Schadenpotenzial ausgewählt (fett rot dargestellt). Sie werden als schadenpotenzialrelevante Steinschlagtrajektorien bezeichnet. Das Schadenpotenzial kann je nach Fragestellung beliebig ausgewählt werden.

Im nächsten Schritt wird um die ausgewählten Sturzbahnen eine Pufferzone gelegt, um den massgebenden Prozessraum abzugrenzen. Die Pufferbreite sollte der Auflösung der Startpunkte entsprechen.



Abb. 4: Steinschlagtrajektorien (rot) und Schadenpotenzial (Eisenbahn, gelb dargestellt) sowie schadenpotenzialrelevante Steinschlagtrajektorien (fett rot)

Fig. 4: rockfall trajectories (red) and damage potential (railway: yellow), the rockfall trajectories, which hit the railway: red bold

Die gepufferten Sturzbahnen bilden den gesamten schadenpotenzialrelevanten Prozessraum (hellblau in Abb. 5) ab und können in einem nächsten Schritt zu einheitlichen Flächen zusammengefasst werden.

Der gesamte schadenpotenzialrelevante Prozessraum kann anschliessend mit der Waldfläche (grün) überlagert werden. Diejenigen Flächen, in welchen sich der Prozessraum mit dem Wald

überschneidet, werden als Schutzwald ausgeschieden (braun in Abb. 6). Die Waldfläche kann je nach Fragestellung beliebig verändert resp. ausgewählt werden.

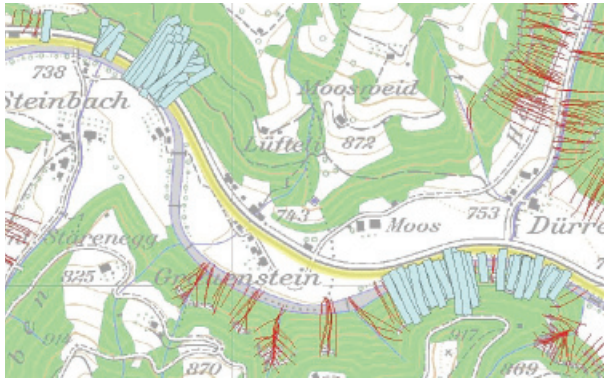


Abb. 5: Schadenpotenzialrelevante Steinschlagtrajektorien mit Pufferzone (hellblau)
Fig. 5: rockfall trajectories, which hit the railway will be buffered (light blue)



Abb. 6: Schutzwald für Stein-/Blockschlag (braun)
Fig. 6: protective forests against rockfall (brown)

Für Hangmuren erfolgt die Schutzwaldausscheidung analog zum Prozess Stein-/Blockschlag.

Ausscheidung von Schutzwald für Murgänge

Beim Murgang übt der Wald seine Schutzwirkung hauptsächlich im Bereich der Geschiebelieferung aus. Die Verknüpfung zwischen dem Schadenpotenzial und dem Schutzwald erfolgt für die massgebenden Einzugsgebiete über die einzelnen Murgangtrajektorien. Deshalb kann die Schutzwaldausscheidung nicht nur durch eine Überlagerung von Prozessraum und Wald erfolgen (wie beim Stein-/Blockschlag und den Hangmuren) sondern basiert auf zusätzlichen Grundlagen:

Die geschieberelevante Fläche (Abb. 7) umfasst diejenigen Bereiche, welche für die Geschiebelieferung bei Murgängen massgebend sind und in welchen der Wald die grösste

SCHLUSSBEMERKUNGEN

Mit den vorliegenden Resultaten, d.h. den Prozesstrajektorien für die Gefahrenbereiche Stein-/Blockschlag, Hangmuren / spontane Rutschung und Murgang, ist ein wichtiger Grundstein für das Ziel des Projektes SilvaProtect-CH - gesamtschweizerisch vergleichbare Schutzwaldflächen - gelegt. Als Folge der unterschiedlichen Güte der modellierten Prozessperimeter werden die im Modul INTERSECT ermittelten Schutzwaldflächen prozessspezifisch gewichtet und letztlich die kantonalen Schutzwaldindizes berechnet (siehe Giamboni & Wehrli, in Arbeit).

LITERATUR

- Gamma, P. (2000): dfwalk – Ein Murgang-Simulationsprogramm zur Gefahrenzonierung, Geographica Bernensia G66, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- Liener, S. (2000): Zur Feststofflieferung in Wildbächen. Geographica Bernensia G64, Verlag des Geogr. Inst. Univ. Bern.
- Liniger, M. (2000): Computersimulation von Stein- und Blockschlägen. Sonderdruck aus Felsbau 18 (2000) Nr.3: 56-63.
- Giamboni, M & Wehrli A. (in press): Improving the management of protective forests in Switzerland: The project SilvaProtect-CH. Interpraevent 2007

**BERÜCKSICHTIGUNG DER WIRKUNG VON
SCHUTZMASSNAHMEN IN GEFAHRENKARTEN:
VORGEHEN IN DER SCHWEIZ**

**CONSIDERATION OF THE EFFECT OF PROTECTION MEASURES
IN HAZARD MAPS: THE SWISS APPROACH**

Stefan Margreth¹, Hans Romang¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren gewinnt zunehmend an Bedeutung. Deshalb hat eine Expertengruppe im Auftrag der PLANAT ein generelles Vorgehen entwickelt, welches die vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen von Gefahrenbeurteilungen ermöglicht. Zuerst wurden allgemeine Grundsätze formuliert, die eine Schutzmassnahme erfüllen soll. Das eigentliche Vorgehen besteht aus vier Schritten. Im ersten Schritt, der Grobbeurteilung, wird aufgrund der bereits vorhandenen Kenntnisse zu den Prozessen und den Schutzmassnahmen eine erste Einschätzung vorgenommen. Im zweiten Schritt, der Massnahmenbeurteilung, wird die Zuverlässigkeit und daraus die Versagenswahrscheinlichkeit einer Massnahme bestimmt. Diese wird im dritten Schritt, der Wirkungsbeurteilung, verwendet, um die massgebenden Szenarien für die Gefahrenbeurteilung festzulegen. Im abschliessenden vierten Schritt werden Empfehlungen zur raumplanerischen Umsetzung erarbeitet. Das Vorgehen wird am Beispiel einer Stützverbaung erläutert.

Keywords: Schutzmassnahmen, Lawine, Gefahrenkarte, Umzonung

ABSTRACT

The assessment of the effect of protection measures against natural hazards becomes more and more important. Therefore the PLANAT charged an expert group to elaborate a procedure that allows the assessment of the effect of protection measures in the scope of hazard mapping in a comparable and comprehensible way. At first, general rules were formulated which a protection measure should fulfil. Then the procedure is based on four steps. Step 1 contains a rough evaluation of the available information on the process and the protection measure. In step 2 the measure is evaluated by determining its reliability and failure probability. Step 3 contains the assessment of the effect of the measure where the failure probability is the basis used to fix the determining scenarios for the hazard assessment. In the final step 4 recommendations are prepared for the implementation of the hazard map in land use planning. The procedure is explained with the example of snow supporting structures.

Keywords: protection measure, avalanche, hazard map, rezoning

¹ WSL Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research (SLF), Flüelastrasse 11, CH 7260 Davos, Switzerland, (Tel.: +41-81-417-0254; Fax: +41-81-417-0110; e-mail: margreth@slf.ch)

EINFÜHRUNG

In einem dicht bevölkerten Land wie der Schweiz können Konflikte zwischen Naturgefahren und dem Lebensraum des Menschen nicht verhindert werden. Zentrale Elemente des Risikomanagements, welches ein Leben mit vertretbaren Risiken ermöglichen soll, sind u.a. Gefahrenkarten und Schutzmassnahmen. Gefahrenkarten zeigen einerseits, wo sichere Lebensräume bestehen und andererseits, wo es Schutzdefizite gibt. Jährlich werden in der Schweiz rund 2.9 Milliarden Franken für Massnahmen zum Schutze gegen Naturgefahren aufgewendet (Wegmann et al. 2007). Diese Summe umfasst alle Ausgabe von Privaten und der öffentlichen Hand, alle verschiedenen Prozesse vom Sturm bis zum Erdbeben und alle Massnahmen von der Gefahrenkarte bis zum baulichen Schutz. Für den baulichen Lawinenschutz wurden beispielsweise seit dem Lawinenwinter 1951 „nur“ rund 1.5 Milliarden Franken eingesetzt. Da diese Investitionen sehr gross sind und sichere Lebensräume immer knapper werden ist es verständlich, dass der Druck steigt, die realisierten Schutzmassnahmen in den Gefahrenkarten zu berücksichtigen. Für die einheitliche Umsetzung dieser Forderung fehlen aber die Grundlagen weitgehend. Da die Erstellung von Gefahrenkarten in den letzten Jahren stark vorangetrieben wurde, ist der Handlungsbedarf gross. Zu beachten ist, dass die Raumnutzung sehr langfristig erfolgt. Die Besiedlung eines Gebietes dauert viel länger als die Lebensdauer von technischen Schutzmassnahmen beträgt. Die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen in der Raumplanung muss deshalb sorgfältig und massgeschneidert gehandhabt werden, um einen angemessenen Sicherheitsstandard nachhaltig gewährleisten zu können und um neue Planungsfehler durch eine unbedachte intensivierte Nutzung gesicherter Gefahrenggebiete zu verhindern.

Im Jahre 2002 wurde in Bad Ragaz von den Fachleuten Naturgefahren Schweiz (FAN) ein Workshop zur Thematik durchgeführt (Romang et al. 2003). Die Diskussionen zeigten, dass zwar grosse Erfahrungen im Umgang mit Schutzmassnahmen bestehen, dass aber klare Unterschiede in der Berücksichtigung von Schutzmassnahmen bei Gefahrenbeurteilungen zwischen den verschiedenen Prozessen und Massnahmen vorhanden sind. Weiter fehlte ein systematisches Vorgehen. Aufbauend auf den Resultaten des Workshops wurde die Thematik von der Plattform Naturgefahren (PLANAT) aufgegriffen. In einem ersten Schritt wurde 2006 eine Expertengruppe beauftragt ein generelles Vorgehen zu entwickeln, welches eine vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen der Gefahrenbeurteilung ermöglichen soll (Romang und Margreth 2007a). Im folgenden wird das erarbeitete Vorgehen vorgestellt.

GRUNDSÄTZLICHES

Der vorliegende Artikel befasst sich speziell mit den technischen Massnahmen, welche auf den Gefahrenprozess Einfluss nehmen. Die vorgestellte Methodik kann für alle Prozesse angewendet werden, wobei hier exemplarisch werden Beispiele aus dem Lawinenverbau verwendet werden. Bei der Wirkungsbeurteilung von Verbauungen ist die enge Verbindung von Prozess und Bauwerk typisch. Die korrekte Bemessung basiert einerseits auf der Prozessanalyse und andererseits findet eine Interaktion zwischen Prozess und Bauwerk statt. Ein Bauwerk beeinflusst die Häufigkeit und/oder die Intensität des Prozesses und der Prozess belastet das Bauwerk (Einwirkung, Schädigung). Für die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen können zunächst allgemeine Grundsätze formuliert werden, die in jedem Fall gelten sollen, damit die Wirkung einer Schutzmassnahme bei Gefahrenbeurteilungen berücksichtigt werden kann (Tab. 1).

Tab. 1: Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen (Romang und Margreth 2007a)

Tab. 1: Requirements that a protection measure can be considered in a hazard map (Romang and Margreth 2007a)

Intensität und Wahrscheinlichkeit	Schutzmassnahmen werden berücksichtigt, indem ihre Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit und Intensität eines Prozesses beurteilt wird. Damit die Massnahme überhaupt beurteilt werden kann, muss sie eine erkennbare beziehungsweise bestimmbare Wirkung auf den Prozess ausüben.
Unsicherheiten	Ist die Auswirkung der Massnahme auf den Prozess kleiner als die Unsicherheiten bei der Prozessbeurteilung, wird sie nicht berücksichtigt.
Permanent verfügbar	Eine Schutzmassnahme muss – damit sie berücksichtigt werden kann – permanent verfügbar sein und ihre Dauerhaftigkeit soll mit üblichem Unterhalt mindestens 50 Jahre betragen.
Temporäre Massnahmen	Generell werden temporäre Massnahmen wie die künstliche Lawinenauslösung oder der mobile Hochwasserschutz nicht berücksichtigt. Ausnahmen sind nur dann möglich, wenn eine hohe Zuverlässigkeit und eine relevante Wirkung nachgewiesen werden kann. Dies setzt unter anderem Dauerhaftigkeit und weitgehende Unabhängigkeit von menschlichen Eingriffen voraus.
Abgenommene Werke	Schutzmassnahmen werden in der Regel erst nach erfolgter Bauabnahme berücksichtigt.
Gesamtsystem	Die Massnahme ist sowohl als Einzelsystem als auch in Bezug auf das Gesamtsystem zu betrachten.
Szenarien	Die Beurteilung der Schutzmassnahme basiert auf den in der Schweiz bei Gefahrenbeurteilungen üblichen Szenarien mit hoher (bis 30 Jahre), mittlerer (30 bis 100 Jahre) und geringer Eintretenswahrscheinlichkeit (100 bis 300 Jahre) sowie der Betrachtung eines extremen Ereignisses mit sehr geringer Eintretenswahrscheinlichkeit (über 300 Jahren), welches eine bedeutende Mehrbelastung für das zu untersuchende System darstellt (Überlastfall).
Zeit	Da sich sowohl die Massnahmen als auch die Prozesse zeitlich verändern, müssen sie periodisch neu beurteilt werden. Diese zeitlichen Veränderungen erfordern auch eine vorsichtige Berücksichtigung in der Raumnutzung.

METHODIK

Die Methodik wurde mit dem Ziel entwickelt, eine vergleichbare und nachvollziehbare Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen von Gefahrenbeurteilungen zu ermöglichen. Sie basiert auf den in der Schweiz verwendeten Bundesempfehlungen über die Berücksichtigung der Lawinengefahren (BFF-SLF 1984), Massenbewegungsgefahren (BUWAL 1997) und Hochwassergefahren (BWW 1997) bei raumwirksamen Tätigkeiten. Weiter wurden die in den Baunormen des SIA (SIA 2003) gebrauchten Begriffe wie Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit verwendet. Die Methodik wurde so ausgelegt, dass die Wirkung sowohl für bestehende Massnahmen, wo sich insbesondere die Frage der Beurteilung des Zustandes stellt, wie auch für neu projektierte Massnahmen, wo in der Regel eine Gefahrenkarte ohne Massnahme vorliegt, angewendet werden kann. Das Kernstück der Vorgehensweise stellt ein Flussdiagramm dar (Abb.1). Das strukturierte Vorgehen ermöglicht Unsicherheiten zu erfassen und im Hinblick auf die raumplanerische Umsetzung zu bewerten. Die Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen kann in vier Schritte zusammengefasst werden.

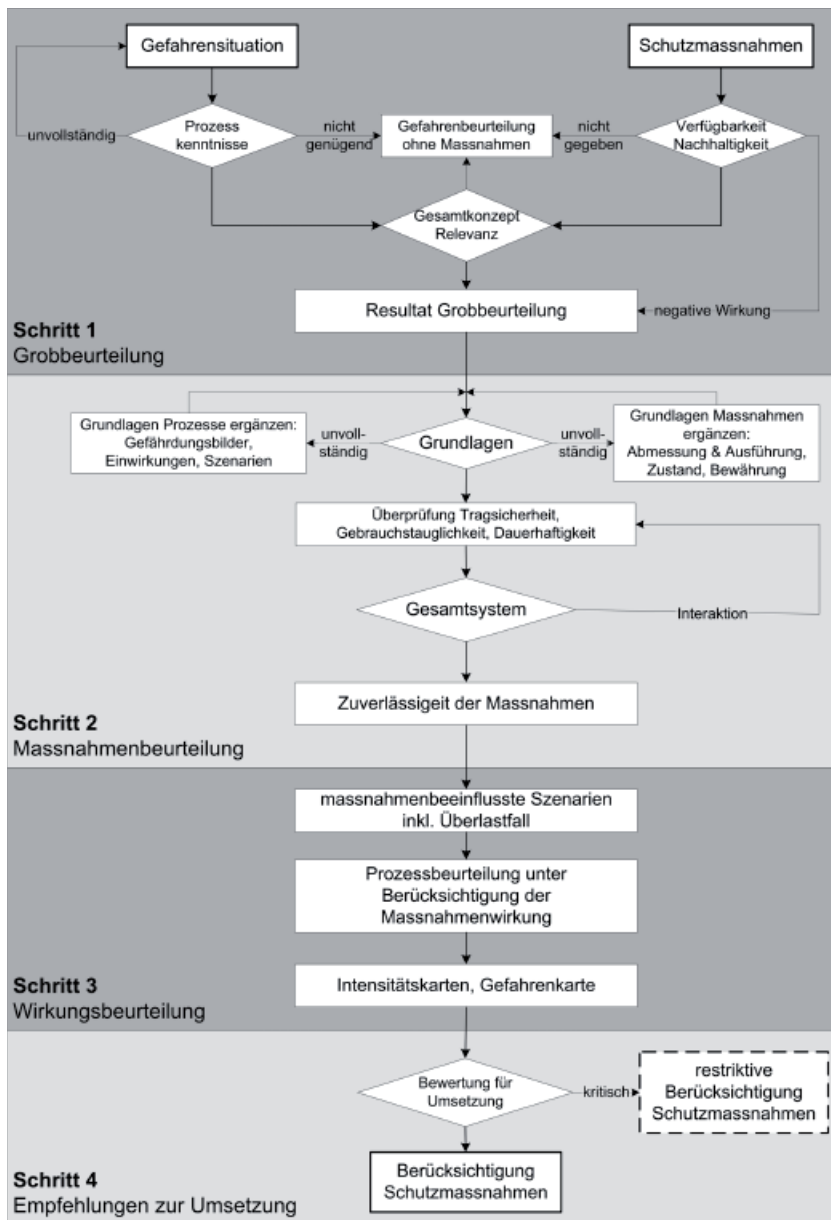


Abb. 1: Generelles Vorgehen zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen (Romang und Margreth 2007a)
Fig. 1: Procedure for the consideration of the effect of protection measures (Romang and Margreth 2007a)

Schritt 1 : Grobbeurteilung

Aufgrund von bestehenden Unterlagen über die Gefahrensituation und die Schutzmassnahme, sowie dem allgemeinen Fachwissen wird eine erste Einschätzung vorgenommen. Es werden die vorliegenden Prozesskenntnisse, sowie die Verfügbarkeit und Nachhaltigkeit der Massnahmen untersucht. Aufgrund dieser Faktoren sowie der Relevanz der betrachteten Massnahme wird entschieden, ob ihre Wirkung vertieft geprüft werden soll. Sind die Unsicherheiten bei den Prozesskenntnissen z.B. wegen ungenügender Datenlage oder methodischen Defiziten zu gross oder kann die permanente Verfügbarkeit der Massnahme nicht gewährleistet werden, wird eine Gefahrenbeurteilung ohne Massnahme durchgeführt. In der Expertengruppe war man sich einig, dass nicht fest vor Ort installierte Massnahmen wie z.B. mobile Hochwasserschutzsysteme oder Massnahmen wie die künstliche Auslösung von Lawinen, deren Funktionsfähigkeit stark vom menschlichen Eingreifen abhängt, auszuschliessen sind. Wichtig ist, dass das Gesamtkonzept, in das die Schutzmassnahme eingebunden ist, u.a. auf Grund der lokalen Eigenheiten des Standortes beurteilt wird. Kann aufgrund der Grobbeurteilung von einem wirkungsvollen Gesamtkonzept und damit relevanten Schutzmassnahmen ausgegangen werden, welche permanent über längere Zeit verfügbar sind und nach heutigem Stand des Wissens quantitativ und mit vertretbaren Unsicherheiten zu beurteilen sind, wird die Detailbeurteilung der Massnahme durchgeführt. Muss auf Grund einer sehr schlechten Verbauungswirkung erwartet werden, dass gegenüber dem natürlichen Zustand eine Verschärfung der Gefährdung auftreten kann, muss die Detailbeurteilung mit der Massnahme ebenfalls durchgeführt werden.

Schritt 2: Massnahmenbeurteilung

Zunächst gilt es sicherzustellen, dass die Grundlagen sowohl zu den Prozessen (z.B. Gefährdungsbilder, Einwirkungen, Szenarien) als auch zu den Massnahmen (z.B. Ausführung, Bemessung, Zustand) vollständig sind. Dann werden Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit beurteilt. Eine Betrachtung des Gesamtsystems (z.B. Untersuchung, ob das Einsturz einer einzelnen Sperre zum Versagen der gesamten Sperrtreppe führen kann) ist integraler Teil dieses Schrittes.

- Bei der Beurteilung der Tragsicherheit wird das Verhalten eines Bauwerkes hinsichtlich Stabilität und Tragwiderstand bei einer bestimmten Einwirkung untersucht. Eine pauschale Beurteilung wurde von der Expertengruppe als genügend erachtet, wenn z.B. wie bei einem Lawinenauffangdamm bezüglich der Tragsicherheit grosse Reserven bestehen oder der Tragwiderstand durch eine Typenprüfung (z.B. homologierte Steinschlagschutznetze oder Lawinenstützwerke) bekannt ist. Eine quantitative Überprüfung der Tragsicherheit ist bei Bauwerken wie z.B. Hochwasserschutzdämmen angezeigt, wo die Funktionsfähigkeit der Massnahme vom Tragwiderstand dominiert wird.
- Die Gebrauchstauglichkeit beschreibt die Fähigkeit eines Bauwerkes die Funktionstüchtigkeit in Bezug auf die festgelegten Nutzungsanforderungen zu gewährleisten. Mangelhafte Gebrauchstauglichkeit zeigt sich in der Regel in einer Abnahme der Wirkung auf den Prozess. Die Wirkungshöhe eines Steinschlagnetzes kann z.B. infolge von aufgefangenen Blöcken reduziert sein. Diese Beurteilungen können qualitativ wie auch quantitativ durchgeführt werden.
- Die Überprüfung der Dauerhaftigkeit erfolgt in der Regel qualitativ. Befinden sich beispielsweise verankerte Lawinenstützwerke in einem Kriechhang, der sich in 10 Jahren um rund 80 cm verschoben hat, ist die Dauerhaftigkeit infolge der hohen Kriechraten sehr fraglich (Abb. 2).

- Am Schluss von Schritt 2 wird auf Grundlage der Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit die Zuverlässigkeit der Massnahme bestimmt (Abb. 3). Bei einer geringen Zuverlässigkeit muss mit einer grossen Versagenswahrscheinlichkeit gerechnet werden. Eine geringe Zuverlässigkeit ist z.B. erreicht, wenn zwar die Tragfähigkeit, jedoch nicht die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erfüllt sind. In der folgenden Wirkungsbeurteilung zeigt eine solche Massnahme keine Wirkung.



Abb. 2: Stützverbauungen in einem Kriechhang mit Deformationen von mehr als 1.0 m. Wisse Schijen Randa.
Fig. 2: Supporting structures built on a slope with creep deformations of more than 1.0 m. Wisse Schijen Randa.

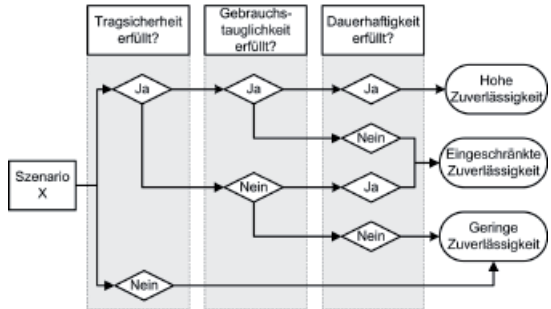


Abb. 3: Bestimmung der Zuverlässigkeit aufgrund von Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit.
Fig. 3: Determination of the reliability based on the structural safety, serviceability and durability.

Schritt 3: Wirkungsbeurteilung

Die Einschätzung der Zuverlässigkeit beziehungsweise der Versagenswahrscheinlichkeit erlaubt nun zusammen mit den Prozesskenntnissen die Szenarien unter Berücksichtigung der Wirkung der Massnahmen zu bestimmen. Mit den bekannten Methoden der Prozessbeurteilung wird der Einfluss der Massnahme auf den Prozessablauf quantifiziert. Bei einer Stützverbauung stehen z.B. die Szenarien Lawinenanbruch neben der Verbauung, Lawinenanbruch im Verbau und der Anbruch von Oberlawinen im Vordergrund (Romang und Margreth 2007b). Um die Intensität des Prozesses für ein bestimmtes Szenario unter Berücksichtigung der Massnahme zu bestimmen, können z.B. bei Hochwasserdämmen die Massnahmen direkt in das Geländemodell integriert und eine Überflutung simuliert werden. Dagegen ist bei einem Lawinenauffangdamm die Wirkung zwischen Prozess und Massnahme sehr komplex. Es empfiehlt sich die Wirkung indirekt zu berücksichtigen, indem eine spezifische Lawinsimulation mit dem infolge der abbremsenden Wirkung des Dammes reduzierten Szenario durchgeführt wird. Es sind immer auch Extremszenarien zu berücksichtigen, wo das Verhalten einer Massnahme bei einem Szenario untersucht wird, das das Bemessungsszenario übertrifft (Überlastfall). Die Prozessbeurteilung ist vom Prozess- und Massnahmentyp abhängig. Um die Interaktion zwischen Prozess und Massnahme bestimmen zu können, muss eine abgestützte Methodik für die Wirkungsbeurteilung bestehen. Es resultieren Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten je Szenario und somit die Grundlagen für die Gefahrenkarten.

Schritt 4: Empfehlungen zur Umsetzung

Im Hinblick auf die raumplanerische Umsetzung wird empfohlen neben der in Schritt 3 erarbeiteten Gefahrenkarte auch „weiche Faktoren“ etwa hinsichtlich Nachhaltigkeit oder Unsicherheit der Schutzmassnahme zu bewerten. Daraus ergibt sich eine abschliessende Empfehlung für die raumplanerische Umsetzung. Die Expertengruppe war sich einig, dass Gefahrenkarten ausschliesslich nach wissenschaftlichen Kriterien zu erstellen sind und keine Umsetzungsaspekte beinhalten dürfen. Daran wird auch im Zusammenhang mit Schutzmassnahmen festgehalten, denn Gefahrenkarten bilden nicht nur eine Grundlage für die Raumnutzung, sondern auch für Interventionskarten oder temporäre Massnahmen. Der Verfasser einer Gefahrenkarte soll im technischen Bericht eine Bewertung der Gesamtsituation im Hinblick auf die mögliche Umsetzung vornehmen. Dabei sind die wissenschaftlichen und umsetzungstechnischen Aspekte nachvollziehbar aufzuzeigen. Grundlage dazu bilden die in Tabelle 2 aufgeführten Förder- und Hemmfaktoren. Die Umsetzung soll von der Behörde in Zusammenarbeit mit dem Gefahrenexperten durchgeführt werden. Wenn eine Massnahme die Intensität und Wahrscheinlichkeit des Prozesses zwar positiv beeinflusst, aber die Gesamtsituation hinsichtlich der Umsetzung als ungünstig bewertet wird, ist eine restriktive Berücksichtigung angezeigt. Dies kann bedeuten, dass beispielsweise keine Neueinzonungen erfolgen oder dass Bauten nur mit Objektschutzmassnahmen zugelassen werden.

Tab. 2: Faktoren für die Bewertung hinsichtlich der Umsetzung der Gefahrenkarte

Tab. 2: Factors for the evaluation in regard of the conversion of hazard maps

Förderfaktoren	Hemmfaktoren
<ul style="list-style-type: none"> + Die Massnahme zeichnet sich durch eine hohe Zuverlässigkeit aus. + Nach einem Versagen oder ungenügendem Funktionieren der Massnahme kann sie einfach ersetzt, erweitert oder verstärkt werden. + Es bestehen Pufferzonen oder Reserven: Falls die Massnahme nicht wunschgemäss funktioniert, besteht beispielsweise eine vorhandene Auslaufstrecke, wo die Prozessintensität schnell abnimmt. + Redundanzen der Massnahme: Ein Versagen der Massnahme hat keine unmittelbaren Konsequenzen auf den Prozessablauf oder ein Versagen bahnt sich an und die Konsequenzen können mit weiteren beispielsweise temporären Massnahmen reduziert werden. + Erfahrungen mit der Massnahme. So gibt es etwa bei Lawinen mehr Erfahrungen über die Wirkung von Stützwerken als von Auffangdämmen. + Gute Prozesskenntnisse (z.B. zahlreiche dokumentierte Ereignisse im Ereigniskataster) und klarer Prozessablauf. 	<ul style="list-style-type: none"> - Unterschiedliche Prozesse können auftreten und sich u. U. gegenseitig negativ beeinflussen (z.B. Steinschlagnetz in einem Lawinenauslaufgebiet). - Allgemeine Veränderungen des Gebietes (z.B. Geländeverschiebungen oder Rutschgebiete). - Klimasensitivität (z.B. mobilisierbare Geröllmassen in Permafrostzonen) - Faktor Mensch: Massnahme funktioniert nicht automatisch oder kann im Katastrophenfall nur schwierig überwacht werden (Bsp. Zugänglichkeit der Massnahme schwierig). - Unsicherheiten beim Prozess (z.B. tiefgründige Rutschungen) und bei der Wirkung der Massnahme. - Potenzielle Widersprüche zu den Grundsätzen gem. Tab. 1.

ANWENDUNGSBEISPIEL EGGIGRABENLAWINE, WENGEN (BE)

Mit dem Beispiel der Eggigrabenlawine in Wengen wird das generelle Vorgehen zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen bei Gefahrenbeurteilungen am Beispiel einer Stützverbauung erläutert. 1974 wurde für Wengen eine erste Lawinengefahrenkarte erstellt. Anschliessend wurde das breite Anrissgebiet durch den Verbau einer Geländekammer unterteilt. 1991 wurde die Gefahrenkarte auf Grund der erstellten Verbauung angepasst. Nach dem Lawinenwinter 1999 wurde die Gefahrenkarte erneut überprüft, wobei sich keine Änderungen ergaben (Abb. 6).

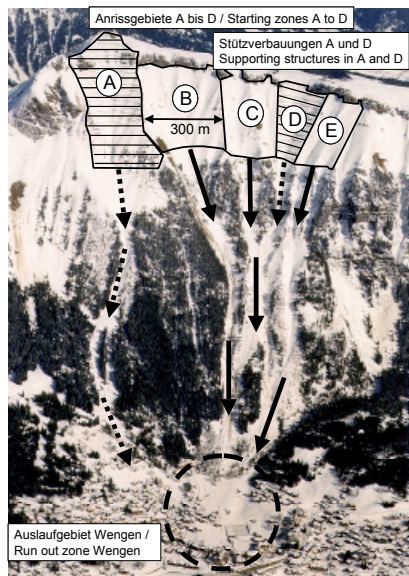


Abb. 4: Übersicht über die Westflanke des Männlichen mit der Eggigrabenlawine und Wengen.

Fig. 4: Overview on the West face of Männlichen with the Eggigraben avalanche and the village of Wengen.

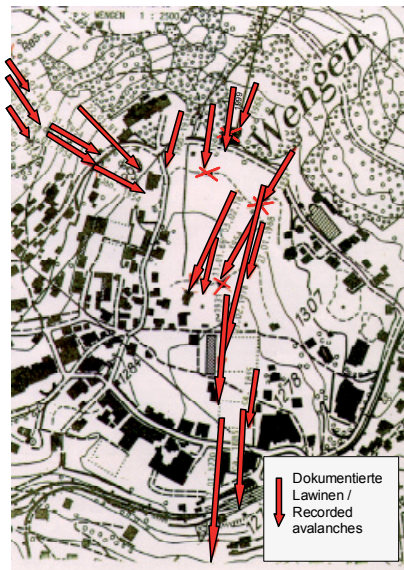


Abb. 5: Ereigniskataster Eggigrabenlawine (Quelle: KAWA, Abt. Naturgefahren, Interlaken).

Fig. 5: Recorded avalanches of the Eggigraben avalanche (Source: KAWA, Natural hazard department, Interlaken).

Schritt 1: Grob beurteilung

Gefahrensituation: Das rund 39° steile und 1 km breite Anrissgebiet der Eggigrabenlawine liegt in der Westflanke des Männlichen zwischen rund 2200 und 2000m (Abb. 4). Das über 40 ha grosse Anbruchgebiet wird durch markante Kreten in verschiedene Teilgebiete unterteilt, die zum Teil über eigene Sturzbahnen verfügen. Ein gleichzeitiges Anbrechen der ganzen Flanke kann als eher unwahrscheinlich beurteilt werden. Unterhalb von 1450 m vereinigen sich die verschiedenen Sturzbahnen, bevor das flachere Auslaufgebiet von Wengen, das sich auf der Geländeterrasse hoch über dem Lauterbrunnental befindet, erreicht wird. Mit zahlreichen Beobachtungen ist das Lawinengeschehen der Eggigrabenlawine sehr gut dokumentiert. 1770 durchfloss die Eggigrabenlawine die Geländeterrasse von Wengen und hatte 8 Todesopfer zur Folge (Abb. 5). Diese Lawine soll auf der gesamten Breite (Anrissgebiete B+C+D+E; Abb. 4) angebrochen sein. 1885 drang eine Lawine bis zum

Bahnhof von Wengen vor. Die Wiederkehrdauer einer Lawine für das Erreichen des Siedlungsgebietes beträgt rund 25 Jahre. Die Lawinengefahrenkarte (Abb. 6) wurde auf der Grundlage von Lawinenkataster, Geländebeobachtungen und lawinentechnischen Berechnungen erstellt, wobei dem Lawinenkataster die grösste Bedeutung beigemessen wurde. Bei den lawinentechnischen Berechnungen für die Erarbeitung der Gefahrenkarte wurde vom Szenario ausgegangen, dass die 3 Teilanrissgebiete C+D+E mit einer Breite von rund 550 m gleichzeitig anbrechen (Tab. 3). Das rote Gefahrenggebiet erstreckt sich bis zur Dorfstrasse, das blaue Gebiet bis zum Bahnhof von Wengen. Im roten Gefahrenggebiet betragen beim 300-jährlichen Lawineneignis die Drücke mehr als 30 kN/m^2 (BFF-SLF 1984). Im blauen Gefahrenggebiet sind beim 300-jährlichen Lawineneignis die Drücke kleiner als 30 kN/m^2 . Zusätzlich wurde ein gelbes Gebiet angeführt, das sich über die gesamte Geländeterrasse von Wengen erstreckt. Mit der gelben Zone wurde die Restgefährdung bezeichnet, die vom theoretisch möglichen Anbruch des gesamten Anrissgebietes ausgeht. 20 Gebäude befinden sich im roten und 19 Gebäude im blauen Gefahrenggebiet.

Schutzmassnahmen: Ein Vollverbau der Eggigrabenlawine würde rund 16 km Stützwerke benötigen, die Bauzeit wurde auf rund 30 Jahre geschätzt. Wegen den grossen Aufwendungen wurde zwischen 1979 und 1986 schliesslich nur das rund 4 ha grosse Teilanrissgebiet der mittleren Eggigrabenlawine (Anrissgebiet D) mit rund 1870 m Stahlschneebrücken permanent verbaut. Die Verbauung wurde richtliniengemäss erstellt. Die Baukosten für diese sogenannte Verbauung Gratlücke betragen 3.8 Mio. Franken. Zusätzlich wurde aufgeforstet. Das Hauptziel der Verbauung besteht darin, einen für das Siedlungsgebiet von Wengen katastrophalen Absturz der Eggigrabenlawine auf maximaler Breite zu verhindern.

In der vorliegenden Situation ergibt die Grobbeurteilung, dass von einem wirkungsvollen Gesamtkonzept ausgegangen werden kann. Es kann eine relevanten Wirkung erwartet werden. Von der als massgebend angesehenen Anbruchfläche C+D+E wurde mit der Fläche D rund 30% verbaut, dadurch konnten die Anrissflächen C und E voneinander getrennt werden, was sich in bedeutend kleineren Lawinenkubaturen äussert.

Schritt 2: Massnahmenbeurteilung

Das Lawinenverbaungs- und Aufforstungsprojekt ist gut dokumentiert. Die wichtigsten Unterlagen sind der technische Bericht, der Werkdispositionsplan und der nachgeführte Verbaukataster. Bei den eingebauten Stützwerken handelt es sich um typengeprüfte permanente Stahlschneebrücken des Fabrikats Voest-Alpine und Fromm. Die Werkanordnung entspricht den Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet (Margreth 2007). Als Fundationen wurden Betonsockel sowie Mikropfähle und Anker eingebaut. Der Zustand der Verbauung wird jährlich visuell geprüft.

Die Tragsicherheit der eingebauten Stützwerke ist erfüllt. Es handelt sich um homologierte Standardwerktypen. Der Tragwiderstand ist für eine Überlast mit einer 0.5 m mächtigen Schneedecke ausreichend. Nach den Wintern 1995 und 1999 traten infolge Bodenbewegungen in der Verbauung Gratlücke rund 30 Ankerbrüche auf. Diese Schäden wurden saniert und haben zu keiner Zeit die Wirksamkeit der Verbauung als Gesamtsystem beeinträchtigt.

Bei der Gebrauchstauglichkeit steht bei Stützwerken insbesondere die wirksame Werkhöhe im Vordergrund. Die vorhandenen Rosthöhe von 3.5 m deckt eine Schneehöhe von rund 4.5 m ab. In der Verbauung muss mit einer extremen Schneehöhe von rund 4.0 m bei einer Wiederkehrdauer von 100 Jahren gerechnet werden. Die Wahrscheinlichkeit für eine grossflächige Überschneigung der Verbauung schätzen wir auf weniger als 1/300. Seit ihrer Erstellung hat sich die Verbauung bewährt und eine gute Wirkung gezeigt. Winterbeobachtungen zeigten keine bedeutenden Schneebewegungen in der

Verbauungsfläche. Auch im schneereichen Lawinenwinter 1999 hat sich die Werkhöhe als genügend gross erwiesen. Die Gebrauchstauglichkeit ist erfüllt. Die Verbauung steht in stabilem Baugrund, ist nicht durch Felssturz, oder Lawineneinwirkungen gefährdet. Der Verbauungszustand kann heute als gut eingestuft werden. In der vorliegenden Situation erwarten wir eine Nutzungsdauer von mindestens 50 Jahren. Die Dauerhaftigkeit ist erfüllt und folglich kann gemäss Abb. 3 von einer hohen Zuverlässigkeit der Massnahme ausgegangen werden.

Schritt 3: Wirkungsbeurteilung

Die Szenarienbildung ist für die Wirkungsbeurteilung zentral. In der vorliegenden Situation, wo verbaute und unverbaute Anrissgebiete direkt nebeneinander liegen und die extreme Schneehöhe durch die Stützwerke abgedeckt wird, steht ein Lawinenanbruch neben der verbauten Fläche im Vordergrund (Romang und Margreth 2007b). Zusätzlich kann ein Anbruch in den verbauten Flächen nicht ausgeschlossen werden. Dies erachten wir jedoch als unwahrscheinlicher als ein Anbruch neben der Verbauung.

Tab. 3: Anbruchszenarien Eggigrabenlawine mit und ohne Verbauung (vgl. Abb. 4)

Tab. 3: Scenarios for the fracture area of the Eggigraben avalanche with and without the effect of snow supporting structures (see Fig. 4)

Ohne Verbauung				Mit Verbauung Gratlücke (Anrissgebiet D)			
Szenario	Anrissfläche	Bewertung	Wahrscheinlichkeit	Szenario	Anrissfläche	Bewertung	Wahrscheinlichkeit
B	10 ha	Nicht massgebend	1/300	B	10 ha	massgebend	1/300
C+D+E	15 ha	massgebend	1/300	C+0.5D	8 ha	Nicht massgebend	<1/300
B+C+D+E	25 ha	Restgefährdung	<1/300	B+C	17 ha	Restgefährdung	<1/300

Das im Ausgangszustand als massgebend erachtete Szenario eines gleichzeitigen Lawinenanbruches in den Flächen C+D+E ist nicht mehr massgebend. Als massgebend wurde ein Anbruch in der Fläche B betrachtet. Der gleichzeitige Anbruch der Flächen B+C wurde wiederum als Restgefährdung betrachtet (Wahrscheinlichkeit <1/300).

Fünf Jahre nach der Fertigstellung der Verbauung wurde die Lawinengefahrenkarte Wengen überarbeitet (Abb. 6). Mit lawinentechnischen Berechnungen können die reduzierten Gefahrenggebiete quantifiziert werden. Infolge der kleineren Lawinenkubaturen ergeben sich kürzere Auslaufstrecken. Die Anbruchkubatur reduzierte sich mit dem Verbau vom Gebiet D von rund 175'000 m³ auf rund 115'000 m³, was bei der Berechnung mit dem Lawinenmodell AVAL-1D (SLF 1999) eine rund 80 m kürzere Auslaufstrecke ergibt. Die in der Schweiz für die Abgrenzung des roten Gefahrenggebietes verwendete 30 kN/m² Grenze verschiebt sich um rund 90 m. Die Resultate wurden in einer Gefahrenkarte dargestellt. Wegen den bestehenden Unsicherheiten in der Szenarienwahl wurde ehemaliges rotes und blaues Gebiet nicht mit weiss sondern mit gelb bezeichnet. Im Begleitschreiben zur Lawinengefahrenkarte an die Gemeinde Lauterbrunnen wurde darauf hingewiesen, dass die überarbeitete Lawinengefahrenkarte nur unter der Voraussetzung gilt, sofern sich die Verbauung in einem funktionstüchtigem Zustand befindet. Die Gemeinde bestätigte im Rahmen der Bauerklärung, die Verbauung in gutem Zustand zu erhalten.

Schritt 4: Empfehlungen zur Umsetzung

In der vorliegenden Situation können die folgenden Punkte als positiv für die Umsetzung eingestuft werden:

- Richtliniengemäss eingebaute Stützverbauungen sind eine verlässliche Massnahme.
- Das Auslaufgebiet ist flach, Lawinen bremsen ab.
- Bei einem nicht wunschgemässen Funktionieren kann die Verbauung problemlos ausgebaut werden (z.B. Verbau einer weiteren Geländekammer).

Die grössten Unsicherheiten bestehen in der Wahl des massgebenden Anbruchszenarios. Zu beachten ist jedoch, dass diese Unsicherheiten auch im Ausgangszustand ohne Verbauung bestanden. Diese Unsicherheiten stufen wir im Vergleich zur Unsicherheit bei der Wirkung der Verbauung als bedeutend grösser ein. Deshalb erscheint eine relativ restriktive Umsetzung der Lawinengefahrenkarte insbesondere wegen den bestehenden Unsicherheiten in der Szenarienwahl angezeigt zu sein. Im Überbauungsplan von 1996 wurde nach der Überarbeitung der Lawinengefahrenkarte im alten roten Lawinengefahrenggebiet keine Einzonungen vorgenommen. Der grosse Teil des alten roten und neu blauen Gefahrenggebietes wurde nicht als Bauzone sondern als Zone für öffentliche Nutzung ausgeschieden.

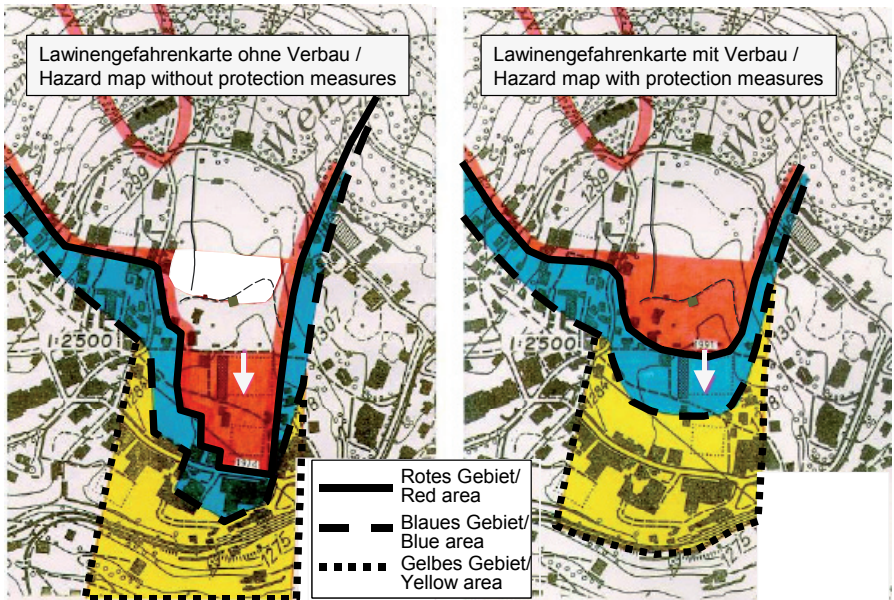


Abb. 6: Lawinengefahrenkarte mit und ohne Verbauung (Quelle: KAWA, Abt. Naturgefahren, Interlaken)

Fig. 6: Avalanche hazard map with and without protection measures (Source: KAWA, Natural hazard department, Interlaken).

AUSBLICK

Das entwickelte Vorgehen erfüllt die Anforderungen an eine generelle, prozess- und massnahmenübergreifende Methodik, um die Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren einheitlich beurteilen zu können. In einem nächsten Schritt werden für die wichtigsten Massnahmen pro Prozess Arbeitshilfen ausgearbeitet, um die konkrete Anwendung der Vorgehensweise zu erleichtern. In dieser zweiten Phase sollen auch die

Aspekte zur angemessenen raumplanerischen Umsetzung einer angepassten Gefahrenkarte vertieft werden. Diese kann Fragen zur Darstellung von angepassten Gefahrenkarten beinhalten oder auch konkrete Umsetzungsregeln wie beispielsweise, dass bei einer restriktiven Umsetzung zwar Neueinzonungen möglich sein sollen, Bauten jedoch nur mit Objektschutzmassnahmen erstellt werden dürfen. Die grössten Lücken bestehen unseres Erachtens in der Wirkungsbeurteilung, in der Einschätzung der Tragsicherheit von alten Bauwerken und in der Szenarienbildung. Oft liegen nur grobe methodische Modelle zur Prozessbeurteilung vor und die Szenarienbildung hängt stark von den vorhandenen Beobachtungen und der Erfahrung des Gutachters ab. Die vorgestellte Methodik ermöglicht dies zu berücksichtigen, indem nicht nur die Gefahrenkarte sondern auch die Gesamtsituation hinsichtlich der Umsetzung bewertet wird.

LITERATUR

- BFF, SLF, 1984. Richtlinie zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Bundesamt für Forstwesen, EDMZ, Bern.
- BWW, BUWAL, 1997. Empfehlungen Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft/Bundesamt für Raumplanung/Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, EDMZ, Bern.
- BWW, BUWAL, 1997. Empfehlungen Berücksichtigung der Massenbewegungsgefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bundesamt für Wasserwirtschaft/Bundesamt für Raumplanung/Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, EDMZ, Bern.
- Margreth S., 2007. Technische Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Umweltwissen. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos, 134 S.
- Romang H., Margreth S., 2007a: Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Projekt A 3. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern, 19 S.
- Romang H., Margreth S., 2007b: Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren. Wildbach- und Lawinenverbau. 71. Jg., Heft Nr. 155; 18-29.
- Romang H., Margreth S., Kienholz, H. und A. Böll, 2003. Berücksichtigung von Schutzmassnahmen bei der Gefahrenbeurteilung. Workshop der Fachleute Naturgefahren Schweiz (FAN) in Bad Ragaz.
- SIA, 2003. Einwirkungen auf Tragwerke. SIA Norm 260. Schweizerischer Ingenieur- und Architekten Verein, Zürich.
- SLF, 1999. Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung – Unterlagen zum Berechnungsmodell AVAL-1D. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Davos.
- Wegmann, M., Merz, H. und K. Meierhans Steiner, 2007. Jährliche Aufwendungen für den Schutz vor Naturgefahren in der Schweiz. Umsetzung der Strategie Naturgefahren Schweiz: Projekt B 1. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern, 25 S.

EIN MINIMALSTANDARD FÜR DIE DOKUMENTATION DER SCHUTZWIRKUNGEN DES WALDES IM RAHMEN DER ÖSTERREICHISCHEN "INITIATIVE SCHUTZ DURCH WALD"

MINIMAL STANDARD FOR DOCUMENTATION OF PROTECTION EFFECTS OF FORESTS IN THE FRAMEWORK OF AUSTRIAN INITIATIVE PROTECTION FOREST

Frank Perzl¹

ZUSAMMENFASSUNG

Die "Initiative Schutz durch Wald (ISDW)" ist ein österreichisches Förderprogramm zur Verbesserung der Objektschutzwirkung des Waldes. Für ISDW wurde ein bundesweit einheitlicher Standard zur Beurteilung der Schutzwirkungen des Waldes und zur Erfassung der dafür erforderlichen Daten entwickelt. Bis dahin gab es beim Österreichischen Programm zur Schutzwaldverbesserung keine einheitliche Erhebung und Bewertung von Indikatoren der Schutzwirkung des Waldes. Dadurch war die Evaluierung der Wirkung von waldbaulichen Maßnahmen im Schutzwald schwierig. Durch Literatursauswertung und Expertenbefragung wurden Indikatoren des Naturgefahrenpotenzials und der Schutzwirkung des Waldes abgeleitet und ein waldbaulicher Zielkatalog erarbeitet. Es wurden damit vergleichbare Grundlagen für die Evaluierung des ISDW-Programms und für weitere Wirkungs- und Zielanalysen geschaffen.

Keywords: Schutzwald, Waldbau-Ziel, Schutzwirkung

ABSTRACT

Initiative Protection Forest (ISDW) is an Austrian support program for improvement of direct protection effects of forests. For ISDW a nationwide uniform standard for forest protection assessment and for data acquisition was developed. Up to then, there were no uniform recording and evaluation of indicators of the protection effect of the forest in the Austrian program of protection forest improvement. Therefore, the evaluation of the effects of silvicultural measures in protection forests was difficult. Indicators of natural hazard potential and protection effects of forest were derived from literature and expert inquiry. A catalogue of silvicultural objectives was developed. Therewith comparable bases for the evaluation of the ISDW-program and for further effect and target analyses were created.

Keywords: protection forest, silvicultural target, protection effect

¹ DI Frank Perzl, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Landschaft und Naturgefahren
Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen
Rennweg 1, A-6020 Innsbruck

PROBLEMSTELLUNG

Die Wirksamkeit von geförderten Maßnahmen zur Verbesserung der Schutzwirkungen des Waldes wird auf europäischer Ebene und in Österreich zunehmend hinterfragt. Die Fördergeber und die Kontrollinstanzen verlangen eine wirkungsorientierte Evaluierung der Maßnahmen der Schutzwaldverbesserung zum Zweck der Programmsteuerung und der Optimierung des Mitteleinsatzes auf Basis einheitlicher und eindeutiger Kriterien (vgl. dazu LRH-V 2005, S. 27-29; V-EG Nr. 1698, 2005; UBA 2006).

Mehrere Studien (z.B. WEISS 1999, WEISSBACHER 2003, PERZL 2005) im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW) zeigten die Problemfelder bei der Evaluierung des österreichischen Programms zur Schutzwaldverbesserung auf:

- Es fehlten operationale Ziele und geeignete Dokumentations- und Bewertungsmethoden der Ausgangslage und der Zielerreichung zur Evaluierung der Programmwirkungen.
- Zur effektiven Steuerung müssen die langfristigen und komplexen Programmwirkungen im Schutzwald auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen betrachtet werden. Neben einer Gesamtbetrachtung der Entwicklung des Schutzwaldes (Makroevaluierung) ist auch ein projektbezogenes repräsentatives Monitoring notwendig.
- Ein projektbezogenes Monitoringsystem ist in Österreich nur in Tirol, sowie seit 2000 auch in Kärnten in Betrieb. Das Zielmodell dieses Monitoring entspricht aber teilweise nicht mehr dem Stand des Wissens über die Schutzwirkungen des Waldes.
- Die Datenerfassung der anderen Bundesländer erfolgte heterogen überwiegend deskriptiv und maßnahmenorientiert ohne EDV-gerechten Dokumentationsstandard.
- Es lag keine zentrale raumbezogene Datenhaltung in EDV-Systemen vor.
- Die Österreichische Waldinventur (ÖWI) konnte auf Makroebene keine differenzierteren Aussagen zum Wald mit Objektschutzwirkungen zur Verfügung stellen.

Voraussetzungen für eine zweckmäßige und effiziente Schutzwaldbewirtschaftung sind ein operationales Zielmodell (der Soll-Zustand des Waldes) und zuverlässige Daten über die am Standort bedeutsamen Naturgefahren und den Waldzustand. Durch standardisierte Datenerhebung (vor und nach der Maßnahmendurchführung) kann der Waldzustand als Ergebnis der Schutzwaldpflege mit dem Soll-Zustand verglichen und bewertet werden.

Während in der Schweiz schon seit 1996 Leitlinien zur Beurteilung der Schutzwirkungen und ihrer Nachhaltigkeit existieren, und bereits in erweiterter und revidierter Form (FREHNER et al. 2005) vorliegen, gab es bislang in Österreich dafür keine einheitlichen und in das bestehende System der Instrumente der Schutzwaldverbesserung integrierbaren Grundlagen. Die Dokumentation des Schutzwaldzustandes und seiner Veränderung durch Maßnahmen erfolgte in den Bundesländern sehr unterschiedlich. Beim ÖSTERREICHISCHEN WALDDIALOG² wurde der Bedarf an Kriterien und Indikatoren zur Evaluierung der Schutzwirkungen des Waldes festgestellt, und die Erarbeitung entsprechender Grundlagen als walddpolitisches Ziel definiert.

² Der WALDDIALOG ist ein vom BMLFUW eingerichteter institutionalisierter Dialogprozess aller walddrelevanten Akteure in Österreich. Er dient der Abstimmung und Festlegung walddpolitischer Ziele.

In den letzten Jahrzehnten wurden zahlreiche Beurteilungsmodelle für die Schutzwirkungen des Waldes entwickelt. Aufgrund der multikriteriellen Fragestellung handelt es sich methodisch um Check-Listen oder Nutzwertanalysen erster Generation. Bei solchen Nutzwertanalysen wird die Schutzwirkung aus der gewichteten Addition ordinal bewerteter Einzelmerkmale der Waldstruktur errechnet. Eine Verfahrensevaluierung ergab, dass solche Modelle Schutzwirkungen nicht ausreichend kongruent und sensitiv abbilden, und nur schwer in den praktischen Planungsprozess in Österreich implementierbar sind.

Aus diesen Gründen wurde vom BMLFUW in Zusammenarbeit mit den Landesforstdiensten, dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung (WLV) und dem Bundesamt und Forschungszentrum für Wald (BFW) im Rahmen des ISDW-Programms ein minimaler Schutzwald-Dokumentations- und Bewertungsstandard entwickelt.

Das ISDW-Programm – die „Initiative Schutz durch Wald“ – des BMLFUW ist eine neue Förderschiene für die Schutzwaldverbesserung im Rahmen des von der Europäischen Union mitfinanzierten Österreichischen Programms für die Ländliche Entwicklung 2007-2013 (LE 2007-2013). Programmziele sind die vorsorgende Verbesserung der Objektschutzwirkung von Wäldern gegen Naturgefahren und die Ausweitung der Aktionsflächen (Schutzwaldpflege). Durch ein begleitendes Controlling auf Basis eines Planungsstandards (Ausscheidung der Projektkulisse über den Waldentwicklungsplan (WEP), einheitliche Datenerfassung und Bewertung bei den Detailprojekten) soll eine Erfolgsanalyse und eine Steuerung des Programms ermöglicht werden. Wesentliche Anforderungen an das Planungssystem waren:

- Ein praxis- und behördengerechtes flexibles System, das in die bestehenden Methoden der Schutzwaldplanung integrierbar ist, und den umsetzenden Praktiker einbindet.
- Möglichst geringer Planungs- und Evaluierungsaufwand (Erhebungsaufwand).
- Möglichst hohe Abstimmung mit den bestehenden informationellen Instrumenten wie ÖWI, WEP, Wildeinflussmonitoring (WEM) und Tiroler Schutzwaldcontrolling.

DAS KONZEPT

Um die Schutzwirkung des Waldes und die Veränderung durch waldbauliche Maßnahmen feststellen zu können, müssen folgende Sachverhalte erhoben und beurteilt werden:

- Das Gefahrenpotenzial am Waldort differenziert nach Gefahrenarten.
- Die Schutzwirkung des vorhandenen Waldbestandes in Bezug auf die relevanten Naturgefahren und ihr Gefahrenpotenzial vor und nach der Maßnahmenumsetzung.
- Die Stabilität des Schutzwaldes vor und nach der Maßnahmenumsetzung. Der Begriff Stabilität ist dabei umfassend im ökologischen und funktionalen Sinne als Zustand zu verstehen, der eine ausreichende Widerstands- und Regenerationsfähigkeit bei externen Störungen und damit die Kontinuität der Schutzwirkungen gewährleistet.
- Die zeitliche Abfolge der durchgeführten Maßnahmen, Art und Ausführungsumfang.
- Externe Störfaktoren oder Erschwernisse, welche die Maßnahmenumsetzung und Zielerreichung behindern haben.

Es gibt keine praktisch anwendbaren physikalischen und statistischen Modelle, mit denen das Gefahrenpotenzial, die Schutzwirkung und die Stabilität des Waldes in Bezug auf alle relevanten Naturgefahren mit einheitlichen Datensätzen gemessen werden können. Für einzelne Naturgefahrenarten und spezielle Teilaspekte liegen solche Modelle vor, z.B.

logistische Regressionen zur Abschätzung der Anbruchswahrscheinlichkeit von Waldlawinen oder Lawinen- und Steinschlagsimulationen. Das sind aufwändige Expertensysteme mit speziellen Datenanforderungen. Diese Modelle sind für kritische Sonderfälle und Gutachten geeignet. Für die forstbetriebliche Planungspraxis sind sie meist zu aufwändig. Bei der Bewertung von Schutzwirkungen handelt es sich um sehr komplexe multikriterielle Fragestellungen. Diese Kriterien können in der Praxis entweder nur frei gutachtlich beschreibend oder qualitativ – rangordnungsmäßig bewertet werden.

Daher wurde ein System zur Aggregation von Bewertungskennziffern des Gefahrenpotenzials und der Schutzwirkung über Präferenzmatrizen entwickelt. Eingangsgrößen sind Merkmale des Standorts oder der Waldstruktur, die auf das Gefahrenpotenzial und die Schutzwirkung des Waldes schließen lassen (Indikatoren). Die logische Kombination klassifizierter Merkmale ergibt die Bewertungskennziffern. Die Präferenzmatrix gehört in der Praxis der Umweltplanung zu den gängigsten Methoden (SCHOLLES 2004). Durch die logische Kombination ist ein solches System – im Gegensatz zu komplexen Nutzwertanalysen erster Generation – durchschaubar (vgl. Tabelle 3). Präferenzmatrizen werden z.B. auch bei der Schweizer Gefahrenzonenplanung eingesetzt. Die ISDW-Matrizen sind das Ergebnis

- von laufenden Literatúrauswertungen am BFW,
- Auswertungen der BFW-Schadlawinendatenbank,
- Diskussionen in der ISDW-Arbeitsgruppe
- und einer begleitenden Expertenbefragung (einfaches Delphi).

Dabei muss berücksichtigt werden, dass noch vieles auf Annahmen beruht und sich nur auf wenige originäre und zum Teil widersprüchliche Angaben in der Literatur stützt. Eine quantitative Angabe der Schutzwirkungen des Waldes ist oft noch nicht möglich (FREHNER 2005). Daher müssen sich waldbaulichen Leitlinien darauf beschränken, aus dem Stand des Wissens in der Literatur einen praktikablen Ansatz zusammen zu stellen. Der Stand des Wissens beruht auf oft schwer vergleichbaren Fallstudien.

Die Matrizen sind einfach gestaltet und in Form von „Merkblättern“ zusammengefasst. In diesem Rahmen ist die Darstellung aller Matrizen zu umfangreich. Daher werden hier nur die Eckpfeiler des Modells dargestellt. Es orientiert sich an den Schweizer Richtlinien für Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (kurz NaiS; FREHNER et al. 2005). Im Gegensatz zum Schweizer Modell setzt das ISDW-System am Gefahrenpotenzial an:

DAS MODELL

Bestimmung des Gefahrenpotenzials

Das Gefahrenpotenzial beschreibt beim ISDW-System die Grunddisposition eines Standorts für Naturgefahren. Grundsätzlich ist ein Wald unabhängig vom seinem Zustand bzw. dem Ausmaß seiner Schutzwirkung dann ein Schutzwald, wenn aufgrund standörtlicher Faktoren wie etwa der Hangneigung oder der Erodibilität des Bodens die Bereitschaft zur Auslösung gefährlicher Prozesse besteht. Standortsschutzwälder sollen den Standort (Boden) schützen (indirekter Schutz). Wälder mit Objektschutzwirkung sollen Siedlungen und Anlagen vor Elementargefahren schützen (direkter Schutz). Bei hydrologischen Gefahrenprozessen gibt es aber aufgrund der Wirkungsketten (z.B. oberflächennaher Abfluss – Erosion/Rutschung – Geschiebeakkumulation – Mure) Übergänge zwischen Standorts- und Objektschutz. Das

ISDW-Programm bezieht sich auf die Objektschutzwirkungen des Waldes. Folgende "Gefahrenarten" werden berücksichtigt:

- Lawinenanbruch,
- Steinschlag (Transit- und Auslaufzone),
- Erosion/Rutschungsauslösung,
- und Oberflächenabfluss (im Wald mit Objektschutzwirkung).

Damit beschränkt sich die Betrachtung auf jene Teilprozesse von gravitativen Naturgefahren, die durch den Waldzustand stärker beeinflusst werden können. Naturgefahren laufen in Form von Prozess- bzw. Wirkungsketten ab. Der Wald hat nur auf bestimmte Teile dieser Ketten einen deutlichen Einfluss. So besteht z.B. die Schutzwirkung gegen Wildbachprozesse in der Dämpfung des Abflusses im Einzugsgebiet und vor allem in der Verminderung des Geschiebepotenzials durch den Schutz vor Erosion und Rutschungen an Gerinnehängen.

Das Gefahrenpotenzial wird für jede Prozessart über Indikatoren der Grunddisposition mit ordinalen Kennziffern in Ampelfarben ausgedrückt, den Gefahrenstufen (Tabelle 1):

Tab. 1: Definition der Gefahrenstufen

Tab. 1: Definition of danger levels

Gefahrenstuf	Beschreibung der Gefahr (potenzielle Häufigkeit und Intensität)
0	Keine relevante Gefahr bzw. keine Bedeutung der Gefahrenart
1	Geringe Gefahr (Ereignisse treten selten und klein bei hoher variabler Disposition auf)
2	Mittlere Gefahr (Ereignisse sind groß aber selten, häufig aber klein)
3	Hohe Gefahr (Ereignisse treten häufig oder ständig auf, große Ereignisse sind häufiger)

Die Wahrscheinlichkeit und Größe der potenziellen Ereignisse in den Gefahrenstufen kann nicht exakt angegeben werden. So gibt es z.B. kein praktikables Verfahren zur Abschätzung der Wahrscheinlichkeit der Auslösung von Steinschlag (siehe KALBERER 2007). Es kann nur das Auftreten von Steinschlag anhand "stummer Zeugen" festgestellt werden. Die Auslösung von Naturgefahren-Ereignissen wird auch stark von zeitlich variablen Faktoren wie dem Witterungsverlauf und der Intensität der Niederschlagsereignisse bestimmt. Bei einer geringeren Gefahrenstufe weisen die Indikatoren auf eine geringere Grunddisposition und damit auf eine größere Schwelle auslösender Ereignisse hin.

Die ISDW-Gefahrenstufen haben nicht die gleiche Funktion wie die Gefahrenklassen von Gefahrenhinweiskarten oder Gefahrenzonenplänen, sondern sie berücksichtigen neben der Grunddisposition auch die präventive Bedeutung des Waldes. Die Differenzierung der Schutzwirkung nach Gefahrenstufen hat den Vorteil, dass je nach dem Ausmaß der Grunddisposition unterschiedliche, angepasste Zielvorgaben für den Waldzustand gesetzt werden können. Jeder Praktiker berücksichtigt bei der Bewirtschaftung des Schutzwaldes intuitiv, dass er z.B. in Regionen mit weniger Schnee und auf flacheren und raueren Hängen den Kronenschluss stärker unterbrechen oder größere Verjüngungsöffnungen anlegen kann als im Steilhang in den schneereichen Lagen. Auch beim Schweizer NaiS-System wurde das ansatzweise durch minimale und optimale Anforderungsprofile berücksichtigt. Beim ISDW-System werden je nach Gefahrenpotenzial geringere oder höhere Soll-Werte für die Dichte und Struktur des Waldes definiert (vgl. Tab. 6).

Das Gefahrenpotenzial hängt je nach Gefahrenart von zahlreichen Faktoren ab. Es ist nicht möglich und zu aufwändig alle Faktoren zu erfassen. Daher bestand nur die Möglichkeit

einige erhebbare Schlüsselkomponenten auszuwählen. Die Indikatoren der Grunddisposition für die einzelnen Naturgefahren sind in Tabelle 2 zusammengestellt:

Tab. 2: Indikatoren des Gefahrenpotenzials (der Grunddisposition für Naturgefahren)

Tab. 2: Indicators of hazard potential (susceptibility for natural hazards)

Indikator	Anzahl der Klassen	Lawine	Steinschlag	Erosion Rutschung	Oberflächen-Abfluss
Mittlere maximale Schneehöhe	5	x			
Mittlere Hangneigung	6	x	x		
Reliefklasse (Hanglänge)	4	x	x		
Oberflächenrauigkeit	3	x	x		
Steinschlag-Potenzial /Aktivität	4		x		
Mittlerer Durchmesser Steine	2		x		
Rutschungszeiger/Rutschungstyp	4			x	
Rutschungsintensität	3			x	
Hydrologische Bodenklasse	5		x		x
Wasserhaushalt	3				x

Die mittlere maximale Schneehöhe charakterisiert das allgemeine Niveau der Schneefälle in einem bestimmten Gebiet. Für die dynamische Bemessung von Schneebrett-Lawinen und die Lawinenwarnung sind Extremwerte der Neuschneehöhe relevant, und es müssen die kleinräumigen Unterschiede durch Wind und Relief beachtet werden. In Bezug auf Wald ist aber eine mehr statische Sichtweise erforderlich. Zur Ableitung eines groben Schätzwertes der Schneehöhe aus der Höhenlage stehen regionale Regressionen der Klimanormalperiode 1961-1990 auf der Basis der Arbeit von SCHÖNER & MOHNL (2003) zur Verfügung.

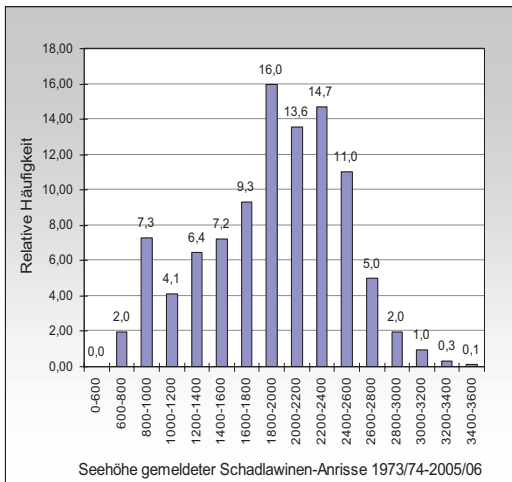


Abbildung 1 zeigt die Verteilung der gemeldeten spontanen Schadlawinen (mit Angaben zur Seehöhe) nach der Seehöhe des Anrisses (n = 1533). Anrisse wurden ab etwa 600 m Seehöhe gemeldet. Die Untergrenzen sind aber regional sehr unterschiedlich. In Vorarlberg wurde der tiefste Anriss auf 900 m, in den nordöstlichen und südlichen Kalkalpen auf 600 m Seehöhe dokumentiert. Die Seehöhe ist als Grenzwert nur bedingt geeignet, da regional bei gleicher Höhenlage – abgesehen von den schwer fassbaren lokalen Unterschieden – verschiedene Schneeverhältnisse auftreten.

Abb. 1: Seehöhe der Anrisszonen gemeldeter spontaner Schadlawinen-Ereignisse in Österreich (n = 1533)

Fig. 1: Altitude of starting zones of reported spontaneous damage avalanches in Austria

PERLA & MARTINELLI (1976) stellten fest, dass signifikante Lawinen ab 1 m Schneehöhe auftreten können. Bezogen auf die Klimanormalperiode 1961-1990 tritt ein Extremwert von 1 m in Österreich je nach Region in Lagen mit einer mittleren maximalen Schneehöhe zwischen

30 und 70 cm auf. Unabhängig von der Region wurden Schadlawinen in Höhenlagen mit einer mittleren maximalen Schneehöhe < 70 cm sehr selten dokumentiert.

Die Hangneigung ist ein Indikator für die relative Häufigkeit und die Intensität von Lawinen. Eine Anbruchgefährdung besteht etwa zwischen 25° und 55° Hangneigung. In der BFW-Schadlawinen-Datenbank auf Basis der WLV-Ereignismeldungen wurden unter 25° Hangneigung keine Anrisse verzeichnet. Über 55° Grad Hangneigung gehen häufig kleine Lockerschneelawinen ab, deren Masse und Energie meist relativ gering sind. Nur 5,7 % von den insgesamt 88 in der BFW-Schadlawinen-Datenbank dokumentierten spontanen Ereignissen mit Schadensfolgen und mit Angaben zur Hangneigung brachen im Gelände mit über 55° Hangneigung an. Dennoch können auch kleinere Lockerschneelawinen im Gelände unterhalb des Steilhangs Sekundärereignisse auslösen. Daher wurde kein oberer Grenzwert für die Lawinengefahr definiert. Forstliche und technische Maßnahmen sind jedoch im Steilgelände über 55° meist nicht mehr möglich und zweckmäßig.

Die Rauigkeit der Oberfläche ist ein Faktor, der vor allem im Zusammenhang mit der Schneehöhe gesehen werden muss. Rauigkeitselemente wie Blockhalden können die Schneedecke abstützen, sofern sie nicht überschneit sind. Auf stark gegliedertem Gelände (Hanglängen < 50 m) ist die Entwicklung von Anrissen zu flächigen Großlawinen reduziert.

Die Kombination von Schneehöhe, Hangneigung, Rauigkeit und Hanglänge ergibt die Gefahrenstufe für (potenziellen) Lawinenanbruch. Dabei haben die Hangneigung und die Schneehöhe den stärksten Einfluss auf die von der Expertengruppe definierte Matrix.

Im Gegensatz zur Lawine ist beim Steinschlag der Wald vor allem in der Transit- und Auslaufzone schutzwirksam. Steinschlag kann gutachtlich anhand von stummen Zeugen erkannt werden. Schwieriger ist es, die Gefahr nach Häufigkeit und Intensität zu bemessen. Es wurde daher ein Ansatz standardisierter gutachtlicher Interpretation stummer Zeugen gewählt. Die Grundüberlegungen sind einfach:

- Je flacher und rauer die Bodenoberfläche in der Transitzone ist, umso stärker wird Steinschlag bereits durch die Bodenreibung abgebremst. Bei geringerer Hangneigung und rauerer Oberfläche sind die Anforderungen an die Bestockungsdichte geringer.
- Die Häufigkeit des Steinschlags kann an stummen Zeugen grob abgeschätzt werden. Bei häufigem Steinschlag finden sich immer frische Spuren.
- Die Steinschlag-Intensität wird von der Steingröße bestimmt. Die potenzielle Steingröße ist schwer abzuschätzen. Daher wurden nur zwei Körnungsklassen definiert (Steine und Blöcke).

Ein ähnliches Konzept wurde zur Bestimmung der Gefahrenstufe von Rutschgelände entwickelt. Wo Rutschungen stattfinden, finden sich häufig Spuren älterer Ereignisse. Der Rutschungstyp (Spontane Hangrutschung, Runsenerosion und Uferrutschung, permanente Rutschung) und die Intensität der Hangbewegung (maximale Tiefe/Kubatur bei Spontan- und Uferrutschungen, Aktivität/Geschwindigkeit bei permanenter Hangbewegung) bestimmen das Gefahrenpotenzial.

Es gibt verschiedenste Rutschungstypen, die von der Expertengruppe im Hinblick auf ihre Gefährlichkeit und die Schutzwirkung des Waldes unterschiedlich eingeschätzt wurden. So treten z.B. spontane Lockergesteins-Hangrutschungen (Hangmuren) nur selten meist infolge von Starkregen ab einer Ereignis-Niederschlagsmenge von etwa 100 mm auf (RICKLI 2001).

Die meisten dieser Rutschungen sind klein und die Schadensfolgen sind daher – im Vergleich zu aktivierten permanenten Rutschungen und Muren – relativ gering. Nach dem Ereignis ist der Hang entlastet und bleibt für lange Zeit oder für „immer“ in Ruhe. Gegen solche Rutschungen ist die Schutzwirkung von intaktem Wald sehr hoch. Es treten aber vereinzelt auch im Wald auf tiefgründigem Lockergestein große Rutschungen mit entsprechend hohem Schaden auf (oft Sekundärrutschungen auf permanentem Rutschgelände). Völlig anders ist die Situation in einem Gelände mit mehr oder weniger permanenten Hangbewegungen, wie z.B. bei Sackungen, Talzuschub und Erdströmen, oder wenn spontane Rutschungen als sekundäre bzw. überlagernde Rutschungen in einem solchen Gelände auftreten. Diese tiefgründigen Phänomene können durch den Wald nicht verhindert werden. Wenn im permanenten Rutschungsgelände spontane Rutschungen oder Erosionen auftreten, bleiben sie meist aktiv oder erweitern sich. Zusätzlich tritt dann oft auch Steinschlag auf. Daher können durch eine Waldbedeckung solcher Hänge vorbeugend gefährliche Ereignisse vermindert werden. Eine Sonderform spontaner Rutschungen sind die Uferrutschungen. Runsenerosionen und Uferrutschungen schaffen Geschiebepotenziale für Muren. Als konkretes Beispiel für die Bewertung des Gefahrenpotenzials mit Präferenzmatrizen zeigt Tabelle 3 die Abschätzung des Gefahrenpotenzials durch die Expertengruppe. Zur Interpretation der stummen Zeugen wurden im Rahmen des ETAlp-Projektes Grundlagen bereitgestellt (HÜBL et al. 2003).

Tab. 3: Präferenzmatrix zur Bestimmung der Gefahrenstufen für Rutschungen

Tab. 3: preference matrix for determination of landslide danger level

Rutschungstyp (vgl. ISDW-Handbuch für Detailprojekte)		Rutschungsintensitätsstufe		
		1: klein	2: mittel	3: stark
		Gefahrenstufe gemäß Tab. 2		
Keine Anzeichen für Rutschgefahr		0	0	0
Spontane Hangrutschung und/oder Runsenerosion – Uferrutschung		1	2	3
Permanente Rutschung (mit und ohne spontaner Rutschung und/oder Runsenerosion/Uferrutschung)		2	3	3
Intensitätsstufe	Spontane Rutschung, Runsenerosion – Uferrutschung	Permanente Rutschung (Hangkriechen, Sackung, Erdstrom etc.)		
1	bis 0,5 m Tiefe (oder maximal 600 m ³ bei Spontanrutschungen)	Gelände schwach konkav-konvex ; keine offenen Zugrisse		
2	> 0,5 - 2 m Tiefe (oder maximal 1200 m ³ bei Spontanrutschungen)	Gelände deutlich konkav-konvex; keine offenen Zugrisse		
3	> 2 m Tiefe (oder > 1200 m ³ bei Spontanrutschungen)	Gelände deutlich konkav-konvex; offene Zugrisse		

Aufgrund der großen Schäden durch Hochwasser und der kausalen Stellung in der Wirkungskette „Hydrologischer Gefahrenprozesse“ berücksichtigt das ISDW-Modell auch den Oberflächenabfluss im Sinne einer Naturgefahr. Die Beurteilung folgt grundsätzlich dem NaIS-Konzept nach LÜSCHER & ZÜRCHER (2003). Beurteilungskriterien sind die Infiltrations- und Wasserspeicherkapazität des Bodens. Wald trägt vor allem auf Böden mäßiger Durchlässigkeit mit höherem Speicherpotenzial zur Dämpfung des Abflusses bei. Zur Beurteilung der Bodenverhältnisse wurde eine einfache Zuordnungstabelle entwickelt.

Bestimmung der Schutzwirkung

Als Kennwert für die Schutzwirkung des vorhandenen Waldes wird die Schutzwirkungsstufe aus dem Gefahrenpotenzial und dem Waldzustand abgeleitet (Tabelle 4).

Tab. 4: Definition der Schutzwirkungsstufen

Tab. 4: Definition of protection effect levels

Schutzwirkungsstufe	Beschreibung der Schutzwirkung (der Gefahr bei vorhandener Bewaldung)
0	Keine Bedeutung der Gefahr (Gefahrenstufe = 0)
3	Sehr geringe Schutzwirkung (kritisch)
2	Verminderte, nicht ausreichende Schutzwirkung (kritisch-labil)
1	Ausreichend hohe Schutzwirkung (im Rahmen der Wald-Leistungsfähigkeit)

Je nach Gefahrenart werden verschiedene Strukturmerkmale des Waldes als Indikatoren der Schutzwirkung verwendet, die auch vom Gefahrenpotenzial bestimmt wird (Tabelle 5).

Tab. 5: Indikatoren der Schutzwirkung des Waldes

Tab. 5: Indicators of protection effect of forest

Indikator	Lawine	Steinschlag	Erosion Rutschung	Oberflächenabfluss
Gefahrenpotenzial	x	x	x	x
Deckungsgrad Gehölze (je nach Wuchsklasse)		x	x	x
Deckungsgrad Bodenvegetation				x
Deckungsgrad wintergrüner Gehölze > 2 oder 5 m	x			
Stammzahl (je nach Wuchsklasse)	x	x		
Anteil Starkholz			x	
Anteil Tiefwurzler			x	
Lückenbreite (von Stamm zu Stamm)	x		x	
Lückentieflänge (von Stamm zu Stamm)		x		
Liegendes Totholz in Lücken (Querleger)	x	x		

Die schutzwirksame Waldstruktur wird über Matrizen dargestellt. Sie definiert den Soll-Zustand des Schutzwaldes und dient der Bewertung der Schutzwirkungen. Tabelle 6 zeigt vereinfacht die als schutzwirksam angenommenen Waldstrukturen (Schutzwirkungsstufe 1 - Zielvorgaben) gegen Lawinenanbruch. Je nachdem wie stark die Werte unterschritten werden, wird die Lawinenschutzwirkung gemäß Tabelle 4 als vermindert oder kritisch ausgewiesen.

Tab. 6: Anforderungsprofil: Schutzwirksamer Wald gegen Lawinenanbruch je nach Gefahrenstufe

Tab. 6: Demand values: forest of sufficient protection against avalanche release depending on danger level

Gefahrenstufe Lawinenanbruch	Merkmalskombination für ausreichende Schutzwirkung		
	Wintergrüner Deckungsgrad	Stammzahl pro Hektar je nach Wuchsklasse	Zulässige Lückenbreite je nach Hangneigung/Mischung/Querleger
3	> 65 %	---	≤ 10 bis ≤ 45 m
	> 35 - 65 %	400 - 3500	
	- 35 %	500 - 8000	
2	> 55 %	---	≤ 10 bis ≤ 55 m
	35 - 55 %	300 - 2500	
	≤ 35 %	400 - 6000	
1	> 45 %	---	≤ 10 bis ≤ 55 m
	35 - 45 %	200 - 2000	
	≤ 35 %	300 - 4000	

Beim Steinschlag werden je nach Gefahrenstufe eine ausreichende Wuchsklasse (Stangenholz oder Baumholz) und Stammzahl gefordert. In Altbeständen sollte mit abnehmender Stammzahl der Deckungsgrad von Jungwuchs im Dickungsstadium zunehmen. Ein dichter Unterwuchs fängt auch größere Steine auf, wenn die Sturzenergie von den starken

Überhältern gebrochen wurde. Je nach Gefahrenstufe und Wuchsklasse wurden mindestens 400 (Baumholz, Starkholz) oder 600 (Stangenholz) Stämme pro Hektar und bei verminderter Stammzahl zusätzlich mindestens 15 % Jungwuchs im Dickungsstadium als schutzwirksam angenommen. Eine maximale Länge der Lücken von über 40 m (Hangneigung bis 28°) oder von über 20 m (> 28°) führt zu einer Abwertung der Schutzwirkung, wenn nicht ausreichend Querleger die Lücken absichern. Die Baumartenmischung wird hier nicht berücksichtigt, da die Schutzwirkung und nicht die Stabilität bewertet wird.

Zur Struktur eines optimal schutzwirksamen Waldbestandes gegen Rutschungen gibt es wenig wissenschaftlich gesicherte Informationen, da es sehr schwierig ist, Strukturmerkmale isoliert zu analysieren und Flächen von gleichem Waldzustand nach der Rutschungsdisposition der Standorte verzerrungsfrei zu stratifizieren. Viele Annahmen sind verbreitet, wissenschaftlich aber nicht gesichert (z.B. dass ein hohes Gewicht des Bestandes Rutschungen begünstigt). Es gibt aber Hinweise darauf, dass bei "gutem" Waldzustand die Rutschungsaktivität spontaner Rutschungen geringer ist, und die standörtlichen Dispositionsfaktoren extremer sein müssen, damit es zu Rutschungen kommt (vgl. RICKLI 2001, MARKART et al. 2007). Das Modell verlangt je nach Gefahrenstufe einen Deckungsgrad (ab Dickungsstadium) zwischen 45 und 65 % und einen Deckungsgrad von Starkholz kleiner 25 % (geringer Starkholzanteil an Ufereinhängen). Bei einem Anteil von tiefwurzelnden Baumarten von mindestens 35 % werden höhere Starkholzanteile günstig bewertet. Lücken von über 25 - 35 m Breite führen zu einer Verminderung der Schutzwirkung.

Nach den bisherigen Kenntnissen ist der Oberflächenabfluss unter Wald im Verhältnis zu anderen Vegetationseinheiten mit Ausnahmen generell niedriger. Das hängt vor allem mit der guten Infiltrationsleistung des Waldbodens zusammen. Die Niederschlagsinterzeption des Waldes hat einen verhältnismäßig geringen Effekt. Bei einer Auflockerung unter bestimmte kritische Grenzwerte kann aber die Infiltrationsfähigkeit herabgesetzt werden. Mit abnehmendem Überschirmungsgrad bestimmt der Deckungsgrad der Bodenvegetation das Abflussverhalten. Außerdem wird die Transpiration vermindert, die je nach Boden Speicherkapazitäten freihalten kann. Als ungünstig gelten auch überdichte Koniferenbestände, da benetzungshemmende Streuauflagen entstehen. Daher wurde je nach „Gefahrenstufe“ ein Deckungsgrad von Gehölzen ab Dickungsstadium von mindestens 45 bis 65 % und der Bodenvegetation (mit Jungwuchs) von mindestens 35 % als schutzwirksam bewertet.

Gesamtbeurteilung – Schutzwirkung und Stabilität

Maßnahmen im Schutzwald sind nicht nur notwendig, wenn die Schutzwirkungen vermindert sind. Auch bei ausreichender Schutzwirkung müssen Maßnahmen durchgeführt werden, wenn das nachhaltige Waldwachstum gefährdet ist. Daher muss auch die Stabilität der Bestände bzw. ihre Gefährdung durch verschiedenste biotische und abiotische Faktoren beurteilt werden. Die Ansprache der Stabilität bzw. der Gefährdungen der Stabilität wie z.B. durch Käferbefall oder Windwurfgefährdung erfolgt standardisiert in groben Gruppen, aber noch weitestgehend gutachtlich. Dafür gibt es noch keine geeigneten und evaluierten praktischen Schätzhilfen, die mit vertretbarem Aufwand angewendet werden könnten. Daher ist diese Erhebung mehr ein Dokumentationsstandard und eine Check-Liste, die Hilfestellung zur vergleichbaren Beurteilung von Situationen bietet, aber kein zwingendes Bewertungs- und Entscheidungssystem. Beeinträchtigungen der Stabilität bzw. Gefährdungen des Waldbestandes werden durch eine Verminderung der Schutzwirkung berücksichtigt (Gesamtbeurteilung).

ANWENDUNG, ZUVERLÄSSIGKEIT UND AUSBLICK

Das System wird derzeit beim ISDW-Programm angewendet und wurde in das Tiroler Schutzwaldcontrolling integriert. Im Gegensatz zum Schweizer Kontrollkonzept werden beim ISDW-Programm keine Beurteilungsstichproben (Weiserflächen) aufgenommen. Ähnlich wie beim Bayerischen Controlling erfolgt eine taxative Aufnahme der Indikatoren auf den Behandlungsflächen im Sinne einer Vollerhebung. Beurteilungsstichproben bergen die Gefahr der statistischen Verzerrung. Ein systematisches Stichprobensystem war beim ISDW-Programm aufgrund des Aufwands nicht möglich. Es werden nach Standort, Bestand und Einsehbarkeit homogene Einheiten im Wirkungsbereich der geplanten Maßnahmen von etwa 0,5 bis 3 ha gebildet und mit einem Merkmalschlüssel beschrieben. Der Zeitaufwand für eine Erhebung (ohne Wegzeiten, 1 Taxator) lag bei Tests im Mittel bei 20 Minuten (ANDRECS et al. 2006). In der Praxis muss mit einem mittleren Aufwand von etwa 30 Minuten und von etwa 5-10 Minuten für die Online-Dateneingabe gerechnet werden. Die Aufnahmen können beim Begang zur Planung der Maßnahmen gemacht werden.

Das System ist auf einfache praktische Umsetzbarkeit ausgerichtet, was immer zu Lasten der Datenzuverlässigkeit geht. Erste Erfahrungen zeigen eine mittlere bis hohe Zuverlässigkeit der Ansprachen (ANDRECS et al. 2006). Schwierig sind die Schätzung der Stammzahl in unregelmäßig bestockten Beständen und die Zuordnung der Reliefklasse. Auch Aspekte des Bestandesrisikos werden ohne detailliertere Richtlinie zum Teil unterschiedlich beurteilt. Ansprachen von Forstpraktikern bilden jedoch die Störungsresistenz im Allgemeinen gut ab. Letzten Endes entscheidet aber immer die Einschätzung des vor Ort Handelnden, dessen Beurteilung das System widerspiegeln soll.

Wie bei allen vergleichbaren waldbaulichen Richtlinien kann über die Validität noch nichts gesagt werden. Dazu wäre eine Zielanalyse erforderlich. Bei einer Zielanalyse wird überprüft,

- ob das Gefahrenpotenzial tatsächlich mit der Häufigkeit und Intensität von Naturgefahren-Ereignissen korreliert ist, und
- ob bei den definierten schutzoptimalen Waldstrukturen in Relation zu einem anderen Waldzustand tatsächlich weniger und kleinere Naturgefahren-Ereignisse auftreten.

Für eine Zielanalyse ist ein waldbezogenes Naturgefahren-Monitoring erforderlich. Mit der Standardisierung der Naturgefahren-Ereignisdokumentation (HÜBL et al. 2006) und der Einführung des WLV-Online-Ereignisportals wurden dafür Grundlagen geschaffen. Der waldbaulich relevante Informationsgehalt dieser Systeme ist aber gering. Für eine optimale Synergie müsste ein waldbaulicher Dokumentationsstandard integriert werden. Die Struktur des ISDW-Ansatzes begünstigt Zielanalysen, da Gefahrenpotenziale, Schutzwirkungen und die Stabilität nicht in einer Kennziffer vermisch werden. Als nächste Schritte sind eine Verbesserung des Systems durch Zielanalysen, die Abstimmung der Indikatoren mit den nationalen Waldinventuren im Alpenraum und die Konzeption von Best Practise Guidelines für Maßnahmen im Schutzwald auf Basis des ISDW-Ansatzes geplant.

LITERATUR

AndreCs, P., Oberndorfer, S., Perzl, F. (2006): ILUP-ISDW 2006. Initiative Schutz durch Wald: Machbarkeitsstudie am Beispiel Ybbstal. Endbericht im Auftrag der WLV Sektion Wien, Niederösterreich und Burgenland. BFW. Wien, Innsbruck.

- Frehner, M. (2005): Gebirgswaldbau - vom finanziellen Rückgrat der Berggemeinden zum Risikomanagement. In: Schweiz. Z. Forstwes. 156 (2005), 12: 516 – 520.
- Frehner, M., Wasser, B., Schwitler, R. (2005): Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern.
- Hübl, J., Kienholz, H., Loipersberger, A. (2006): DOMODIS – Documentation of Mountain Disasters. Internationale Forschungsgesellschaft INTERPRAEVENT, Schriftenreihe 1, Handbuch 1. Klagenfurt.
- Hübl, J., Bunza, G., Hafner, K., Klaus, W. (2003): ETAlp – Erosion, Transit in alpinen Systemen. „Stummer Zeugen Katalog“. Projektteam ETAlp WLVB/BMLFUW.
- Kalberer, M. (2007): Waldwirkung gegenüber Steinschlag. Untersuchungen zur Quantifizierung und Optimierung der Schutzwaldleistung. VDM Verlag. Saarbrücken.
- LRH-Vorarlberg (2005): Prüfbericht über das Forstwesen des Landes Vorarlberg. Landes-Rechnungshof Vorarlberg. Bregenz.
- Lüscher, P., Zürcher, K. (2003): Waldwirkung und Hochwasserschutz: Eine differenzierte Betrachtungsweise ist angebracht. In: Hochwasserschutz im Wald. LWF-Wissen. LWF-Bericht Nr. 40.: 30-33.
- Markart, G., Perzl, F., Kohl, B., Luzian, R., Kleemayr, K., Ess, B., Mayerl, J. (2007): 22. und 23. August 2005 – Analyse von Hochwasser- und Rutschungsereignissen in ausgewählten Gemeinden Vorarlbergs. BFW-Dokumentation 5/2007. Wien.
- Perla, R., Martinelli, M. (1976): Avalanche Handbook. Agriculture Handbook No. 489. U.S. Department of Agriculture. Forest Service.
- Perzl, F. (2005): Verbesserung der Evaluierung geförderter Schutzwaldmaßnahmen im Rahmen der VOLE auf ausgewählten Standorten unter Heranziehung aktueller Methodenentwicklungen im In- und Ausland (Vertiefende Evaluierung). Endbericht im Auftrag des BMLFUW. BFW. Wien.
- Rickli, C. (2001): Vegetationswirkungen und Rutschungen – Untersuchung zum Einfluss der Vegetation auf oberflächennahe Rutschprozesse anhand der Unwetterereignisse in Sachseln OW am 15. August 1997. Eidg. Forschungsanstalt WSL. Birmensdorf.
- Schöner, W., Mohnl, H. (2003): Schneehöhe und Schneebedeckung. In: Hydrologischer Atlas Österreichs. IWHW BOKU-Wien, BMLFUW.
- Scholles, F. (2004): Die Präferenzmatrix. In: Fürst, D., Scholles, F. (2004): Handbuch. Theorien + Methoden der Raum- und Umweltplanung. HzU – Handbücher zum Umweltschutz. Band 4. Dortmunder Vertrieb für Bau- und Planungsliteratur. Dortmund.
- UBA (2006): Stellungnahme des Umweltbundesamtes als Umweltstelle des Bundes zum Umweltbericht vom 11.05.2006 zur strategischen Umweltprüfung gemäß LR 2001/42/EG für das Österreichische Programm für die Ländliche Entwicklung 2007-2013. Umweltbundesamt GmbH. Wien.
- V-EG Nr. 1698 (2005): Verordnung (EG) Nr. 1698/2005 des Rates vom 20. September 2005 über die Förderung der Entwicklung des ländlichen Raumes durch den Europäischen Landwirtschaftsfond für die Entwicklung des ländlichen Raumes (ELER). Amtsblatt der Europäischen Union L 277.
- Weiß, G. (1999): Die Schutzwaldpolitik in Österreich. Einsatz forstpolitischer Instrumente zum Schutz vor Naturgefahren. Schriftenreihe des Instituts für Sozioökonomik der Forst- und Holzwirtschaft. Band 39. BOKU Wien.
- Weißbacher, J. (2003): Österreichisches Programm zur Entwicklung des ländlichen Raumes (VOLE). Midterm-Evaluierung. Subprogramm Forstwirtschaft. Teil Schutzwaldverbesserung. Endbericht, überarbeitete Version. Im Auftrag des BFW. Wien.

AVALANCHE SAFETY CONCEPT FOR A RAILWAY STATION IN AUSTRIA

TECHNICAL AND TEMPORARY MEASURES – A HAZARD ANALYSIS

Rachoy Christian¹, Bacher Michael², Schekulin Clemens¹, Hübl Johannes²

ABSTRACT

The Tauernbahn is a railway line crossing the eastern part of the ‘Hohe Tauern’ range with a tunnel of 8.6 km length. On its northern end in the narrow Anlauf valley a railway station is located. The whole area of the railway station can be considered as an avalanche prone area. From the south-west exposed slope the Feuersang avalanche has reached several times the area of the railway station.

A safety concept for the affected area is presented. Starting from the actual technical measures in the starting zone of the avalanche new potential release areas are selected.

Wind has a great influence on the snow deposit in the starting zone. Therefore a detailed analysis of the snow cover distribution has been done. Investigations ended up in calculating run-out distances and deposit heights of the Feuersang avalanche for selected release zones using new avalanche simulation techniques.

Technical and permanent measures have been compared with each other to develop an optimized hazard management. A decision support for the avalanche warning commission is presented.

Keywords: Avalanche protection, rail way, infrastructure

INTRODUCTION

The railway station Böckstein, situated in the Anlauf valley (Gastein, Salzburg), is part of a very important traffic line to ensure the north-south connection in central Austria for both, the transport of cargo and the passenger transportation. The area of the railway station is endangered by the ‘Feuersang’ Avalanche. Therefore technical measures have been set up in the release area since the opening of the railway line in 1905.

In Austria the safety of railway infrastructure is regulated by law. The railway company is fully responsible for carried passengers and cargo (Rachoy, 2004). Due to this reason the Austrian Federal Railway Company uses a multifunctional avalanche control system for their tracks and railway stations. Temporary and permanent measures are combined. Technical control measures are set in the starting zones and in the run out areas. In addition to that special trained employees are organized in avalanche warning commissions.

¹ Department of Natural Hazards Management, Austrian Federal Railways, Railnet Austria Inc., Vienna, Austria (Christian.rachoy@oebb.at) / Phone: +43 93000 34418)

² Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Vienna, Austria (michael.bacher@boku.ac.at) / Phone: +43 1 47654 4353)

The latest technical measures projected by Rothuber (1995) and their ongoing realization are used to work out a safety concept for the railway station according to proposed analyses (Wilhelm 1997; Wieshofer 2003; BUWAL 1999).

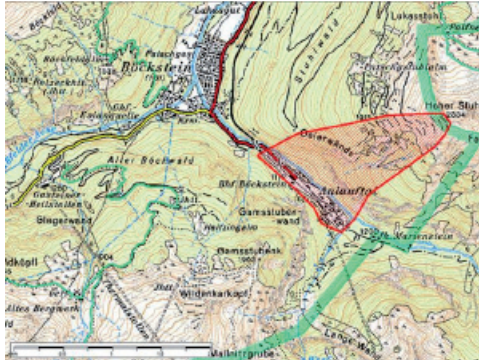


Fig. 1: The project area in the Anlauf-valley, close to Bad Gastein (Salzburg, Austria) Map taken from Austria Map, Federal Austrian Cartography Institute

The potential release area of the 'Feuersang' Avalanche covers an altitude range between 1900m and 2330m with a main exposition of SW. It is located in the lee side of a steep ridge. If wind is blowing from the north important snow drift and deposition can be observed in the release area. The mean inclination of the whole project area is about 38° with an average width of about 250m.

Several avalanches have been observed since the opening of the railway line. Two of them (winter 1922 and 1970) reached the railway station and were responsible for important damages of the local infrastructure. Local people described them as powder snow avalanches. A big dense snow avalanche was observed in springtime 1975. The avalanche destroyed parts of the defense structures in the release area and reached the bottom of the valley without damaging the local infrastructure. In the last years on the one hand new technical countermeasures were constructed and at the other hand intensive maintenance work has been done to ensure the functionality of older measures like stone walls or snow supporting structures. These efforts lead to a more detailed investigation regarding the avalanche risk for the exposed railway station.

MOTIVATION

The motivation for the avalanche safety concept is first of all a better understanding of both, the avalanche hazard and the essential actions for the local railway authority in case of danger of avalanches. According to the actual avalanche danger level different types of actions should be set avoiding victims or damage on infrastructure.

To achieve a higher security standard key parameters have to be investigated more in detail.

Wind influence: Observations have shown that during the winter season the snow height varies a lot over the whole project area. This can easily be explained by wind drift and the different expositions of the affected areas. For a detailed investigation we have to quantify this influence and to study the snow cover distribution in the release area. The goal of this investigation was to correlate the wind speed with the snow deposit and thus get a map with the adequate snow heights for the affected area.

Mode of functioning of technical measures: The set-up of technical structures in the release area started immediately with the opening of the railway line. Most of these old structures have been rebuilt or intensively maintained in the last years. Due to the strong wind influence in the release area the mode of functioning for those structures should be investigated in order to adapt future work according to the meteorological conditions.

Close to the railway station a huge catching dam was started to be built in order to prevent flowing snow masses to reach the infrastructure of the Austrian Federal Railways. Due to the huge amount of necessary building material the dam is still under construction. Nevertheless the influence of the deposition of avalanching snow masses should be investigated.

New defense structures in the release area: Most of the potential release area is already covered with technical defense structures to prevent snow masses to slide down the slope. Despite the effort there are still some critical areas without any technical measures. The investigation should outline potential future areas for further constructive measures. Beside technical permanent measures also temporary actions should be considered in the investigations. Two main points should be highlighted. First the mode of functioning of such a measure and second, a comparison between temporary and permanent actions regarding the price and the safety level reached with the particular measure.

Historical events and numerical simulation: Historical events have already been mentioned above. An additional goal of the investigation is to compare these events with numerical simulations. We expect to better estimate the order of magnitude for a future event and to precise the forecast for pressure-, snow depth or velocity distributions in the affected area.

Decision support for the avalanche warning commission: The experts of the warning commission get informations about meteorological data from observation stations located in the avalanche starting zone. Wind speed, snow height, air temperature, precipitation and humidity of air is recorded and transferred to the commission. The investigations should combine collected data with knowledge about the snow cover distribution to develop a decision support system for the responsible persons.

METHODS

For further analyses we first identified key parameters responsible for the avalanche hazard. As stated above the wind influence on snow deposit in the project area seems to be a major challenge (HÜBL et al. 2006 [1]).



Fig. 2: Example of a permanent meteorological station in the release zone

Local snow cover distribution: Therefore we studied meteorological parameters like wind speed, air-temperature, humidity of air and parameters of the local snow cover like snow height, snow cover distribution and snow density.

We used both, permanent meteorological stations (see Fig. 2) and mobile stations. Wind has a great influence on the snow cover distribution in the release area. Main wind directions are from the north and the south (see Fig. 3).

Where no direct access was possible technical measures have been used to determine the snow height in the project area. Steel supporting structures have horizontal bars enabling snow height measurements with a telescope. This type of remote measurements can be done with an accuracy of 10cm. Snow height measurements in accessible areas have been done with a common probe, 250cm long. Remote measurements as well as in situ observations have been done on predefined locations indicated in Fig. 4.

Recorded data from our field observations have been used to classify the snow height distribution in the release area according to the sensitivity of the wind influence. In a next step we correlated the hand-made measurements in the release area with measurements from a permanent meteorological station on the windward side of the project area. This should enable the authorities to estimate more reliable snow height distributions at the Feuersang slope including also the wind influence.

An example for this type of correlation can be seen in Fig. 5 where the forecasted snow height is plotted for a measured value of 1.0 m at the permanent meteorological station. Wind influence has been taken into account for the calculations.

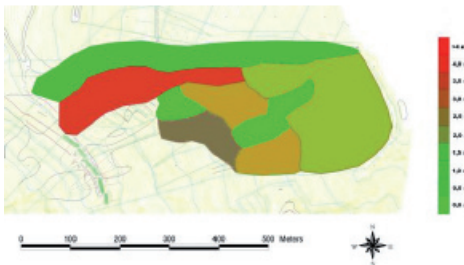


Fig. 5: A main classification of areas affected to snow deposit and –erosion.

using a Type-1 Gumbel distribution function of the form

$$F_x = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-\alpha}{\beta}\right)\right)$$

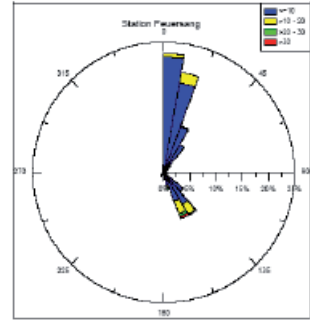


Fig. 3: Wind direction and wind speed of winter 2004/2005 of a permanent station. Colours are indicating the wind speed: stronger wind is blowing from the south.

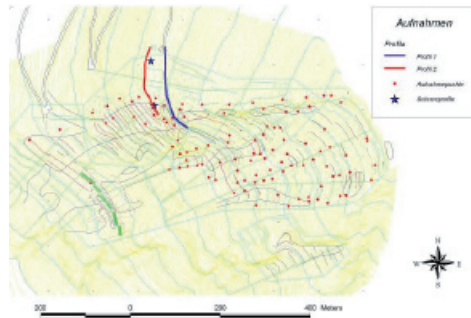


Fig. 4: Locations of snow height measurements (red points). The solid lines are indicating the paths were wind speed measurements have been done with a mobile wind sensor and snow pits have been dug for detailed analyses of the snow cover.

Extreme events: To estimate extreme events in the project area meteorological data (snow heights) from surrounding weather stations have been used.

For further data analyses, time series of surrounding weather stations have been used as well as recent data from meteorological stations close to the release area of the Feuersang.

Long lasting time series have been extrapolated to a 150-year Event

(Equ. 1)

Numerical simulation models: to estimate the run-out distance of an avalanche from the Feuersang and to calculate the impact on the infrastructure we used several types of avalanche simulation models. The 1D model AVAL-1D (Christen et al., 2002), the 2D-models ELBA+ (Volk, 2005) and SAMOS (Sampl and Zwinger, 2004) and for the simulation of the three-dimensional powder part of the avalanche we also used SAMOS. For all models a DEM is necessary as a primary input parameter. Release areas and the related snow height have been defined according to the in situ observations. Additionally entrainment sections and resistant areas have been chosen according to the needs of each model (HÜBL et al. 2006 [2]).

Technical measures: state-of-the-art solutions of permanent avalanche protection measures are on-site in the release area of the Feuersang slope but do not cover the whole range of potential starting zones. Therefore permanent and temporary actions are compared according to their protective means.

HAZARD ANALYSES

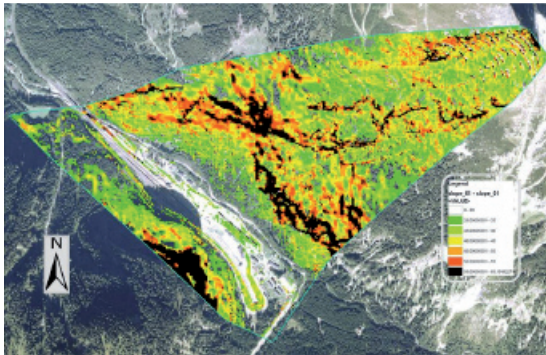


Fig. 6: Inclination of the project area. Only potential release areas with inclinations more than 28° got a related colour.

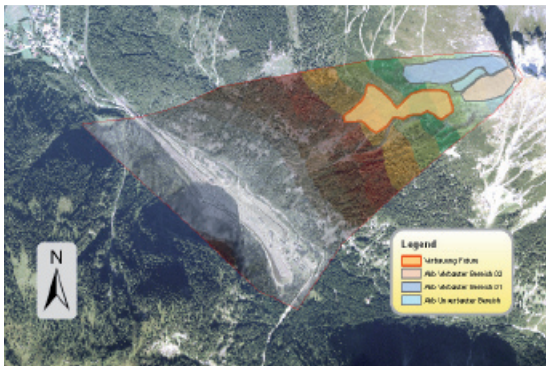


Fig. 7: Release areas after detailed investigation taking into account, snow deposit and erosion by wind and technical measures. For final calculations we used the area with the orange border where actually no technical counter measures are installed.

In a first step of our analyses we focused on the characteristic of possible release areas taking into account the observations and measurements in the upper part of the Feuersang slope as well as the morphology. Existing technical measures have also been considered for the definition of release areas.

Release areas: the overall potential release area has first been defined according to the topology (see Fig. 6) and the snow deposit (see Fig. 5).

A more detailed definition of potential release areas was made by taking into account the influence of technical measures combined with the overall wind influence. These areas have been outlined as seen in Fig. 7.

Snow height: The snow height in the relevant release area was calculated as stated above (see chapter **METHODS**). Additionally the wind influence, the altitude and the inclination was taken into account according to the Swiss guidelines (BUWAL 1990).

Thus we got an average snow height for our release area of 110cm for a 150-year event. Using the models mentioned above we started numerical simulations with the elaborated parameters and plotted the result on an orthophoto as shown in Fig. 8.

The simulation model ELBA+ shows the influence of the deflection dam which is still under construction. The avalanching snow masses are not reaching the critical areas in the railway station.

The avalanche simulation with the SAMOS model (Fig. 9) shows that in the case of a 150-year event the avalanching snow masses will come to rest along the railway tracks of the railway station Böckstein. The average width of snow deposits on the rail tracks where the dynamic pressure of avalanching snow masses is bigger than 10kPa is about 125m (see also Tab. 2).

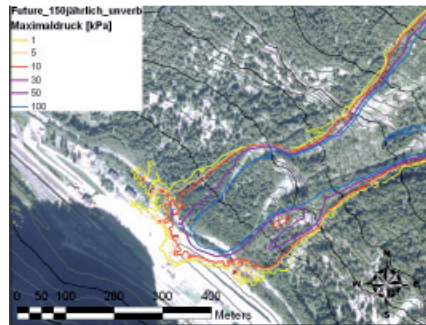


Fig. 8: Result of a 150-year event (pressure) with the avalanche simulation model ELBA+. One can identify the avalanche catching dam at the bottom of the valley in the lower right corner of the picture. Part of the deposition reaches the area of the railway station.

EXPOSURE ANALYSES

Austrian Federal Railways are running a car shuttle train crossing through the ‘Hohe Tauern’ Alpine range between Böckstein and Mallnitz. So the railway station is frequented by people who want to pass through the tunnel either with or without a car. To get on the train by car people have to wait for the incoming train in the avalanche-prone deposit area. Additionally international trains and rail cargo are passing through the Böckstein railway station without stopping. See for details of rail-traffic through the tunnel Tab. 1 (HÜBL et al. 2006 [2]).

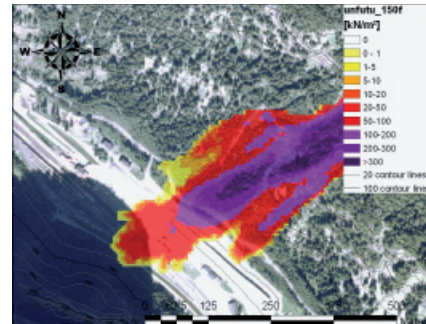


Fig. 9: Result of a 150-year event (pressure) for a dense snow avalanche of SAMOS. Some parts of the dense snow avalanche are estimated to reach the area of the railway station including rail tracks (HÜBL et al. 2006 [3]).

Tab. 1: Rail traffic between Bad Gastein and Mallnitz / Obervellach

	Length of train [m]	Number/day	Number/h	Interval [min]	%
Intercity rail traffic	200,00	20,00	0,83	72,00	12,70
Short-distance traffic	100,00	23,00	0,96	64,20	14,29
Car-transport	100,00	33,00	1,37	43,80	20,95
Transportation of cargo	500,00	73,00	3,04	19,80	46,35
Maintenance traffic	20,00	9,00	0,37	160,20	5,71
Sum	-	158,00	6,57	9,13	100,00

There are three rail tracks in the railway station whereas track 1 is used for the car transportation through the tunnel. Intercity and short-distance traffic are using track 1 and track 2 in equal shares according to the direction of travel. Track 3 is used by maintenance

Tab. 2: Total length of snow deposit on rail track 1 for different return periods (T) and varying snow heights in the release area.

T	3d-snow height [cm]	Deposit length [m]
<30	$h < 143$	86,70
30-75	$143 < h < 162$	111,97
75-125	$162 < h < 174$	144,78
>125	$h > 174$	143,20

work only. Track number 1 is the closest regarding the avalanche track and track number 3 is the furthest rail track. Deposit lengths and deposit heights over the rail tracks are taken from numerical simulations.

TECHNICAL MEASURES

To avoid an event with significant deposit in the area of the railway station, technical measures either in the release area or in the deposit zone have to be installed.

Since 2002 a catching dam is constructed in the deposit zone of the avalanche. The dam is about 250 m long and about 30 m high. Due to the huge amount of building material the construction of the dam will be finished in 2008.

The most efficient technical measures are supporting structures in the starting zone of the avalanche. Different types are used in this area. The most common type is the steel snow bridge. But also snow nets and stone walls are used. Against snow drift special drift fences are constructed.

Tab. 3: Existing technical measures in the starting zone with the overall construction length.

Technical measure type	Length [m]
Steel snow bridges	4.500
Snow nets	500
Stone walls	1.200
Drift fences	80
Sum	6.280

These types of permanent technical measures are already on-site but do not cover all potential release areas. Therefore selected temporary actions are analyzed and compared to permanent measures according to their financial and safety input.

Tab. 4: Comparison between permanent and technical measures based on a price level 08/2007. No maintenance work has been considered.

Technical measure	permanent	temporary	Comments	Price (one-time installation plus explosive)	ranking	Quantity	Total price (one-time)	Price per year
Supporting structures	+	-	+ permanent support even with bad weather - not working, if snow height overcomes constructive height - expensive	about 1000 €/m	4/5	about 400m/h a	2.820.000 €	
Avalanche Guard	-	+	+ can be installed outside the starting zone. + can reach several points in the starting zone - limited number of shots - shots can be deviated by strong winds - danger from avalanches of the upper part	about 75.000 € plus about 40 € / shot	3/5	1	75.000 €	400 €
Gaz.Ex	-	+	+ highly efficient due to explosion above the snow cover - have to be installed directly in the starting zone - efficiency decreases with lower inclination (< 35°)	about 70.000 € plus about 2-4 € / shot	3/5	1	70.000 €	40 €
Hand triggered	-	+	+ explosive can be placed exactly where it is needed - helicopter and good weather needed for triggering	about 900 € a flight including the explosive	2/5	-	-	10.800 €

The potential avalanche starting zone where actually no technical measures have been built covers an area of about 7.05 ha. This area has been considered to calculate the costs of future permanent measures in the above table.

AVALANCHE WARNING COMMISSION

Conferring to the high security level of Austrian railway tracks a multifunctional avalanche control system is used. Together with the above described technical measures an avalanche warning commission is installed. The members of the commission are special trained employees of the railway company. They must have experience and knowledge about the local avalanche situation. The executive work of the commission is described in the “Avalanche warning system for the avalanche warning commission”. The duty of the commissioners is to watch the weather forecasts, the local meteorological data, and official avalanche bulletins. The members of the commission also make snow pits to analyze the snow stratigraphy and observation flights per helicopter.

The warning scale is conferring to the European avalanche warning system. So the warning levels can be compared to all official warning levels of the governmental avalanche warning system.

Tab. 5: Avalanche danger levels and the local actions regarding the railway station Böckstein.

Avalanche danger level	Action
1	No actions
2	No actions
3	The warning commission is on duty
4	According to the actions decided at level 3 the car shuttle train is closed
5	The total track is closed

Due to the special wind situation and the snow drift distribution in the starting zone of “Feuersang” avalanche different meteorological criteria measured by automatic stations in the release area are now combined as decision support for the avalanche warning commission. During a snow fall period snow can be transported into well protected

areas by wind (see areas of erosion and deposit in Fig. 5). More critical are situations if there is heavy snow fall and no wind: snow is than deposited mainly in unprotected areas where no supporting structures are able to stabilize the snow pack.

Tab. 6: Decision support for critical meteorological situations according to the snow height, wind speed and air-temperature for danger levels 4 and 5

3-d-snow height [m]	Presence of Wind / Temperature	Existing snow height at the observation station [m]	Danger level
0,75 m	Temp < 0°C / wind	2,0 – 2,50	4
	No wind	-	
> 0,75 m	Temp < 0°C / wind	>2,5	5
	No wind	-	

CONCLUSION

Some of the most important European North-south transversing railway tracks are running through the Austrian Alps. These tracks play a very important role in the Austrian railway system. According to law the Austrian Federal Railway Company is responsible at the one hand for the safety and on the other hand for the high availability of these transnational corridors.

To fulfill the high demands the investigated railway station Böckstein is protected by using a multifunctional avalanche control system.

The influence of wind and of snow drift is the most important avalanche building factor in the investigated area. The direction of wind and the wind speed are main inputs for the decision support system. Heavy snow fall in times with no or less wind leads to a deposit of snow in unprotected areas. This observation was verified by the snow distribution model. These areas are now under special observation. In the next winter it is planned to use Laser-Scanning images to get more detailed information about the snow distribution conferring to wind speed and wind direction.

Nearly 75% of the starting zone is protected by supporting constructions like steel snow bridges, snow nets or stone walls with a total length of about 6.280 m. These technical measures are planned according to the Swiss guidelines (BUWAL, 1990) and constructed for a 150-year event. The constructions are controlled and maintained by the railway authority and the avalanche warning commission.

The deflection dam which is built in the deposit zone of the avalanche is under construction and will be finished in 2009. This control measure will protect the railway station against dense snow avalanches.

The avalanche safety concept for the investigated area contains technical and organizational countermeasures. About 7 hectares of the avalanche release zone are currently not controlled by supporting structures. Different temporary and permanent measures are described and compared to each other (Tab. 4). Referring to the high security level for railway tracks a permanent solution should be aimed.

In addition to the technical counter measures the importance of organizational tasks is discussed in the present paper. The members of the Avalanche warning commissions will be supported in their decisions about danger levels. Regarding the massive influence of wind on the danger level the data of the meteorological stations is correlated with the snow distribution model. So the existing snow height at the observation point, the wind situation and the snow fall intensity leads to a helpful support for the avalanche warning commission.

LITERATURE

BUWAL (1999): Umwelt-Materialien Nr. 107/I Naturgefahren. Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Methode.Hsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

BUWAL (1990): Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Hsg.: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.

CHRISTEN, M., BARTELT, P. & GRUBER, U. (2002): AVAL-1D: An avalanche dynamics program for the practice. Proceedings of the International Congress Interpraevent 2002 in the Pacific Rim, 14-18 October 2002, Matsumoto, Japan. Vol. 2, pp. 715-725.

GUBLER, H. (1995): Risikoanalyse und Sicherheitsplanung ÖBB-Ausbaustrecke Böckstein; Davos 1995.

HÜBL, J., KLEEMAYR, K., CHIARI, M., BACHER, M. (2006): Sicherheitsstudie Feuersanglawine, Modul 1: Ermittlung der flächigen Schneehöhenverteilung und Wirksamkeitsbeurteilung der Verbauungsmaßnahmen; IAN Report 100 Modul 1, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur - Wien (unpublished)

HÜBL, J., SCHEKULIN, C., BACHER, M., SAILER, R., KLEEMAYR, K., (2006): Sicherheitsstudie Feuersanglawine, Modul 2: Risikoanalyse und Entscheidungsmodell; IAN Report 100 Modul 2, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur - Wien (unpublished)

- HÜBL, J., KAPPELLER, G., SAILER, R., KLEEMAYR, K., BACHER, M., (2006): Sicherheitsstudie Feuersanglawine, Modul 3: Überprüfung der Wirksamkeit des Lawinenbrechers; IAN Report 100 Modul 3, Institut für Alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur - Wien (unpublished)
- KEILER, M. et al. (2004): The adaptation of technical risk analysis on natural hazards on a regional scale, Berlin-Stuttgart 2004.
- RACHOY, C. (2004): Avalanche protection of alpine-traversing railway lines in Austria, Interpraevent Congress 2004, Riva del Garda.
- ROTHUBER, K. (1995): Integrales Verbauungsprojekt Feuersanglawine-Böckstein, 1995.
- SAMPL, P., ZWINGER, T. (2004): Avalanche simulation with SAMOS, Annals of Glaciology, Volume 38, 393-398.
- VOLK, G. (2005): ELBA+ Handbuch 25/04/2005, Pressbaum, 2005.
- WIESHOFER, S. et al. (2003): Risikoanalyse (Wintersicherheit) im Streckenabschnitt Pass Lueg, IAN-Report 0086, Wien 2003.
- WILHELM, C. (1997): Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz; Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmaßnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung, Mitteilungen Nr. 54, Davos 1997.

LANDSCAPE EVALUATION MODEL FOR GREEN BELT PLAN: AN APPLICATION TO ROKKO MOUNTAIN RANGE IN SETO INLAND SEA NATIONAL PARK

Tetsuo Sakaguchi¹, Motomi Iwama¹, Kazuhiko Nakane¹, Koji Goto² Koichi Ishio²

ABSTRACT

Due to the Hyogo-ken Nanbu Earthquake on Jan. 17, 1995, the ground of the Rokko mountain range was loosened. To eliminate the risk of sediment-related disasters under heavy rainfall and to control the expansion of urbanization at the hillside, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Hyogo Prefectural Government, and related cities have been striving to foster this area as an extensive green belt. The Rokko mountain range is part of Seto Inland Sea National Park. Located behind the Hanshin urban area, this mountain range is visible from almost everywhere, from mountain foot to waterfront. It is also the most spectacular viewing point to overlook the Seto Inland Sea and Kobe City known for “ten-million-dollar night view”. In evaluating the landscape of a green belt, it is necessary to consider such characteristics as tree growth and seasonal change. Based on this concept, we developed a forest landscape evaluation model that can perform objective and quantitative evaluation utilizing a psychological method (semantic differential technique) and statistical methods (factor analysis, regression analysis).

Keywords: Landscape evaluation, green belt plan, development of regional landscape

INTRODUCTION

In June 2004, the Landscape Act was enacted as the first comprehensive act on landscape in Japan. With its enactment, the Rokko Mountain Range Green Belt Development Project (hereinafter referred to as the “current project”) was established as a model project for landscape development.

The range of the current project stretches over 30 km east to west, including Kobe, Ashiya, and Nishinomiya cities. This mountain range is part of Seto Inland Sea National Park. It is not only highly acclaimed with a picturesque view from the sea side, but also familiarized with citizens as a recreational site for hiking and others.

Because the work of this project, such as maintenance of trees and conversion of forest physiognomy, extend over a long period, it is important to evaluate landscape consecutively as the work proceeds.

¹ Sabo Frontier Foundation: Sabo Kaikan Annex 6F, 2-7-4, Hirakawa-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0093, Japan (Phone: +81-3-5216-5872, Fax: +81-3-3262-2202, email:kikaku@sff.or.jp)

² Rokko Sabo Office, Kinki Regional Development Bureau, Ministry of Land,Infrastructure and Transport: 3-13-15, Sumiyoshi Higashi-cho, Higashinada-ku, Kobe-shi, Japan

For that purpose, we have developed a landscape evaluation model that can perform objective and quantitative evaluation of the sabo-related green belt plan as well as consecutive evaluation of landscape changes over the long project period, using a psychological method (semantic differential (SD) technique) and statistical methods (factor analysis, regression analysis).

PRECONDITIONS RELATED TO EVALUATION MODEL

1) Position of Rokko Mountain Range Landscape

The target mountain slope of the current project is located behind Kobe and other neighboring cities in the Hanshin area and is visible from almost any places in the area. Forests on this mountain range are seen at various distances by people who are at residences, public spaces, traffic networks running east to west like railways and roadways, as well as by those who take numerous hiking routes.

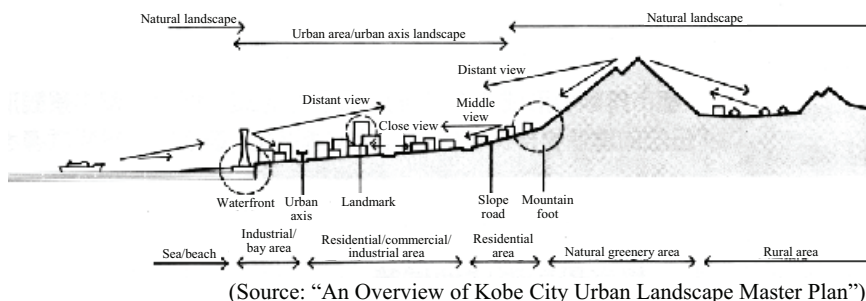


Fig. 1: Various views from Mt. Rokko and the Hanshin area

At this mountain range, forests having a sediment-related disaster prevention effect will be improved as the current project advances. Therefore, it is necessary to prepare a landscape evaluation model to evaluate if those forests will contribute to the development of a favorable landscape in this area.

2) Landscape Development in Accordance with Forest Growth

In the current project, to improve the functions of sediment-related disaster prevention, thinning, pruning, and conversion of forest physiognomy will be carried out in the forests of black locust (*Robinia pseudo-acacia*), and maintenance and conservation attempted in the forests of Konara oak (*Quercus serrata*) and Abemaki oak (*Quercus variabilis*).

The improved forests will continue to grow and undergo forest succession under the influence of a law of nature such as plant invasion and change of tree species.

The growth of trees and their maintenance by forest improvement work continue for decades. Therefore, it is important to establish a landscape evaluation model that can evaluate forest changes due to improvement work and natural succession continuously.

FLOW OF MODEL CREATION

Firstly, to identify the basic evaluation structure of the present landscape, factor analysis was conducted using the SD technique.

Next, using the results of factor analysis, formulation of Quantification Category I was attempted, and then a landscape evaluation model that can quantitatively evaluate the landscape components was created.

1) Selection of Viewing Positions and Landscape Photographing

As the forests for evaluation, four representative forests existing in this mountain range which are either an improvement target or a target of forest physiognomy conversion were selected: target forest (deciduous: Konara oak), target forest (evergreen: ubamegashi oak (*Quercus phillyraeoides*)), abandoned forest (black locust), and afforestation site. As the viewing positions, 18 positions located at varying liner distances and providing a forest inside view, close view, and middle/distant view were selected. The positions of a close view and a middle/distant view were determined considering public spaces and landmarks because they are located in the middle of the urban area.

To identify the effect of seasonal changes, photos were taken at the same positions in all four seasons: spring (fresh greenery season), summer, autumn (coloring season), and winter (leaf-fall season).

2) Method of Questionnaire Survey

Because the SD technique was intended to analyze the present landscape of the Rokko mountain range objectively, it was desirable to choose respondents from general citizens. However, because some expertise was required, a total of 53 persons including sabo and landscape-related officials were selected as the respondents.

In the questionnaire, 9 contrastive adjectives including two overall indicators of 'beautiful - ugly' and 'comfortable - uncomfortable' were adopted.

Also, for the evaluation by a quantification theory, five-grade system, +2, +1, 0, -1, and -2 was used.

Typical photos used for the survey are shown in Fig. 4. Four to five photos showing a forest inside view to a distant view were taken for each tree species.

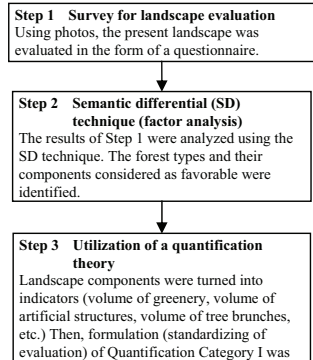


Fig. 2: Flow of model creation

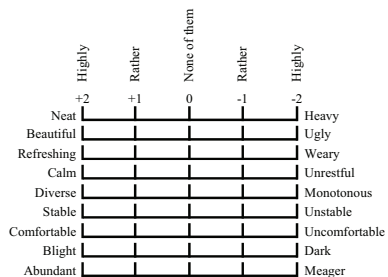


Fig. 3: Contrastive adjectives used in the survey



Fig. 4: Photos used for a questionnaire survey

RESULTS OF SURVEY

1) Factor Analysis

In the factor analysis, analysis was performed by distance group and the composition of evaluation factors grasped. Compared with that of middle and distant views, forest appearances in a forest inside view and a close view varied significantly. Therefore, we considered that the relationship with distance should be evaluated.

Tab. 1: Loads of factors obtained in the survey

Contrastive adjective	Forest inside view		Close view		Middle/ distant view	
	Factor I	Factor II	Factor I	Factor II	Factor I	Factor II
Neat - heavy	0.034	0.750	0.094	0.595	0.120	0.626
Refreshing - weary	0.454	0.785	0.498	0.705	0.391	0.790
Calm - unrestful	0.604	0.570	0.549	0.655	0.548	0.680
Diverse - monotonous	0.655	0.121	0.659	0.160	0.523	0.166
Stable - unstable	0.688	0.394	0.619	0.544	0.639	0.556
Bright - dark	0.470	0.612	0.633	0.437	0.549	0.469
Abundant - meager	0.849	0.181	0.863	0.264	0.873	0.238
Eigenvalue	2.42	2.08	2.52	1.86	2.21	2.09
Cumulative contribution	34.53	64.25	36.03	62.63	31.59	61.48

Also, to find an evaluation difference by season, evaluation results of existing vegetation (evergreen, deciduous) in the Rokko mountain range were analyzed.

Table 1 shows the loads of factors in each distance group which were obtained by the SD technique. These loads show the intensity of correlation between factors and contrastive adjective groups. The loads having a value of 0.6 or more were highlighted by bold and italic characters. Concerning Factor I, contrastive adjectives, ‘diverse - monotonous’, ‘stable - unstable’, and ‘abundant - meager’ are identical in all distance groups. Concerning Factor II, adjectives ‘refreshing - weary’ and ‘neat - heavy’ are identical in all distance groups. As the expression describing those common adjective groups, ‘naturalness’ was chosen for Factor I and ‘comfort’ for Factor II. Although forest appearances vary by distance, it was found that forest landscape was evaluated based on these two evaluation axes: ‘naturalness’ and ‘comfort’.

Next, to find the relationship between forest types/seasons and the two factors, score diagrams (spatial figure of factors) were prepared on each photo by plotting the scores of each factor. The obtained scores indicate the effect of those factors. The larger the obtained score (absolute value), the larger the effect of that factor.

Even in the same season, both factors gained a high score in the case of a target forest (deciduous) in a forest inside view and a target forest (evergreen) in close and middle/distant views. Although different landscape factors were evaluated, the obtained results were rather identical (Fig. 5).

Concerning the seasonal differences, the obtained scores of the ‘naturalness’ factor in a close view did not differ much in all three leafy seasons even though the tree species were different. But, the score difference was relatively significant in winter. It was inferred that the presence of greenery had an effect on the evaluation results of ‘naturalness’.

As to the forest inside view, the obtained scores of ‘naturalness’ varied little in all seasons in the case of evergreen forests. But, the scores of ‘naturalness’ and ‘comfort’ differed significantly by season in the case of deciduous forests. It can be said that color and shape of leaves, such as fresh greenery, autumnal coloring, and fall of leaves, had an effect on the evaluation results.

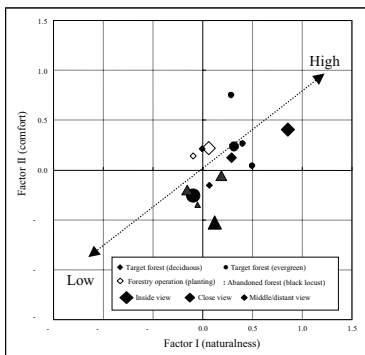


Fig. 5: Spatial distribution of factors by distance and tree species

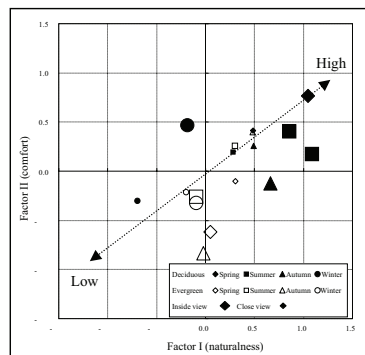


Fig. 6: Spatial distribution of factors by season

2) Analysis by Quantification

In the quantitative analysis, referring to the results of factor analysis, the area and quality (shape, distribution, etc.) found in each photo were selected as the explanatory variables which will be used as a feedback to future landscape monitoring and forest improvements. Then, through the analysis using Quantification Category I, the contribution ratio of each explanatory variable to target variables (overall indicators) was identified and utilized for the creation of a quantitative model.

Because the obtained results were rather identical even though different landscape factors at different distances were evaluated (Fig 5), we considered that explanatory variables should be extracted by distance group.

The quantitative explanatory variables are those that can measure the greenery area in a photo, such as ‘area of green leaves in the forest’, ‘area of withered branches due to defoliation’, and ‘area of withered grass’. These explanatory variables are common to each distance group. Fig. 7 shows a measurement example of explanatory variables using a photo.

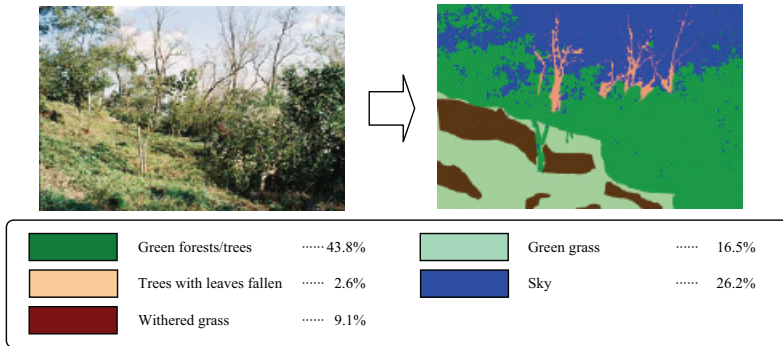


Fig. 7: Measurement of quantitative explanatory variables

Qualitative explanatory variables are those that can evaluate the change of outside features qualitatively and show the results in scores. They include variables related to changing outside appearance of deciduous trees, such as ‘shape of trees’ and ‘conditions of grass’.

Considering that the area and appearance (neat or messy) of artificial structures existing in front of the forest might have some effect on evaluation results in the case of middle and distant views, they were also included in the explanatory variables. The results of extraction are shown in Table 2 (the bold characters in the table show those found to have a strong effect by Quantification Category I).

Tab. 2: Extraction of explanatory variables

Distance group	Explanatory variable		Measurement item/criterion
Forest inside	Quantitative explanatory variable	Green trees Defoliated trees Green grass Withered grass Sky and open space	Trees and forests with green or colored leaves (including shrubs) Defoliated trees and forests, trees having trunks without leaves (including shrubs) Green herbaceous plants Withered herbaceous plants Sky seen above or from among trees (no distinction made between clouds and the blue sky)
	Qualitative explanatory variable	Fall or non-fall of leaves Shape of trees Conditions of grass	Fall of leaves is extensive Trunks and branches are neat with little bending and crossing Grass is cut or neat enough
Close view	Quantitative explanatory variable	Green trees Defoliated trees Artificial structures Sky Deforested area (grass area) Beach, dry riverbed	Trees and forests having green or colored leaves (including shrubs) Defoliated trees and forests, withered herbaceous plants Buildings, roads, fences, retaining walls, etc. (excluding revetments at rivers) Sky seen above or from among trees (no distinction made between clouds and the blue sky) Grass is visible at the deforestation area, etc. Beaches and rivers excluding the water surface areas
	Qualitative explanatory variable	Fall/non-fall of leaves Neatness of forest Feeling of deepness	Fall of leaves or withered branches is extensive The forest inside structure is not visible because of its thickness, the forest structure has a sense of unity Artificial structures before the forest give a feeling of deepness (road alignment, building layout, etc.)
Middle/distant view	Quantitative explanatory variable	Green trees Defoliated trees Artificial structures Sky Water surface Beach, dry riverbed	Trees and forests with green or colored leaves (including shrubs) Defoliated trees and forests, withered grass Buildings, roads, fences, retaining walls, etc. (excluding revetments at rivers) Sky seen above (no distinction made between clouds and the blue sky) Water surfaces of seas and rivers Beaches and rivers excluding the water surface areas
	Qualitative explanatory variable	Conditions of hillside Composition of artificial structures	The ground surface is visible due to tree cutting or extensive fall of leaves Neatness of artificial structures in front of forests (alignment and size of buildings, unity of structures, etc.)

In the analysis of Quantification Category I, the effectiveness of variables shown in Table 2 was examined and then formulation was attempted. Firstly, to eliminate explanatory variables having little relevance to target variables, analysis was made by distance group using the stepwise method and the backward elimination method.

Explanatory variables extracted by either the stepwise method or the backward elimination method (variables highlighted by bold characters in Table 2) were those found in all photos, such as ‘green trees’, and those found only in some photos, such as ‘withered grass’ and ‘artificial structures’.

As is known from the factor analysis, evaluation results are not finalized only by the evaluation results of explanatory variables. Therefore, explanatory variables extracted by either the stepwise method or the backward elimination method were all adopted.

From the analysis of correlation between predicted values of an explanatory variable (target variable: overall indicator) and the scores of an overall indicator in a questionnaire survey, $R=0.8$ or more was obtained as the correlation value. From this, it can be said that the reproducibility of the prediction equation derived from a quantification theory is effective (Fig. 8).

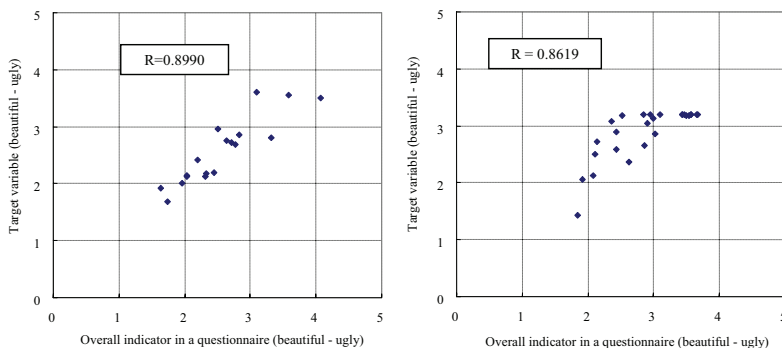


Fig. 8: Example of correlation between predicted target variable and the results of a questionnaire (left: forest inside view; right: close view)

CREATION OF A LANDSCAPE EVALUATION MODEL

As the basic approach, it is necessary to create a landscape evaluation model that can respond to various stages of forest improvements because improvement work will continue for several decades and its range expanded gradually (Fig 9).

Therefore, when a new forestry operation site is selected, evaluation will be performed at the pre-operation stage firstly and then at each stage of forest improvements, from maintenance to the completion of a target forest.

Also, to ensure implementation of a landscape evaluation model, the “Landscape Guidelines for Mt. Rokko Green Belt Development Project” describing the objectives, basic policies, and specific evaluation procedures (selection of viewing positions, landscape evaluation items, survey methods, concept behind evaluation, etc.) was compiled and its adoption promoted.

In the actual evaluation process, responsible officials will input the measured values into the evaluation sheet on the computer screen. Then, the evaluation scores are automatically calculated and compared with the scores before forestry operation. The results are fed back to subsequent improvement work to ensure that the obtained scores do not fall below those of before operation. The monitoring results are shown in the form of a list. If the obtained scores fall below those of before operation, an improvement effort will be made, such as preparation of an improvement plan’s CG, and then evaluation values obtained again, compared, and utilized for subsequent forestry operations.

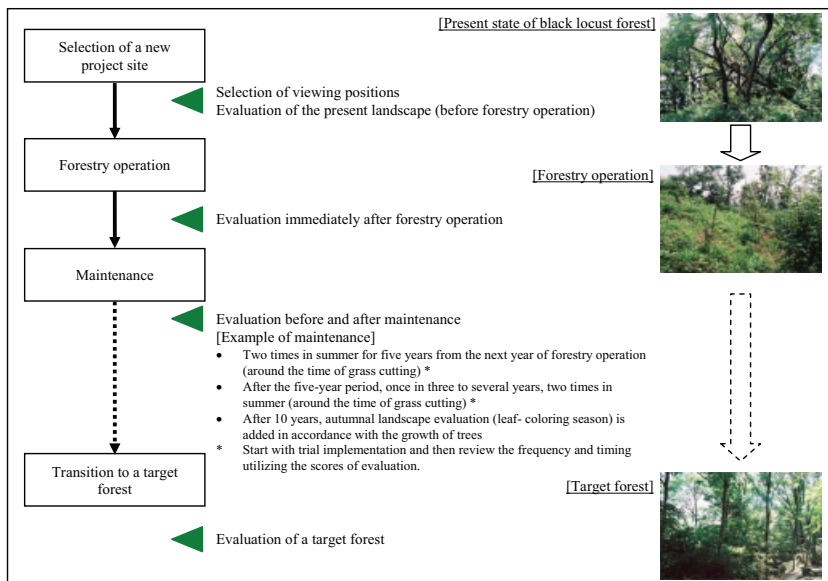


Fig. 9: Implementation schedule of landscape evaluation

CONCLUSIONS AND FUTURE CHALLENGES

This evaluation model has already been adopted on a trial basis for the forest improvements at the current project site.

With the utilization for the current project evolving in the south slope of Mt. Rokko about 30 km east to west, it is expected that this model will contribute to not only the improvement of sabo functions but also the conservation and development of landscape on this mountain range located in Seto Inland Sea National Park.

As the current project progresses, landscape evaluation data will be accumulated. It is necessary to further improve the accuracy of this evaluation model with the incorporation of those data.

REFERENCES

- Suzuki S., Hori S. (1989): "A Study on the Estimation of Naturalness and the Liking in Forest Landscapes", *Journal of the Japanese Institute of Landscape Architects*, 52 (2); 211-216.
- Kobayashi F., Kobashi S., Mizuyama T. (1994): "Aesthetic Impact Model Modified for Sabo Works", *Journal of New-sabo*, Vol. 47, No. 4 (195); 1-8.
- Fujii Y., Ishida S. (1999): "On the Visual and Psychological Effects of Forest Scenery", *Journal of Hardwood Research*, No. 8; 11-27.

- Shirafuji K., Hiyane A., Kunisaki T., Ohishi Y. (2002): "Differences of Forest Landscape Images between Photographs and Field Views", Japanese Journal of Forest Planning 36; 1-9.
- Igawara K. (2001): "Evaluation of Forest Landscapes and Constituting Factors in Terms of Scenic Desirability", 112th Convention of Japan Forestry Society; 373.
- "A Guide to Environmental Impact Assessment for Landscape and Recreation Activities", Japan Wildlife Research Center.

IMPROVING AVALANCHE FORECASTS BY EXTRACTING BOUNDARY CONDITIONS FROM MEASURED WIND DATA AND LOCAL WEATHER MODELS FOR SNOW DRIFT SIMULATION IN ALPINE AREAS

Simon Schneiderbauer¹, Thomas Tschachler¹, Walter Hinterberger², Peter Fischer³, Arnold Studeregger⁴ and Alexander Podesser⁵

ABSTRACT

Due to increasing development of Alpine environments by transport and tourism the forecasting of avalanche danger becomes more and more important. The protection of civil facilities and human lives is one major aim of avalanche forecasting. The accuracy of avalanche forecasting depends mainly on the precision of the provided initial conditions. Results close to reality can only be obtained by introducing real weather data. On the one hand these data can be extruded from local weather models such as Inca. Extra computational effort is needed to calculate boundary conditions based on this data. Comparison to calculation with constant average wind shall point out whether the implementation of the weather data provided by Inca is worth the extra costs or not. On the other hand weather data can be provided from station measurements by solving the open boundary conditions problem. In irrespective of the chosen methods, the operation has to happen fast enough to fulfill the requirements for the long-term objective, the forecast of avalanche danger. The results show significant differences in the deposition patterns and snow depth using a time averaged wind field or using a time varying wind field even after a 6 hours drifting period. Hence, using Inca for snow drift simulations prevails.

Keywords: snow drift, fluid dynamics, avalanche, INCA, open boundary conditions

¹ dTech Steyr Dynamics & Technology Services GmbH, Steyrerweg 2, A-4400 Steyr, <http://www.dtech-steyr.com>

² dTech Steyr Dynamics & Technology Services GmbH, Steyrerweg 2, A-4400 Steyr, <http://www.dtech-steyr.com>

³ dTech Steyr Dynamics & Technology Services GmbH, Steyrerweg 2, A-4400 Steyr, <http://www.dtech-steyr.com>

⁴ Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Regionalstelle für die Steiermark, Klusemannstraße 21, A-8053 Graz

⁵ Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Regionalstelle für die Steiermark, Klusemannstraße 21, A-8053 Graz

INTRODUCTION

Up to now the evaluation of avalanche danger depends on the knowledge of the properties of the snow cover, the available meteorological data and the interpretation of meteorological weather models. Following this approach it is possible to identify regional levels of avalanche danger, but the outcome is not sufficient for assessing the avalanche danger on small scales.

The determination of snow drift occurrences at critical local failure scars is limited by these common methods. Due to low visibility during snow storms it is not possible to evaluate the different snow layers. In fact the avalanche professionals are aware of the existence of a critical snow layer, but it is very difficult to examine from the valley the amount of accumulated snow at potential avalanche fracture zones.

The numerical simulation of snow drift supplies an area-wide distribution of the snow depth. The numerical approach includes time dependent geometries of the snow cover and complex particle transport phenomena. Additionally, the erosion and accumulation of snow particles leading to a deformation of the snow cover is determined by wall shear stress criteria. These deformations of the shape of the snow pack couple to the wind field and thus the flow is changed by the new geometry.

As an additional important issue the selection of appropriate boundary conditions for calculating the wind field has to be taken into account. In first place data from weather stations, which are located in the simulation area, can be used to determine the boundary conditions by applying a inverse approach. If there is no station data available, the boundary conditions can be provided by local weather models.

THE PHYSICAL CONCEPT OF SNOW DRIFT

Snow transport can be described as follows. If the wind shear exceeds a certain *threshold* grains will be entrained and set in motion. The so called *fluid threshold* (for reference see Bagnold 1941) is given by

$$\tau_{c_e} = (A_e)^2 (\rho_p - \rho_a) g d_p.$$

ρ_p and ρ_a are the densities of the snow particles and air. Furthermore g denotes the standard acceleration due to gravity, d_p the snow particle diameter and A_e a dimensionless empirical parameter, which is a function of the particle shape and particle cohesion. The exact underlying mechanism which is responsible for the initiation of the snow drift process is not completely known. Following Bagnold, Anderson and Haff (Anderson and Haff 1991) estimated that the number of entrained grains per unit time and unit area depends linearly on the excess shear stress

$$\frac{\partial N_e}{\partial t} = \xi (\tau_a - \tau_{c_e})$$

where τ_a denotes the air induced shear stress. ξ is an empirical constant with the dimensions of (force x time)⁻¹. The entrained particles are easily accelerated by the wind because of their small mass and diameter. Already entrained grains contribute to the wind shear, i.e. they reduce the threshold. In addition, the wind influences the heights of the transport modes, e.g. the saltation layer height increases with increasing wind speed (for reference see Owen 1964).

Therefore, a higher amount of snow can be transported and more grains are entrained per unit of time. Due to the interaction between grains and wind the wind field is modified. However, if the wind shear is below a second *threshold*, the *impact threshold*, snow will be accumulated

$$\tau_{c_i} = (A_i)^2 (\rho_p - \rho_a) g d_p,$$

where A_i is again a dimensionless empirical parameter. Grains whose motion is directed towards the snow pack are deposited. The mass flux to the snow pack can be obtained by the change of volume fraction of the snow in an arbitrary control volume. In especially the change of mass inside the control volume has to be equal to the mass flux through the faces of the control volume by the principle of mass conservation.

Finally, it should be mentioned that only a certain amount of grains can be transported by the wind. This leads to deposition where the volume fraction exceeds a third *threshold*, the *saturation volume fraction*. In all cases, gravity acts as a body force. Due to the slope angle of the snow pack the snow grains are affected by a downhill-slope force. Since the shear stress thresholds mentioned above are only valid for flat plains a modification, which additionally incorporates the slope angle, is applied.

The transport processes discussed above cause a deformation of the snow pack. In deposition zones the snow cover is growing and thus the new shape influences the local velocity field. In addition, in erosion zones a reversed process takes place. Hence, due to the modification of the wind field the zones change with time and depend on the shape of the snow pack.

A MIXTURE MODEL APPROACH

The mixture model approach is based on the balance equations of a mixture for interpenetrating phases, where the phases are allowed to move with different velocities (Schneiderbauer 2006). In the model we consider three different phases:

- Air
- Drifting snow
- Precipitation.

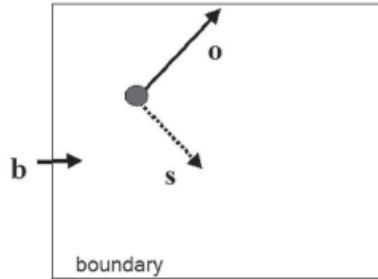
Air acts as carrier phase and is observed as a wind field or primary phase. The transported grains are modeled by the secondary phases, which are observed as drifting snow. The saltation and the suspension layers are not separated as in Gauer 1999, but they are given by the behavior of the snow phase due to the flow field of air and due to the influence of gravity. This snow drift model is fundamentally based on Bagnolds impact and erosion criteria (Bagnold 1941), which distinguish between zones of erosion and zones of deposition. Additional empirical relationships, which are obtained from several measurements (for reference see, e.g., Naaim-Bouvet et al. 2001), such as the height of the saltation layer, which influences the saturation volume fractions in the finite control volumes, are of vital importance for computational calculations.

Precipitation is included by an additional secondary phase to incorporate the different physical properties of precipitating snow and drifting snow. In especially different grain sizes, densities and particle shapes are placed in the snow drift simulation.

As mentioned above in our mixture model approach the saltation and suspension layer are not treated separately in different calculation domains. The saltation layer is rather modelled by volume fractions of the snow phase in the volume cells adjacent to the snow cover. The mass fluxes are obtained from the flow field of the snow phase. Bagnold's "stick-slip" criteria are used to distinguish between zones of deposition and aerodynamic entrainment. To avoid unphysical effects in the flow field we introduced a saturation volume fraction. The deformations of the snow cover are predefined by the mass fluxes and the unit surface normals. A dynamic mesh model will remesh the domain if yield criteria are exceeded.

A PSEUDO INVERSE APPROACH FOR OPEN BOUNDARY CONDITIONS DETERMINATION

In many cases measured wind data from weather stations is available in the vicinity of the area of interest. But for the numerical simulation of the wind field we need the wind speeds at the boundaries of the area. The calculation of these so called "open boundary conditions" from measurement data is of vital importance for the modelling of wind fields.



● Location of the weather station

Fig 1: Illustration of the boundary, observation and solution vectors, which indicate the wind speed and wind direction.

In general, this inverse problem cannot be solved directly (e.g. Engl 2004) because of the non linear partial differential equations describing the fluid flow. Therefore, the computation of the wind speeds at the boundaries is considered as an optimization problem (e.g. Chu et al 1997). We define the cost function

$$I(\mathbf{b}) = \|\mathbf{s}(\mathbf{b}) - \mathbf{o}\|^2$$

where \mathbf{b} denotes the wind speed and direction at the boundaries, \mathbf{s} the wind speed and direction at the location of the weather station and \mathbf{o} the measured wind speed and wind direction. These quantities are illustrated in figure 1. The coefficient α denotes a regularisation parameter and T the duration of the simulation. By minimizing the cost function the wind speed and wind direction at the boundaries can be computed iteratively.

If data from more than one weather station is available the cost function has to be rewritten as follows

$$I(\mathbf{b}) = \|\mathbf{s}_i(\mathbf{b}) - \mathbf{o}_i\|^2$$

where the subscript i stands for the i -th metrological station.

THE LOCAL WEATHER MODEL

INCA (Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis) is being developed at the Austrian ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK and used to obtain the time varying wind field conditions for the snow drift simulation. The fine output resolution of INCA 1 x 1 km is possible because of the use of several data sources during the calculation of the different meteorological fields (e.g. wind, pressure, humidity, ...; for reference see Yong et al 2006 or Haiden et al 2007) as shown in figure 2.

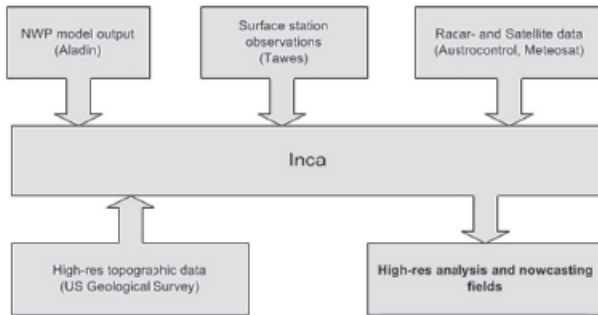


Fig 2: Inca uses several different sources for the calculation of meteorological fields, the single most important data source is the network of about 150 automated surface stations called Tawes. The NWP (Numerical Weather prediction) model Aladin is used as first guess for the three dimensional analyses of temperature, humidity and wind

In this work, we take advantage of the nowcasting output of INCA to provide a forecast of the wind speeds and wind direction for the simulation of snow drift in alpine environments up to 6 hours. We concentrate on the appropriate integration of wind fields, but neglecting other meteorological data. Because of the significantly higher resolution of the computational domain for the snow drift simulation the overlay of the INCA velocities is done by a bidirectional interpolation onto the boundaries.

RESULTS

Snow drift distributions of fracture zones are very important for operational avalanche warning. In practice the assessment of those zones is a major problem for the present avalanche warning systems. We determined the snow drift distribution at the Birkgraben chute in Styria. In the vicinity of the chute the avalanche warning service of Styria operates a weather station (Planneralm, figure 3). We used these data to compute the boundary conditions for the snow drift simulation, which was performed within the dashed area (figure 3). At the station prevailing west-north-west winds were measured (figure 4, dash and dot lines). These conditions at the location of the station result in north-west-north winds at the Birkgraben chute by applying the pseudo inverse algorithm. In figure 4 the convergence history of the iterative solution of the optimization problem is shown.

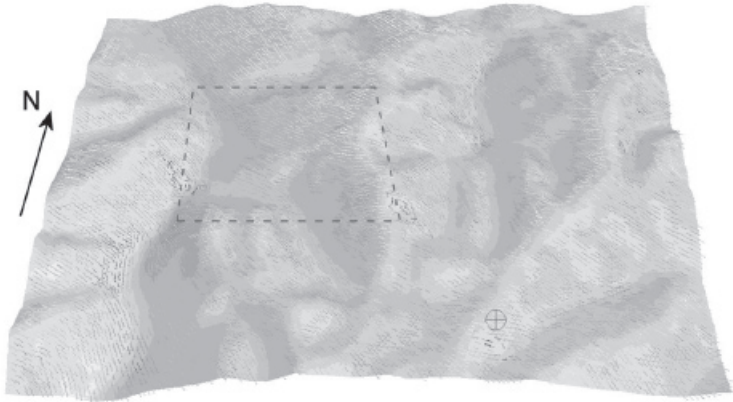


Fig 3: Wind field at 10 m height around the Birkgraben chute (dashed area). The Planneralm station is indicated by the cross.

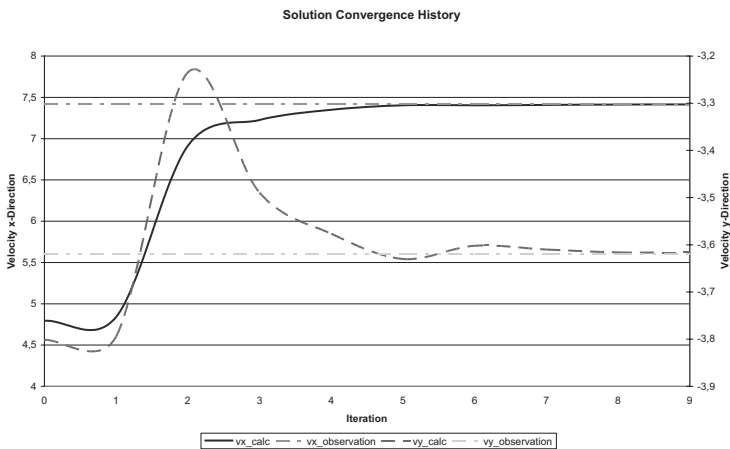


Fig 4: Convergence History of the pseudo inverse algorithm (velocities in m s⁻¹)

Figure 5 presents the snow drift pattern including precipitation after a three days run (from the 31st Jan to the 2nd Feb 2005). At the upwind areas of the ridges snow is eroded and transported to the downwind areas, where it is deposited. Above a sea level of about 1600 m (indicated by the dashed line in figure 5) no wood inhibits the occurrence of drifting snow. Especially, at the Birkgraben chute where an avalanche released on the 2nd February. The maximum snow heights are located at the fracture zones of that avalanche. Hence, those additional snow loads in the chutes affect avalanche danger significantly.

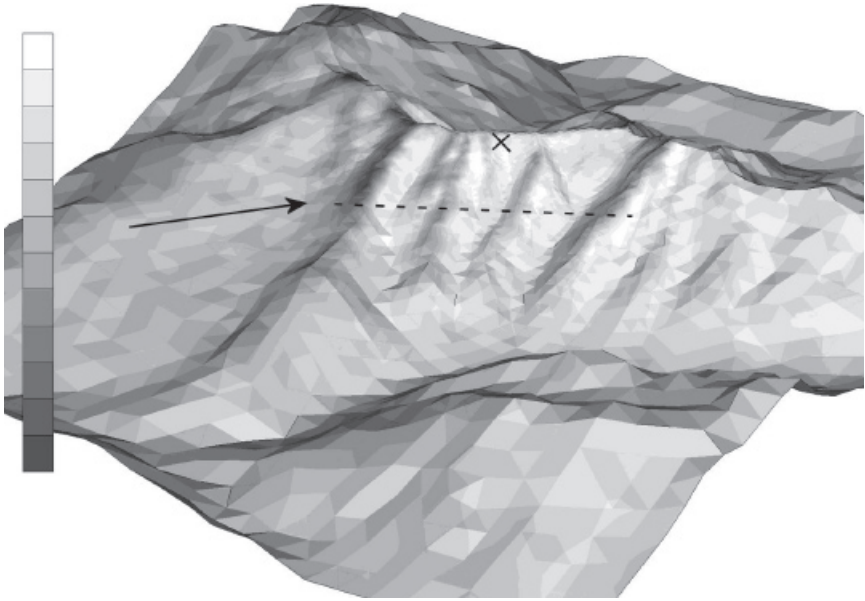


Fig 5 Snow distribution at the Birkgraben chute (indicated by the cross). White corresponds to additional snow loads due to snow drift and dark gray to erosion zones. The arrow indicates the wind direction. The maximum deposition height is about 1.6 m (white) and the maximum erosion is about 2 m (dark grey).

If no station data is available for the boundary conditions computation, these can be provided by the local weather model INCA. In order to justify the additional computational effort caused by the implementation of INCA, we computed the snow drift distribution at the mount Grimming (Styria) for a 6 hours drifting period. In figure 6 the resulting snow distribution using the time varying wind conditions provided by INCA is shown. In figure 7 the corresponding resulting snow drift distribution using the time averaged wind field is presented. The difference in snow heights caused by the use of real meteorological data is enormous. Using averaged wind fields less snow is eroded and therefore deposited (due to averaging high wind speeds disappear). Especially, winds crossing the ridge lead to enhanced snow transport in that region (figure 6).

In contradiction, the use of the INCA wind fields leads to more snow drift where snow is moved from mountain ridges towards chutes. The avalanche warning service of Styria observes the mountain channel (indicated by a dashed circle in figure 6) using radar measurements. The results based on INCA wind fields show clearly that enormous deposition of snow happens within those chute, whereas computations using an averaged wind field do not detect those potential avalanche fracture area.

Besides the higher accuracy, the time needed to obtain a solution rises because of lower convergence of the solver due to varying boundary conditions.

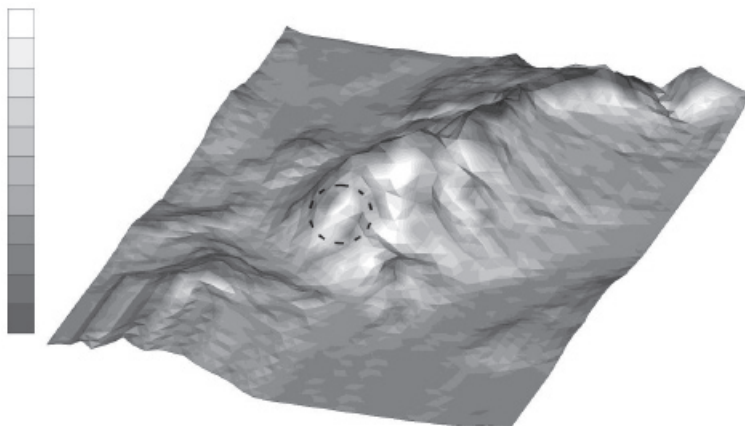


Fig 6 Snow distribution on mount Grimming after a 6h drifting period using the time varying wind field provided by INCA. White corresponds to additional snow loads due to snow drift and dark gray to erosion zones. The maximum deposition height is about 0.1 m (white) and the maximum erosion is about 0.1 m (dark grey).

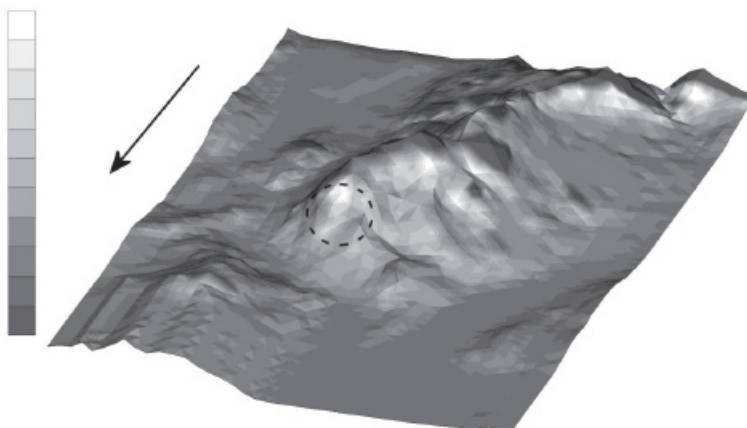


Fig 7 Snow drift on mount Grimming after a 6h drifting period using the time averaged wind field derived from the INCA dataset. The arrow indicates the average wind direction. White corresponds to additional snow loads due to snow drift and dark gray to erosion zones. The maximum deposition height is about 0.3 m (white) and the maximum erosion is about 0.3 m (dark grey).

CONCLUSIONS

The results of the snow drift simulations show the applicability of the novel simulation methods for whole mountain ridges. Therefore, snow drift simulations provide important information for the prediction of avalanche danger. The results demonstrate that it is necessary

to apply measured wind data as boundary conditions, because of the high sensitivity of snow drift patterns to different wind conditions, which was clearly demonstrated on the mount Grimming example. Compared to punctual snow depth measurement the numerical simulation provides an area-wide distribution of the snow depth. Additionally, the result of snow drift simulations can be used as improved initial conditions for avalanche simulations. To sum up, it is of vital importance to consider real wind data for the prediction of snow depositions for operational avalanche warning.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks go to the avalanche alert service of Styria, Austria, for providing the terrain data of the “Grimming” and the “Birkgraben chute” and for providing the meteorological data from the Planneralm station and the INCA datasets. In addition, their feedbacks about snow drift and weather conditions contributed a lot to this work.

REFERENCES

- Anderson R S and Haff P K. (1991) “Wind modifications and bed response during saltation of sand and air.” *Acta Mechanica (Supplementum)*, 1 21-51.
- Naaim-Bouvet F, Naaim M and Michaux J L. (2001) “Final scale snowdrift processes: major outcomes from Col du Lac Blanc and related experiments in wind-tunnel.” *Proceedings of the International Seminar on Snow and Avalanches Test Sites – Grenoble*.
- Chu P C, Fan C and Ehret L L. (1997) “Determination of Open Boundary Conditions with an Optimization Method.” *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 14(3) 723–734.
- Engl H. (2004) “Iterative Regularization of Nonlinear Inverse Problems for PDEs.” *International Workshop on Nonlinear PDEs*.
- Owen P R. (1964) “Saltation of uniform grains in air.” *Journal of Fluid Mechanics*, 20(2), 225–242.
- Yong W, Haiden T. and Kann A. (2006). “The Operational Limited Area Modelling System at ZAMG — ALADIN AUSTRIA.” *Österreichische Beiträge zu Meteorologie und Geophysik*, 37(4).
- Bagnold R A. (1941) „The physics of blown sand and desert dunes.“ London: Methuen.
- Haiden T, Kann A, Pistotnik G, Stadlbacher K, Steinheimer M, Wimmer F and Wittmann C. (2007) „Integrated Nowcasting through Comprehensive Analysis (Inca) - System Overview.“
- Gauer P. (1999) “Blowing and Drifting Snow in Alpine Terrain: A Physically-Based Numerical Model and Related Field Measurements.” PhD thesis, SLF Davos,
- Schneiderbauer S. (2006) “Computational Fluid Dynamics Simulation of Snow Drift in Alpine Environments.” Johannes Kepler Universität Linz, Institute for Theoretical Physics.

**PASSIVE DEFENCE STRUCTURES AGAINST DENSE SNOW
AVALANCHES
EXPERIMENTAL ANALYSIS**

**OPERE DI DIFESA PASSIVA DA VALANGHE DI NEVE DENSE
ANALISI SPERIMENTALE**

Paolo Scotton¹, Stefano De Toni² and Francesca Moro³

ABSTRACT

The article presents an experimental investigation performed at the Hydraulic Laboratory of the University of Trent in order to analyse the behaviour of some passive defence structures used in the practice of environmental engineering in order to slow down dense snow avalanches. The research considers retarding mounds and teeth, taken as single elements and in a system of three elements arranged in two lines. The article describes the experimental set-up, that can simulate the real phenomena following the Froude similarity with a geometrical scale of about 1:100, and gives some criteria for the estimation of the impact force against front and rear works. It is described the most efficient works layout and it is shown that maximum efficiency occurs when maximum dimensionless force occurs.

Keywords: passive defence structures, dense snow avalanches, granular flows.

RIASSUNTO

L'articolo presenta una indagine sperimentale realizzata presso il Laboratorio di Idraulica dell'Università di Trento al fine di analizzare il comportamento di alcune opere di difesa passiva utilizzate nella pratica professionale per rallentare le valanghe di neve densa. Vengono presi in considerazione i coni e i denti frenanti, come elementi singoli e in un sistema di tre opere disposte su due file. L'articolo descrive l'apparato sperimentale, che può simulare i fenomeni reali in similitudine di Froude in scala geometrica di circa 1:100 e fornisce dei criteri per la stima della forza di impatto e per la valutazione dell'efficienza dei sistemi di opere considerati nel ridurre la distanza di arresto e nel produrre maggiore dispersione laterale della massa.

Keywords: strutture di difesa passiva, valanghe di neve densa, flussi granulari.

1 Ass. Prof., Department of Geosciences, University of Padua, Via Giotto 1, 35137 Padova, ITALY (tel: +39-049-827-1865; fax: +39-049-827-2070; e-mail: paolo.scotton@unipd.it).

2 PhD, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Trento, Via Mesiano 77, 38100 Povo (TN), ITALY (Tel.: +39-0461-882603; Fax: +39-0461-882672; email: stefano.detoni@ing.unitn.it).

3 PhD student, Department of Geosciences, University of Padova, Via Giotto 1, 35137 Padova, ITALY (tel: +39-049-827-2050; fax: +39-049-827-2070; e-mail: francesca.moro@unipd.it).

INTRODUCTION

In Alpine regions snow avalanches are a severe threat for human settlements, activities, infrastructures. The only countermeasure against powder snow avalanches is to prevent the initiation of the motion by means of active structures, built in the detachment area, or to trigger artificially avalanches events. Besides, passive structures along the path and in the run-out zone can be very effective in deviating, retarding or stopping dense snow avalanches (e. g. Faug et alii, 2004; Johannesson et alli, 2006). In order to deep some aspects of the behaviour of some types of structures against granular avalanches, an experimental campaign has been carried out at the Hydraulic Laboratory of the Faculty of Engineering of the University of Trento.

EXPERIMENTAL APPARATUS

The flume and its support

The experiments have been performed using the experimental support showed in Fig. 1. It is formed by two tiltable planes made of Forex, squared shaped, whose lateral dimension is 150 cm. The upper plane can be tilted from 0° to 35° , while the lower plane can be tilted from 0° to roughly 10° . Connection between upper and lower plane has been made by an elastic strip. On the upper plane has been realized a channel whose lateral walls are made of transparent Perspex. The width of the flume is 20 cm and the height of the lateral walls is 15 cm. The flume ends about 20 cm upstream the change of slope. In the very upper part of the flume has been realized a feeding box where the granular material was placed before the execution of the experiments. The slowing down works have been located in the upper plane downstream the flume. After the impact against the retarding works, the granular material used to simulate a dense snow avalanche can freely spread in the on the lower plane.



Fig1: On the left, a view of the flume and of its support structure; on the right a lateral view of the experimental apparatus.

Fig1: Sulla sinistra una vista da valle della canaletta e della struttura di supporto; sulla destra una vista laterale dell'apparato sperimentale.

The feeding box

The feeding box (Fig. 2) has been obtained by means of a removable vertical gate made of Forex. The gate has been fitted into two small grooves obtained in the lateral walls. The cross section of the box is the same of the flume. Its length is about 30 cm. The box volume is roughly 9 litres.

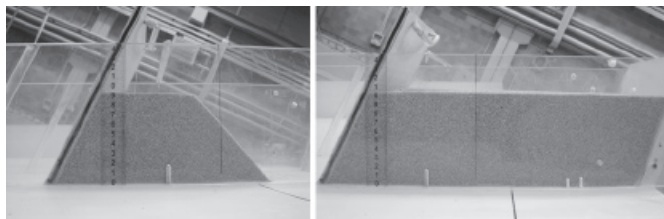


Fig2: The feeding box, at the superior extreme of the flume, and the mixture arrangement of 29 N (3 kg), on the left, and of 69 N (7 kg).

Fig2: Il serbatoio di carico all'estremo superiore della canaletta di prova. Sulla sinistra la disposizione di tre kg del materiale granulare; sulla destra la disposizione di 7 kg.

The granular material

The granular material (Fig. 3) used in the experiments is made by zeolite, a synthetic resin. The shape of the grains is roughly spherical. The diameters range from 0.1 mm to 2 mm, with a mean diameter of about 1 mm. The specific weight of the resin is 1080 kg/m³.

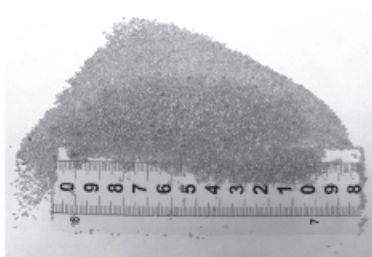


Fig3: The granular material, obtained from zeolite, a synthetic resin, used to form the flowing mass.

Fig3: Il materiale granulare, ottenuto dalla zeolite, una resina sintetica, utilizzato nelle prove sperimentali.

The retarding mounds and walls

Various types of slowing down elements (Fig. 4) have been used to simulate the shape of works actually designed in the field. A first series of tests have been conducted using wooden made cones, with a height of 30 mm and base diameter of 30 mm, and vertical elements (teeth), equally wooden made, with a height of 30 mm and width of 44 mm. In a following series of tests three cone-derived elements have also been tested. They have been realized taking into account that real works present an angle on the horizontal of the upstream face of about 40°. Nylon has been the used material. Their height has been 30 mm, the shape

depended on the slope of upstream plane. The weight of the elements was ranging from 20 g to 30 g (in order to reduce, as much as possible, inertial effects). To this goal the nylon elements have been lightened scouring the inner volume.

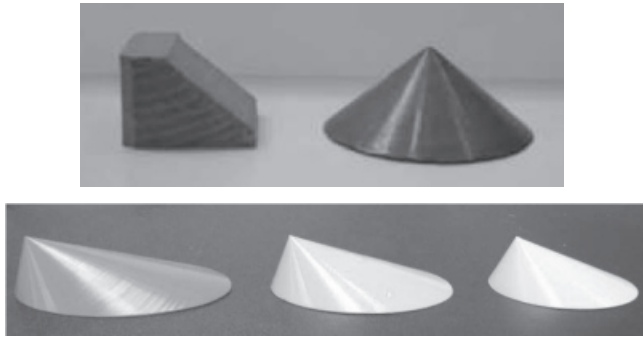


Fig4: The retardingelements used in the experiments. Above on the left, the tooth (vertical wall); above on the right, the circular base cone; below three elliptical base cones used, respectively, at the inclinations of 30°, 27° and 24°.

Fig4: Gli elementi rallentatori utilizzati negli esperimenti. Sopra, sulla sinistra, il dente; sulla destra, il cono a base circolare. Sotto, tre coni a base ellittica usati, rispettivamente, a 30°, 27° e 24° di inclinazione sull'orizzontale della canaletta sperimentale.

The support of the slowing down elements

The single slowing down element (cone or tooth) is connected with a T-support (Fig. 5) which is a linear low-friction sliding mechanism. The force experienced by the element is transmitted to the load cell mounted onto the T-support. No moment is transmitted. All the slowing down elements (three at the maximum) are mounted onto a support plate which is placed underneath the upper plane.

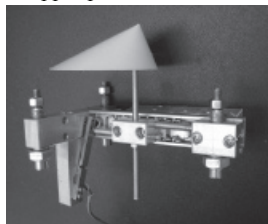


Fig5: Above, the T-support used to transfer the force acting on the slowing down element; below, a view from below, on the left, and from above of the support plate of the T-supports. The plate is mounted underneath the flume support.

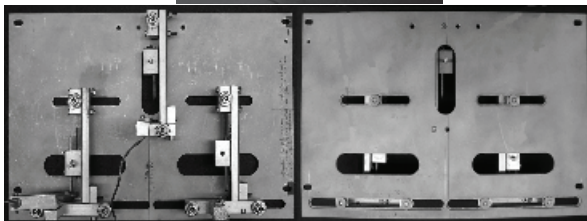


Fig5: Sopra, il supporto a T usato per la trasmissione della forza agente sull'elemento rallentatore; sotto, sulla sinistra, una vista dal basso e, sulla destra, dall'alto della piastra di supporto dei supporti a T. La piastra è montata al di sotto della struttura di supporto della canaletta.

The load cells

Two types of load cells have been used to perform the laboratory experiments (Fig. 6): Futek model L1510 (protected) and Futek model L1501 (not protected). After a series of preliminary tests two capacities have been chosen: 1 lb (4.5 N) and 2 lb (8.9 N). The sensitivity of the 1 lb model is 0.002 lb (0.906 g), while the sensitivity of the 2 lb model is 0.0004 lb (0.181 g). The response time of both types of the load cells has been assessed experimentally lower than 0.005 s.



Fig6: The load cells used in the experiments to measure the force against the retarding elements. On the left, the non-protected model; on the right, the protected model.

Fig6: Le celle di carico utilizzate negli esperimenti per la misura della forza di impatto sugli elementi rallentatori. Sulla sinistra il modello non protetto, sulla destra il modello protetto.

The measurement of flow velocity and height

The measurement of flow velocity (Fig. 7) and height (Fig. 8) have been obtained by means of two video-cameras. One digital video-camera has been located above the upper plane in order to cover the area between the end of the flume and the slowing down elements. The second digital video-camera was located laterally to the final part of the flume in order to shoot the flowing height of the mixture at a section very near to the works.

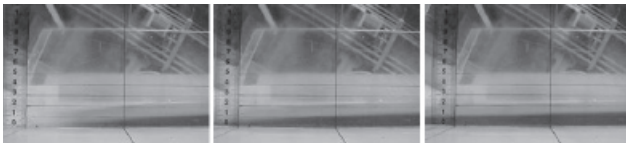


Fig7: A sequence of frames obtained by the lateral video-camera. The image processing allows to estimate the height of the flowing mixture near to the retarding elements.

Fig7: Una sequenza di immagini ottenute dalla video-camera posta lateralmente alla canaletta. La analisi delle immagini permette di stimare l'altezza di scorrimento della mistura in prossimità degli elementi rallentatori.

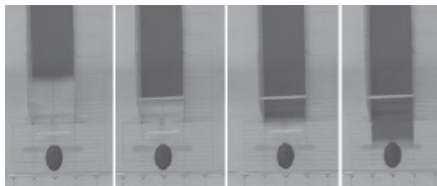


Fig8: A sequence of frames obtained by the frontal video-camera. The image processing allows to estimate the velocity of the flowing mixture near to the retarding elements.

Fig8: Una sequenza di immagini ottenute dalla video-camera frontale. La analisi delle immagini permette di stimare la velocità di scorrimento del fronte della mistura in prossimità degli elementi rallentatori.

The measurement of mixture spreading

The measurement of final longitudinal and cross-sectional mixture spreading has been obtained by image processing of pictures of the type of Fig. 9. Mixture spreading depends on type of works (circular base cones, elliptical base cones and teeth) and on the respective position of the elements. The rear line of works is located at a longitudinal distance from the upstream element of about twice the height of the works (70 mm). The rear elements can be located at various positions along the cross-sectional guide. The angle θ , between the longitudinal flow direction and the line passing through the front and the rear element (see Fig. 10), ranges from 25° to 50° .

Two physical parameters have been defined in order to characterize the mixture spreading: the longitudinal efficiency and the cross-sectional efficiency (Fig. 11).

The cross-sectional efficiency is defined as follows:

$$\varepsilon_T = \frac{L - L_{NW}}{L_{NW}},$$

where L is defined as in Fig. 11 and L_{NW} is the maximum width of the mixture at rest in the case of absence of slowing down elements.

The longitudinal efficiency is defined as follows:

$$\varepsilon_L = \frac{d_{NW} - d}{d_{NW}},$$

where d is defined as in Fig. 11 and d_{NW} is the maximum distance travelled by the mixture in the case of absence of slowing down elements.

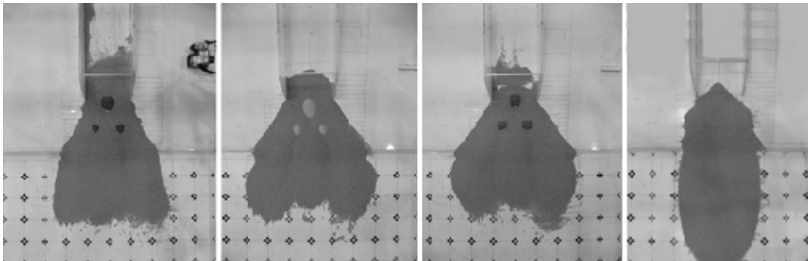


Fig9: Three examples of mass spreading caused by a particular layout of three circular base cones, on the left, three elliptical base cones and three teeth (vertical walls). On the right the mass spreading without retarding works.

Fig9: Tre esempi di dispersione della mistura fluente causati da una particolare disposizione di tre coni a base circolare, sulla sinistra, di tre coni a base ellittica e di tre denti. Sulla destra un esempio senza opere.

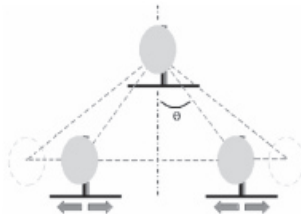


Fig10: Scheme of elements layout. The rear works forms an angle θ with the longitudinal flow direction.

Fig10: Schema distributivo degli elementi rallentatori. Le opere posteriori formano un angolo θ con la direzione longitudinale del flusso.

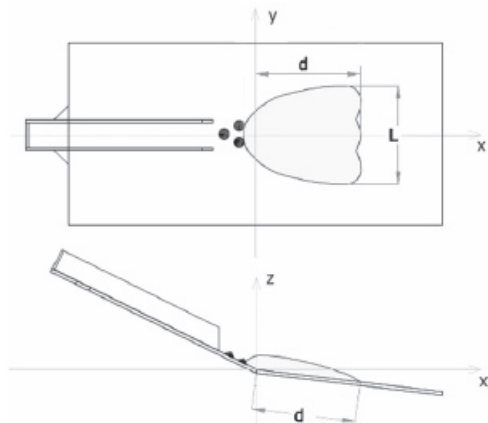


Fig11: Scheme showing the physical parameters used to define the longitudinal and the cross-sectional efficiency of the retarder elements.

Fig11: Schema che illustra i parametri fisici utilizzati per la definizione dell'efficienza longitudinale e trasversale degli elementi rallentatori.

EXPERIMENTS

About 130 runs have been analysed for the present paper. The lower plane inclination has been held at 7° (an inclination that is of the same order of magnitude of natural stopping zone inclination). The upper plane inclinations were 24° , 27° and 30° (three values in the range of variation of flowing zone inclinations). Two material weights have been chosen: 29,43 N (3 kg) and 68,67 (7 kg). Five rear works opening angle have been chosen: 26° , 30° , 35° , 40° and 45° . Some experiments have been performed without any slowing down element in order to be able to assess the efficiency of the system. Many experimental configuration have been performed twice or three times with the goal to verify their repeatability.

The calibration of the force measurement system has been done (see Fig. 12) before the execution of each test. Particular attention has been placed in order to avoid that some grains of the mixture could get stuck between the base of the slowing down elements and the support plane and in the mechanical system underneath the plane, giving serious problems in the measurement of impact force.

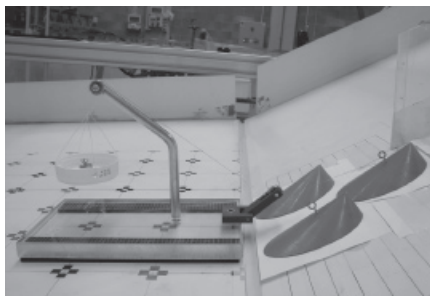


Fig12: The experimental set-up used to perform the on site calibration of the force measurement system.

Fig12: L'apparato sperimentale utilizzato per la calibrazione del sistema di misura della forza di impatto.

SOME EXPERIMENTAL RESULTS

The physical parameters that have to be considered important for the present phenomenon are the impact force (F), the height of the mixture (h: the maximum value at the final section of the flume), the velocity of the mixture (v) near to the works, the shape and dimension of the slowing down works (circular base cone, elliptical base cone, tooth), the geometrical distribution of the retarding elements, the shape of the deposit, the maximum width of the deposit (L), the maximum longitudinal distance reached by the deposit (d), the bulk density of the mixture in the area of the impact, the cross sectional dimension of the flow. The volume of the mixture and its shape at the beginning of the motion, the rheology of the mixture, the slope of the flume and its bottom and side walls roughness contribute to define all the properties of the mixture distribution before the impact.

As written above, not all the cited parameters have been investigated. In particular it was not possible to define the bulk density of the mixture. For this reason in the presentation of the experimental results the density of the material has been used. Some particular shapes of retarding elements have been investigated, in order to simulate geometrically the types of works that are used in the real cases. Also the distribution of the retarding elements tend to simulate the disposition adopted in real designs limited to two elements lines. The ratio between the width of the flowing mass and the width of the retarding elements is always the same and not far from the unity.

In the experiments the measured values of the mixture height ranged from 8 mm to 21mm; the values of velocity from 1.5 m/s to 2.6 m/s; the Froude number ranged from 4 to 8.; the values of force against the front element from 0.64 N to 2.84 N, while against the rear elements from 0.16 N to 2.26 N. About 20 tests have been performed in order to examine repeatability. The mean variability of dimensionless force (see below) was of about 12 %, with a standard deviation of about 10 %.

The dimensionless force – front element

Dimensionless impact force has been obtained by means of the material density (the density of zeolite $\rho = 1080 \text{ Kg/m}^3$), the velocity of the mixture flow near to the works (v) and the impact area (A):

$$F_{d_less} = \frac{F}{\rho v^2 A} .$$

The impact area is defined as in Fig. 13.

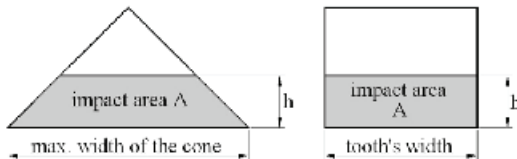


Fig13: Definition of impact area for the cones and for the teeth used in the evaluation of dimensionless impact force.

Fig13: Definizione dell'area di impatto nel caso dei coni e dei denti usata nella valutazione della forza di impatto adimensionale.

In Fig. 14, Fig. 15 and Fig. 16 dimensionless impact force is showed for circular base cones, elliptical base cones and teeth. The behaviour of the two types of cones doesn't differ significantly.

Fig14: Dimensionless impact force against retarding elements having the shape of elliptical base cones at various inclination angles and at various mixture weight.

Fig14: Forza adimensionale di impatto sugli elementi conici a base ellittica al variare della pendenza della canaletta e dell'angolo di apertura degli elementi rallentatori.

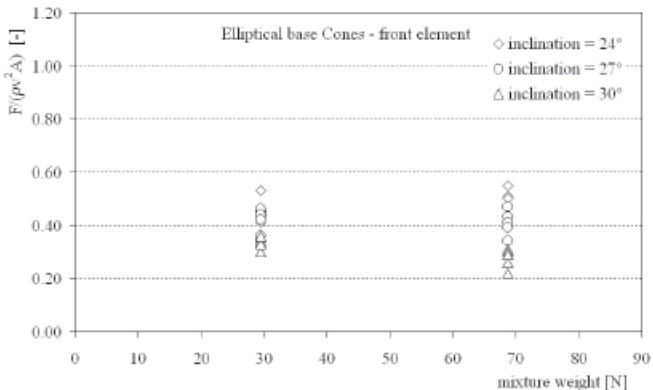


Fig15: Dimensionless impact force against retarding elements having the shape of circular base cones at various inclination angles and at various mixture weight.

Fig15: Forza adimensionale di impatto sugli elementi conici a base circolare al variare della pendenza della canaletta e dell'angolo di apertura degli elementi rallentatori.

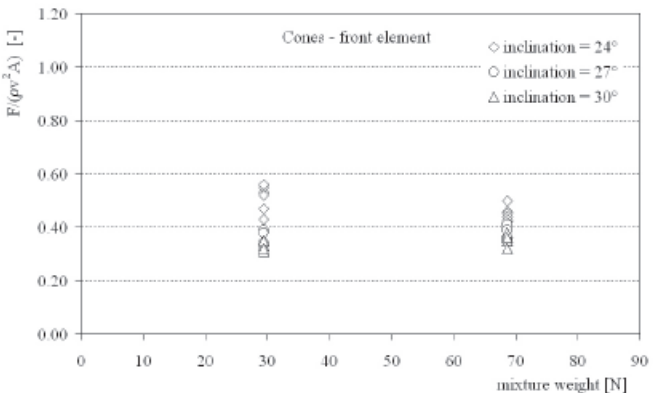
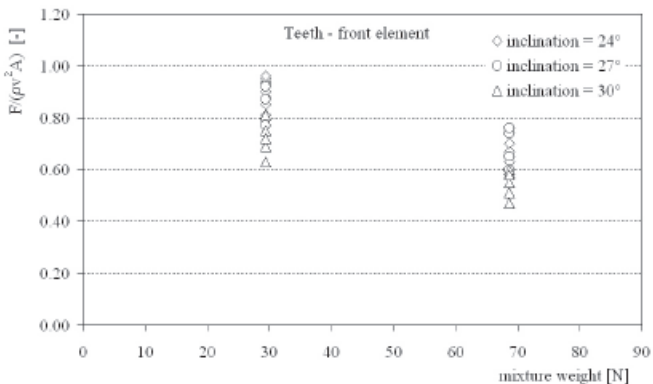


Fig16: Dimensionless impact force against retarding elements having the shape of vertical walls at various inclination angles and at various mixture weight.

Fig16: Forza adimensionale di impatto sui denti al variare della pendenza della canaletta e dell'angolo di apertura degli elementi rallentatori.



The mean value of

F_{d_less} is 0.41 for circular base cones, while is 0.40 for elliptical base cones. A certain variability, observable around the mean value, should be mostly due to the variability of the bulk density, the parameter that should be more correctly used to construct the dimensionless force.

In case of vertical wall retarding elements the mean value of the dimensionless force is much greater and equal to 0.74. In this case, besides the dispersion around the mean value, it is observable a different mean value in the tests performed with a weight of material of 29 N and the tests with a weight of 69 N. For this behaviour should be responsible another important dimensionless parameter: the relative height, defined as the ratio between the height of the flowing mixture and the height of the retarding elements. The dimensionless impact force is bigger when the relative height is lower.

The dimensionless force – rear elements

In Fig. 17, Fig. 18 and Fig. 19, dimensionless impact force is showed for the three types of considered retarding elements located in the rear line, when the opening angle changes from 25° to 45°. Velocity v and impact area A are the same used for the front element.

Fig17: Dimensionless impact force against rear retarding elements having the shape of elliptical base cones at various inclination angles, at various mixture weight and at various opening angles.

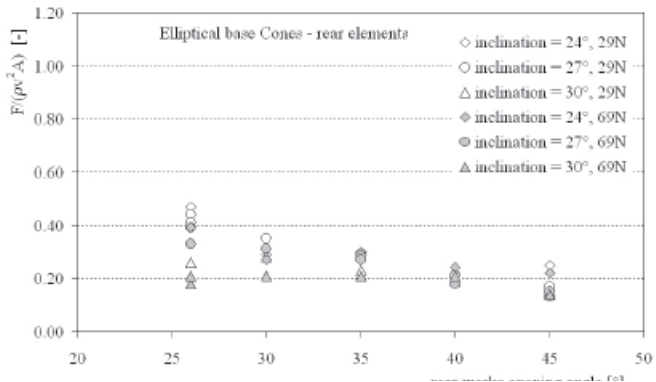


Fig17: Forza di impatto adimensionale sui coni a base ellittica della fila posteriore al variare della pendenza della canaletta e dell'angolo di apertura delle opere.

Fig18: Dimensionless impact force against rear retarding elements having the shape of circular base cones at various inclination angles, at various mixture weight and at various opening angles.

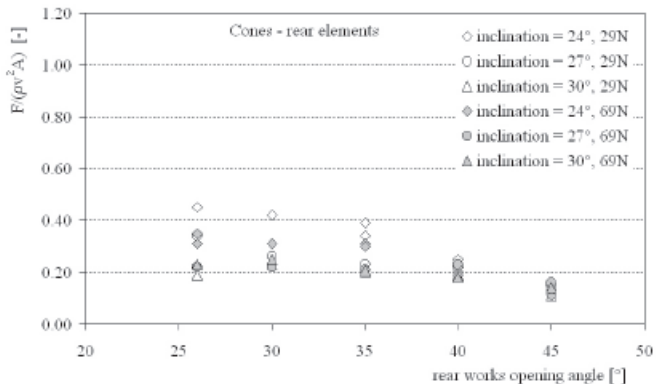
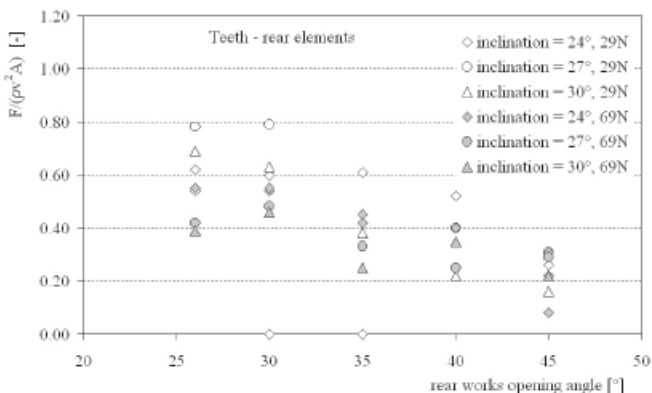


Fig18: Forza di impatto adim. sui coni a base circolare della fila posteriore al variare della pendenza della canaletta e dell'angolo di apertura delle opere.

Fig19: Dimensionless impact force against rear retarding elements having the shape of vertical walls at various inclination angles, at various mixture weight and at various opening angles.

Fig19: Forza di impatto adimensionale sui denti della fila posteriore al variare della pendenza della canaletta e dell'angolo di apertura delle opere.



In the Fig. 20 the mean value of dimensionless impact force is showed. At the rear position, in case of cones, the maximum impact force is produced with an opening angle which is less than 26°. On the other hand, in case of vertical wall elements the maximum impact force was observed at opening angles near to 30°.

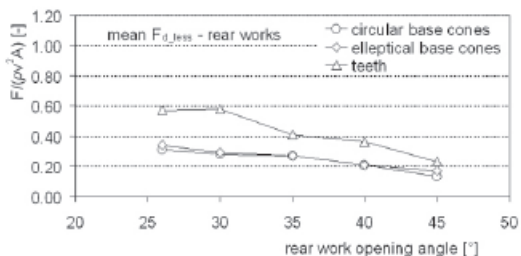


Fig20: Behaviour of the mean value of dimensionless impact force for the rear retarding elements when the opening angle varies from 25° to 45°.

Fig20: Andamento del valore medio della forza di impatto adimensionale per le opere della fila posteriore al variare dell'angolo di apertura.

Longitudinal and cross-sectional efficiency

In Fig. 21 and Fig. 22 the efficiency of the systems are plotted when the opening angle of rear works varies from 25° to 45°. All the retarding systems tend to reduce their longitudinal and cross-sectional efficiency when the opening angle is larger than 25°. Around 25°-30° the efficiency of teeth and elliptical base cones appears to be larger than the efficiency of circular base cones. Nevertheless, as the opening angle increases, it is visible a more regular behaviour of the efficiency loss when using cones. The maximum longitudinal and cross-sectional efficiency tends to occur when the maximum dimensionless force occurs.

CONCLUSIONS

The paper gives some technical information that can be used in the designing process of retarding works against dense snow avalanches. It provides some criteria to estimate the maximum total force acting on different types of structures, once the main physical parameters that characterize the flowing mass are defined, for instance by a numerical dynamic analysis. It shows that dimensionless force is much bigger for the systems that use

vertical wall elements instead of cone shaped structures, that the opening angle of the rear structures at which the cross-sectional and the longitudinal efficiency present their maximum value is less than 26° and that the maximum efficiency happens when the dimensionless force is the maximum

The phenomena produced in the laboratory can be thought to represent real phenomena in the Froude similarity at a scale of the order of magnitude of roughly 1:100. A confirmation of the experimental results should be given at a higher scale.

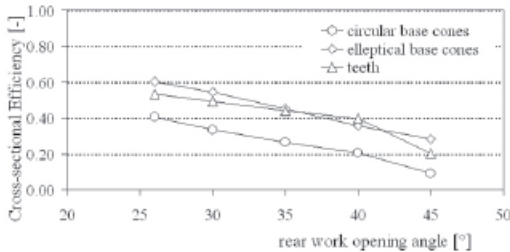


Fig21: Behaviour of the mean value of the cross-sectional efficiency of the retarding system when the opening angle varies from 25° to 45° .

Fig21: Andamento del valore medio dell'efficienza trasversale del sistema di rallentamento al variare dell'angolo di apertura delle opere posteriori.

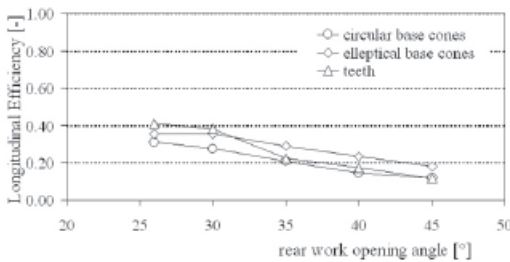


Fig22: Behaviour of the mean value of the longitudinal efficiency of the retarding system when the opening angle varies from 25° to 45° .

Fig22: Andamento del valore medio dell'efficienza longitudinale del sistema di rallentamento al variare dell'angolo di apertura delle opere posteriori.

REFERENCES

- Johannesson, T., alii, 2006, The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments (www.leeds.ac.uk/satsie/).
- Faug, T., Naaim, M., Naaim-Bouvet, F., 2004, An equation for spreading length, center of mass and maximum run-outs shortenings of avalanche flows by obstacle, Cold Regions Science and Technology 39, 141-151.

ACKNOLEDGMENTS

The authors would like to thank Ilaria Bezzi and Patrizia Pederzoli, involved in the research during their degree thesis. Besides they need to thank all the technicians of the Laboratory of Hydraulics of the University of Trento.

NACHHALTIGER SCHUTZWALD ENTLANG VON FLIESSGEWÄSSERN

DAS PROJEKT „NASEF“ IM KANTON LUZERN (SCHWEIZ)

SUSTAINABLE PROTECTION FOREST ALONG STREAMS

THE PROJECT “NASEF” IN THE CANTON LUCERNE (SWITZERLAND)

Roland Stalder¹, Salome Martin¹ und Silvio Covi²

ZUSAMMENFASSUNG

Wälder nehmen in der Naturgefahren-Prävention eine Schlüsselrolle ein. Vom 21. bis 23. August 2005 verursachten lang anhaltende Starkniederschläge (verbreitet > 200 mm Niederschlagsmenge in 72 Stunden) in weiten Teilen der Schweiz grosse Schäden – auch an Gewässern und angrenzenden Wäldern. Der Unterhalt der Fliessgewässer im Kanton Luzern ist kompliziert geregelt. Gemäss Wasserbaugesetz obliegt er den angrenzenden Grundeigentümern und den Gemeinden.

Aufgrund dieser Ausgangslage blieb bisher der Gewässerunterhalt (sog. "Wuhrpflicht") insbesondere auch in bewaldeten Gebieten meist vollständig aus. Das Projekt "Nachhaltiger Schutzwald entlang von Fliessgewässern" (NASEF) versucht diese Lücken zu schliessen. Einerseits sollen die entstandenen Schäden und Naturgefahren-Risiken behoben werden, andererseits werden die Träger der Wuhrpflicht in das Projekt miteinbezogen und für einen dauernden Unterhalt am Gerinne und in ihren Schutzwäldern motiviert. 178 ausgeschiedene Objekte werden bezüglich Handlungsbedarf genauer beurteilt. Neue Objekte können je nach Unwettersituation hinzukommen.

Keywords: Naturgefahren, Schutzwald, Gewässerunterhalt, Wuhrpflicht, Kommunikation

ABSTRACT

Forest plays a key role in flood protection. End of August 2005, intense precipitation (generally > 200 mm within 72 hours) caused enormous damage to not only many infrastructures but also streams and forests. The forest maintenance along streams in the Canton of Lucerne is complicated and the duty of the land owners and municipalities. However, in practice, this division of responsibilities is often not realized, in particular not with the so-called "Wuhrpflicht" (duty of maintenance of forests and waters). The project (NASEF) wants to close this gap between the different fields of responsibility. The project focuses on the one hand on the direct maintenance work. On the other hand it initiates a

1 Oeko-B AG, Weidlistrasse 2, CH-6370 Stans, Schweiz (phone: +41-41-610-76-30; fax: +41-41-610-89-54; e-mail: info@oeko-b.ch)

2 Dienststelle Landwirtschaft und Wald Kanton Luzern, Bahnhofstrasse 22, CH-6002 Luzern, Schweiz (phone: +41-41-228-62-09; fax: +41-41-228-66-86; e-mail: silvio.covi@lu.ch)

sustainable maintenance for protection forests by involving the concerned municipalities and forest owners. 178 objects could be assessed and will be looked at closer during the project phase in terms of call for action.

Keywords: natural disasters, protection forest, river maintenance, communication

EINLEITUNG UND ANLASS

Wälder nehmen in der Naturgefahren-Prävention eine Schlüsselrolle ein. Bei den Wasserprozessen (Überschwemmung, Übersarung und Erosion) fördern Wälder die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens und stabilisieren die Uferbereiche. Überalterte oder schlecht unterhaltene Wälder können diese Schutzfunktionen jedoch nicht wahrnehmen oder sogar selber zur Gefahr werden. Letzteres kann bei Hochwasserereignissen aber auch ungeachtet des Waldzustandes der Fall sein.

Vom 21. bis 23. August 2005 verursachten lang anhaltende Starkniederschläge (verbreitet > 200 mm Niederschlagsmenge in 72 Stunden) in weiten Teilen der Schweiz grosse Schäden – auch an Gewässern und angrenzenden Wäldern. Die meisten Schäden entstanden an grösseren Gewässern. Für kleinere Einzugsgebiete war die Intensität der Niederschläge vielfach nicht stark genug, um erhebliche Schäden hervorzurufen.

In bewaldeten Abschnitten entstanden neue Naturgefahren-Risiken, was auch die mittelfristige Schutzwirkung dieser Wälder stark beeinträchtigt. Der Handlungsbedarf für die Behebung dieser Risiken wurde als dringend beurteilt.

Die hochwasserrelevanten Schutzwälder liegen oft in schlecht zugänglichen Einzugsgebieten von Fliessgewässern. Sie werden nur sporadisch bewirtschaftet und verfügen über sehr grosse Holzvorräte (meist > 600 m³ / ha).



Abb1: Zerstörter Uferwald (2005)
Fig1: Destroyed riparian forest

RAHMENBEDINGUNGEN

Die Zuständigkeiten entlang von Fliessgewässern im Kanton Luzern sind kompliziert. Gemäss Wasserbaugesetz ist die Regelung dreistufig:

- Die Ufer- und Gehölzpflege obliegt den Grundeigentümern;
- Die Hoheit über den Gewässerunterhalt haben die Gemeinden;
- Die Zuständigkeit für wasserbauliche Massnahmen liegt beim Kanton.

Die Verantwortlichkeit von Gehölzpflege und Gewässerunterhalt wird im Kantonalen Wasserbaugesetz als „Wuhrpflicht“ bezeichnet. Diese wird sehr unterschiedlich wahrgenommen, in bewaldeten Abschnitten vielerorts gar nicht. Weil die Schweizerische Waldgesetzgebung keine generelle Bewirtschaftungspflicht kennt, unterlassen die Grundeigentümer die Waldpflege insbesondere dann, wenn sie defizitär ist. Im Schutzwald

können die Forstbehörden Massnahmen anordnen, womit die Öffentlichkeit auch zahlungspflichtig wird.
Nebst dem ineinandergreifen der beiden genannten Gesetze fallen die speziellen Eigentumsverhältnisse am Luzerner Wald besonders auf. Der Anteil an kleinpärzelliern Privatwald ist mit 70% sehr hoch. Über 12'000 Waldeigentümer besitzen durchschnittlich 2.2 Parzellen mit einer Fläche von rund einer Hektare. Massnahmen im Schutzwald lassen sich nur gemeinsam effizient durchführen. Mit der Wuhpflicht sind entlang von Fließgewässern die Pflichten der Waldeigentümer definiert. Deren Einbezug ist wichtiger Bestandteil jedes Entscheidungsprozesses.

Nachfolgend werden diese Zuständigkeiten illustriert.

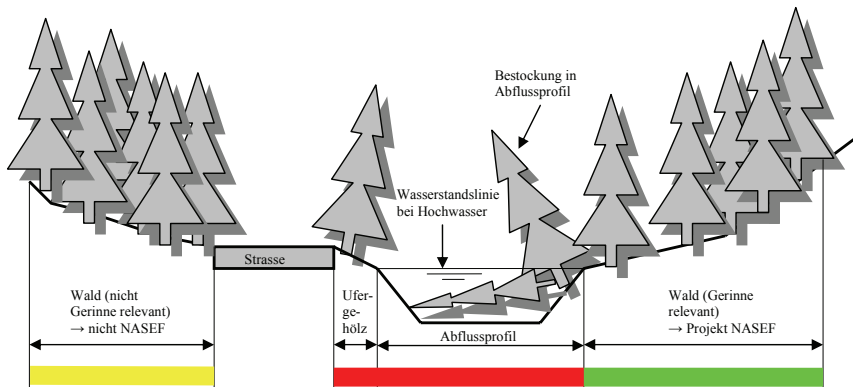


Abb2: Zuständigkeiten entlang von Fließgewässern

Fig2: Responsibility along streams

Projekt NASEF:

- Wald, Gerinne relevant und ausserhalb Abflussprofil
→ grüner Bereich

Nicht Projekt NASEF:

- Wald in Abflussprofil
→ roter Bereich
- Ufergehölz ausserhalb Abflussprofil, nicht als Wald ausgeschieden
→ roter Bereich
- Wald, nicht Gerinne relevant
→ gelber Bereich

Die Wasserstandslinie bei Hochwasser dient als Abgrenzung im gesetzlichen Vollzug. Massnahmen innerhalb des Abflussprofils und an Ufergehölzen werden grundsätzlich der Wuhpflicht und damit dem ordentlichen Unterhalt zugeordnet. Bei grösseren Schäden und überwiegenden öffentlichen Interessen (Schadenpotential) erfolgt deren Behebung über Wasserbauprojekte unter der Begleitung und (finanzieller) Unterstützung durch die Fachstelle Wasserbau.

NASEF ist somit ein forstliches Projekt mit gleichzeitiger Unterstützung im Gewässerunterhalt. Allfällige wasserbauliche Massnahmen können dabei identifiziert und koordiniert behoben werden. Weil die Behebung der Hauptschäden entlang der grossen Fließgewässer im Kanton Luzern primär wasserbaulicher Art ist, konzentriert sich NASEF auf die Zuflüsse und Nebengerinne.

ZIELE

Die Zielsetzungen von NASEF lauten:

- Behebung von Schäden am Wald und präventive Waldpflege (Hauptziele);
- Identifikation der Naturgefahren-Risiken und Prioritätensetzung;
- Waldbauliche Massnahmen gemäss anerkannter Vorgaben;
- Strikte Einhaltung der Arbeitssicherheit;
- Partizipation aller Betroffenen und Koordination.

Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben diese Ziele.

Behebung von Schäden am Wald und präventive Waldpflege (Hauptziele)

NASEF will einerseits die entstandenen Schäden am Wald bewältigen und vorhandene Naturgefahren-Risiken identifizieren. Die zur Verfügung stehenden Mittel sind optimal einzusetzen und führen zu einer grösstmöglichen und nachhaltigen Verbesserung der mittelfristigen Schutzwirkung der Wälder. Andererseits werden die Träger der Wuhpflicht – also die Gemeinden und Grundeigentümer – in das Projekt miteinbezogen und für einen dauernden Unterhalt ihrer Schutzwälder sensibilisiert, motiviert und unterstützt. Gut unterhaltene Schutzwälder sind ein wichtiger Bestandteil der Naturgefahren-Prävention (z.B. Uferstabilisierung, Verminderung Schwemmholz). Schutzwald- und Uferpflege sind eine Daueraufgabe!



Abb3: Wehr bei Perlen mit Schwemmholz (2005)

Fig3: Weir nearby Perlen with floating wood

Identifikation und Prioritätensetzung

Vorerst gilt es, die Wälder mit relevanten Schäden und Naturgefahren-Risiken zu identifizieren und einen allfälligen Handlungsbedarf (Soll-Ist Vergleich) mit zielgerichteter Massnahmenplanung abzuleiten. Der risikobasierte Ansatz führt zur Ausscheidung derjenigen Waldgebiete (= Objekte), welche einen direkten Zusammenhang von Gefahrenpotenzial (z.B. instabile Uferbereiche) und Schadenpotenzial (z.B. Siedlungsgebiet) aufweisen. Anschliessend erfolgt eine Priorisierung hinsichtlich Zeitpunkts der Detailbeurteilung (Massnahmenplanung im Detail) und der Arbeitsausführung.

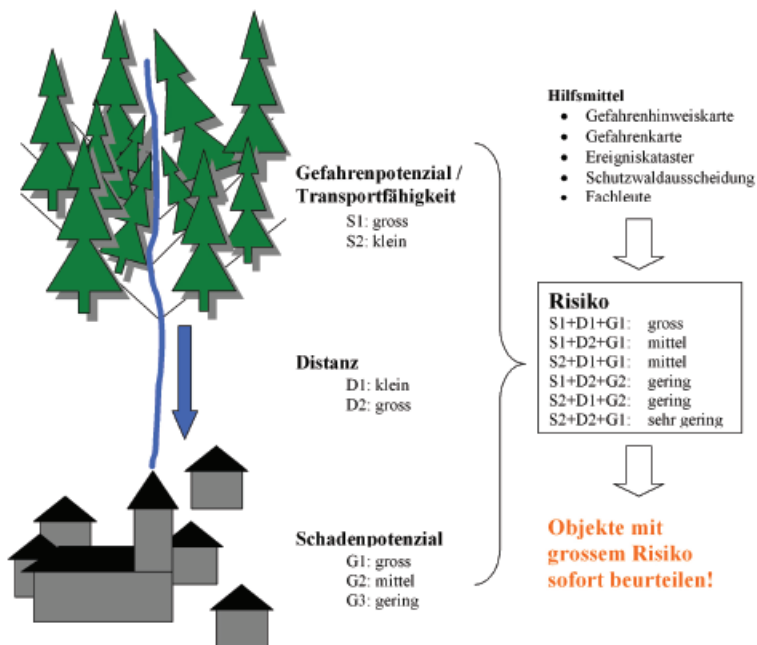


Abb4: Einfache Risikobeurteilung führt zur Beurteilungspriorität

Fig4: Elementary risk evaluation leads to priority of assessment

Waldbauliche Massnahmen gemäss anerkannter Vorgaben

Eine einheitliche Beurteilung der Objekte ist äusserst wichtig und stellt hohe Anforderungen an alle Beteiligten. Die Beurteilungsmethodik stützt sich auf die Wegleitung "Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS)" des Bundesamtes für Umwelt. Dieses anerkannte und in der Schweiz als Standard für die Schutzwaldpflege geltende Instrument zeigt auf, wie ein Schutzwald minimal aufgebaut sein muss, um gegen die vor Ort herrschende Naturgefahr nachhaltig und langfristig Schutzwirkungen zu erbringen. Zentral ist die Tatsache, dass sich der Begriff „minimal“ nicht auf die Massnahmen bezieht, sondern auf den minimal geforderten Waldzustand hinsichtlich der gegebenen Naturgefahr(en). Das Sparpotenzial liegt in einer zielgerichteten Planung und in einem effizienten Mitteleinsatz.

Arbeitssicherheit

Vergangene Naturgefahrenereignisse wie beispielsweise der Orkan Lothar haben gezeigt: Forstliche Arbeiten sind im Schadenfall sehr gefährlich. Um dem Anspruch einer bestmöglichen Arbeitssicherheit gerecht zu werden, sind die im Projekt definierten Anforderungen an die ausführenden Facharbeiter sehr hoch. Zum Einsatz gelangen nur anerkannte Forstunternehmungen mit der „Branchenlösung Forst“ (vgl. Literatur / Hinweise). Dies ist eine in der Forstbranche anerkannte Vereinbarung für Arbeitssicherheit und

Gesundheitsschutz. Die Waldeigentümer können bei der Ausführung mitarbeiten, jedoch nur mit einer forstlichen Grundausbildung und im Rahmen vorgängig festgelegter Arbeitsgattungen (z.B. einfache Holzerei, Schlagabraum).

Partizipation und Koordination

Die Gemeinden und Grundeigentümer werden bereits in einer frühen Planungsphase „ins Boot geholt“. Mit dauernder und transparenter Information sowie der Möglichkeit der Mitgestaltung werden Betroffene zu Projektpartnern.

Wie erwähnt bewegt sich NASEF an der Schnittstelle zwischen Wuhrpflicht, Wasserbau und Schutzwaldpflege. Für eine optimale Koordination der Interessen aller Beteiligten sind die entsprechenden Interessengruppen im strategischen Projektstab vertreten. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit ist herausfordernd und motivierend.

NUTZEN

Der gewählte Projektansatz verspricht nebst der unmittelbaren Bewältigung vorhandener Schäden und Naturgefahren-Risiken auch die Initiierung eines dauernden und nachhaltigen Unterhalts der gerinnerelevanten Schutzwälder durch die Träger der Wuhrpflicht (Gemeinden und Grundeigentümer). Dauernder Unterhalt der Schutzwälder hilft bei zukünftigen Ereignissen grosse Schäden (insbesondere durch Ufererosionen, Böschungsrutschungen und Schwemmh Holz) zu vermindern oder zu verhindern.

ORGANISATION

Dem strategischen Projektstab gehören die kantonalen Dienststellen Landwirtschaft und Wald (Wald), Verkehr und Infrastruktur (Wasserbau) sowie eine Vertretung der Gemeinden an. Mit der operativen Projektleitung ist ein Ingenieurbüro beauftragt. Die Projektleitung betreut die Fachförster Naturgefahren (= Revierförster mit zusätzlicher Fachkompetenz Naturgefahren). Diese beurteilen die Objekte.

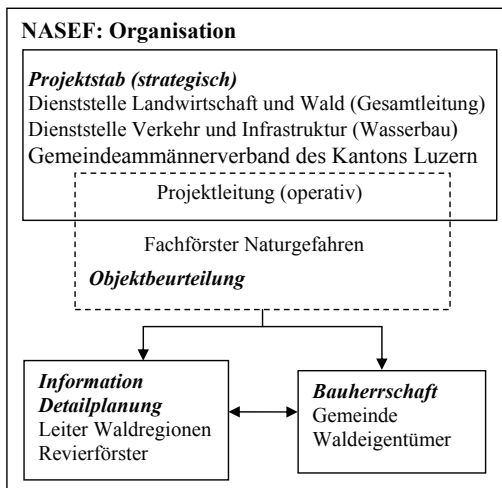


Abb5: Übersicht Organisation

Fig5: Scheme of organisation

Die jeweiligen Leiter der Waldregionen (vormals Kreisforstämter; 3 Waldregionen im Kanton Luzern) informieren Gemeinden und Waldeigentümer. Der örtliche Revierförster führt die Detailplanung und die Bauleitung durch. Als Bauherrin übernimmt die Gemeinde die Bauherrschaft und die Vorfinanzierung der Objektkosten.

PROJEKTDAUER

Das Projekt ist auf 5 Jahre ausgelegt (Mitte 2006 bis Mitte 2011).

KOMMUNIKATION

Eine transparente und rechtzeitige Kommunikation der Abläufe und Entscheidungen fördert die Akzeptanz und das Bewusstsein hinsichtlich der Leistungen des Projekts. Gleichzeitig stellt sie reibungslose Abläufe sicher. Ein speziell für NASEF erarbeitetes Informationskonzept unterstreicht die grosse Bedeutung der Kommunikation im Rahmen dieses Projektes.

Intern

Die interne Kommunikation bezieht sich auf die oben skizzierte Projektgruppe (Abb. 4) und bezweckt schlanke und einheitliche Projektabläufe. Die Beteiligten kennen die Aufgaben und Kompetenzen der einzelnen Projektgruppenmitglieder. Wesentlicher Grundstein für eine einheitliche Beurteilungssystematik bilden die unmittelbar nach Projektstart für die ganze Phase der Objektbeurteilung erarbeiteten Formulare und Vorlagen. Weiterbildende Instruktionstage festigten die fachliche Kompetenz der Projektgruppe.

Eine zentral verwaltete Datenbank weist sämtliche Informationen zum Gesamtprojekt oder zu den einzelnen Objekten aus und steht der Projektgruppe nach dem Hol-Prinzip zur Verfügung.

Die Information der Gemeinden erfolgte zu Projektbeginn schriftlich. Regionale Veranstaltungen dienen der Vorstellung des Vorprojektes und ermöglichen erste direkte Kontakte. Diese werden nach Vorliegen der Objektbeurteilungen intensiviert und im Rahmen der Arbeitsausführung vertieft.

Die Information der betroffenen Waldeigentümer findet nach der Zustimmung zur Arbeitsausführung durch den Gemeinderat in Zusammenarbeit zwischen Revierförster und Gemeinde statt.

Extern

Für die externe Kommunikation (interessierte Öffentlichkeit) werden die Informationskanäle der verschiedenen Projektpartner genutzt, beispielsweise die Website der Dienststelle Landwirtschaft und Wald, Mitgliederinformationen des Gemeindeammännerverbandes des Kantons Luzern. Zudem berichten kommunale, regionale und kantonale Printmedien regelmässig.

PROJEKTABLAUF

Übersicht

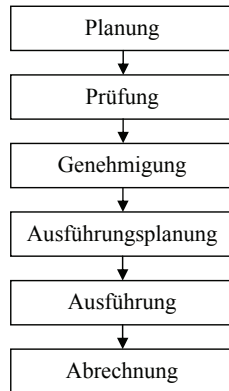


Abb6: Übersicht Projekttablauf
Fig6: Scheme of project operation

Planung

Die erste Projektphase galt dem Überblick und der Sichtung mögliche Objekte. Anschliessend wurden die rund 350 Meldungen von Revierförstern und Gemeinden in Beurteilungsprioritäten unterteilt. Kriterien hierfür waren:

- Schutzwirkung des Waldes (gemäss vorhandener Schutzwaldausscheidung Kanton Luzern);
- Potenzial der Einflussnahme durch waldbauliche Massnahmen;
- Vorhandenes Gefahrenpotenzial und Distanz zum Schadenpotenzial (Siedlungsgebiet, Infrastrukturen).

Nach dieser Triage sind 178 Objekte der ersten und zweiten Priorität übrig geblieben, welche durch die Fachförster Naturgefahren bezüglich eines möglichen Handlungsbedarfs genauer zu beurteilen sind (rund 2'000 Hektar Schutzwald). Der Nachweis des Handlungsbedarfs erfolgt nach den Vorgaben von NaiS. Das Anforderungsprofil des jeweiligen Waldbestandes wird mit dem Ist Zustand verglichen (Soll-Ist-Vergleich). Dabei wird auch die Entwicklung des Objekts ohne Massnahmen beurteilt. Erst wenn klar ist, dass eine Verbesserung nur mittels Eingriffen erreicht werden kann, erfolgt die Formulierung von wirksamen Massnahmen. Die dabei zu erstellenden Objektunterlagen weisen nachvollziehbar aus, ob ein Objekt die Projektanforderungen erfüllt. Im Falle von Handlungsbedarf beinhalten diese gleichzeitig ein grobes Massnahmenkonzept mit Kostenschätzung.

Prüfung

Die Projektleitung überprüft die einheitlich zusammengestellten und visualisierten Objektunterlagen auf Vollständigkeit, Plausibilität und fachliche Fehlerfreiheit. Ein spezielles Augenmerk richtet sich auf offene Fragen und die Bereinigung der Schnittstellen zum Wasserbau.

Genehmigung

Nach der Besprechung des Beurteilungsergebnisses mit den Gemeindeverantwortlichen stellt die Gemeinde als Bauherrin einen Antrag zur definitiven Aufnahme der Objekte ins Projekt NASEF und damit zur Unterstützung mit öffentlichen Geldern. Die definitive Genehmigung obliegt dem Fachbereich Waldpflege. Anschliessend übernehmen Gemeindevertreter und Revierförster die objektspezifische Information der betroffenen Grundeigentümer.

Ausführungsplanung

Die Bauleitung, meist durch den örtlichen Revierförster wahrgenommen, erarbeitet die detaillierte Ausführungsplanung samt Holzzeichnung, in der Regel im Beisein der betroffenen Grundeigentümer. Eine Kombination mit ordentlichen Holzschlägen ausserhalb des Projektperimeters ist möglich.

Die Detailplanung fliesst in die einheitlich gestalteten Ausschreibungsunterlagen ein, mit denen die Gemeinde mindestens zwei Offerten bei anerkannten Forstunternehmen einholt. Ausführungsplanung und Offerten werden durch die Projektleitung geprüft und durch den Fachbereich Waldpflege nach Verfügbarkeit der vorhandenen Kredite genehmigt. Die Arbeitsvergabe ist anschliessend Sache der Bauherrin.

Ausführung

Die Bauleitung begleitet die Ausführung der Massnahmen. Nach Abschluss der Arbeiten stellt die Gemeinde die Abrechnungsunterlagen zusammen.

Abrechnung

Als Bauherrin ist die Gemeinde für die Vorfinanzierung der Kosten verantwortlich. Diese werden durch den Holzerlös, einem Gemeindebeitrag von 20 % an den Nettoaufwand (Kosten nach Abzug des Holzerlöses), einem fixen Bundesbeitrag (Flächenbeitrag pro Hektar) sowie einem variablen Kantonsbeitrag (Übernahme der Restkosten) abgedeckt. Es sei nochmals darauf hingewiesen, dass sämtliche Massnahmen innerhalb des Gerinnes (Hochwasserlinie) durch die Gemeinde bzw. durch ein allfälliges Wasserbauprojekt zu tragen sind (Wasserbaugesetz).

CONTROLLING

Im Projekt NASEF erfolgt das Controlling auf zwei Ebenen:

Das Controlling des Gesamtprojektes obliegt dem Projektstab. Standortbestimmungen können dank den auf Stufe Datenbank zentral verwalteten Objekt-Kennziffern rasch und fortwährend vorgenommen werden.

Die Erfolgs- und letztendlich auch die Wirkungskontrolle auf der Fläche basiert auf der Beurteilungsmethodik von NaiS. Über den ganzen Kanton verteilt werden langfristige Testflächen eingerichtet und regelmässig auf die Wirksamkeit der ausgeführten Massnahmen überprüft (Weiserflächen).

Für die einzelnen Objekte sind die Zuständigkeiten und Kompetenzen der Projektgruppenmitglieder genau geregelt. Im Planungsablauf sind Prüfungs- und Genehmigungsschritte definiert.

FAZIT NACH EINEM JAHR PROJEKTLAUFZEIT

Generelles Fazit

Das Projekt ist gut angelaufen. Nach einer ersten Phase 2005/06 mit der Projekt- und Ablaufplanung sowie der aufwändigen Erarbeitung von Grundlagen wurden 2006/07 rund 50 Objekte beurteilt. Die ersten Massnahmen wurden im Herbst/Winter 2007 ausgelöst.

Der Einbezug der Interessengruppen „Wasserbau“ und „Gemeinden“ in den Projektstab hat sich bewährt. Grundsatzentscheide können breit abgestützt gefällt werden. Für die Kommunikation steht ein umfangreiches Netzwerk mit zahlreichen Informationskanälen zur Verfügung.

Besondere Anforderungen

Das Projekt NASEF ist im Kanton Luzern einzigartig und birgt für die Projektgruppe besondere Anforderungen:

Einheitliche Beurteilung und Planung

Objektbeurteilung und Massnahmenplanung erfolgen durch eine kleine Gruppe von Personen. Eine einheitliche Beurteilung und Planung garantieren einen optimalen und effizienten Einsatz der zur Verfügung stehenden Mittel. Dieses einheitliche Vorgehen wurde mit der ganzen Projektgruppe an mehreren Fortbildungstagen geübt:

- Eichungsbegehungen (gemeinsame Beurteilung von Objekten, Diskussion offener Fragen);
- NaiS-Kurs (Einführungskurs zur Beurteilungsmethodik „Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald“).



Abb6: Übungen in Gruppen

Fig6: Exercise in groups

Zuständigkeit / Schnittstellen

Die im Kapitel „Rahmenbedingungen“ beschriebenen Zuständigkeiten sind klar definiert. Die zu beurteilenden Objekte enthalten aber oft mehrere Zuständigkeitsbereiche. Nebst Massnahmen im Schutzwald sind in der Regel Massnahmen im Rahmen des ordentlichen Unterhalts und oftmals auch zusätzliche wasserbauliche Massnahmen erforderlich. Mittels Kostenteiler (prozentuale Aufteilung) werden die entsprechenden Zuständigkeiten gewichtet.

Die wichtigsten Partner, die Gemeinden und Grundeigentümer, anerkennen NASEF als wertvolle und unterstützende Dienstleistung bei der Erfüllung zentraler Aufgaben im Bereich

der öffentlichen Sicherheit. Eine Aussage, ob damit gleichzeitig der erhoffte wichtige Schritt für die Wahrnehmung der Verantwortlichkeiten im Rahmen der Wuhrpflicht für die Zukunft gelegt werden kann, ist noch verfrüht.

Eigenleistungen Waldeigentümer

Viele Waldeigentümer bewirtschaften ihren Wald selber (Holzverkauf, Eigenbedarf an Bau- und Brennholz). NASEF sieht vor, dass die Waldeigentümer bei der Ausführung Eigenleistungen erbringen können. Diese sind im Einzelfall zu definieren, wobei die Arbeitssicherheit strikte eingehalten werden muss. Die erforderlichen Ausbildungsstandards sind genau definiert. Zudem haben die Waldeigentümer die Möglichkeit, einen Anteil Brennholz kostenfrei und Bauholz zu günstigen Konditionen für den Eigenbedarf zu beziehen.

Abrechnungsmodell

Da das Projekt NASEF bis 2011 läuft, wurde das Abrechnungsmodell von Anfang an auf die neue Subventionspolitik des Bundes, welche ab 01.01.2008 in Kraft tritt, ausgerichtet. Im Rahmen der so genannten „Neugestaltung des Finanzausgleichs und der Aufgabenteilung zwischen Bund und Kantonen (NFA)“ werden vom Bund Globalbeiträge an Massnahmenprogramme gesprochen. Es liegt in der Verantwortung der Kantone, die Globalbeiträge weiter zuzuordnen. Bezüglich Schutzwald erhalten die Kantone (und damit auch der Kanton Luzern für das Projekt NASEF) einen mengenmässig zwar individuellen, schweizweit jedoch einheitlichen Flächenbeitrag in Franken pro gepflegte Hektare Schutzwald.

Mit der Anpassung des Abrechnungsmodells an die Tatsache, dass die Restkosten durch den Kanton abgedeckt sind (gesetzliche Verpflichtung im Schutzwald gemäss Kantonalem Waldgesetz), tragen die Gemeinden während der gesamten Projektdauer gleich hohe Anteile an die Projektkosten bei (20 % nach Abzug des Holzerlöses).

LITERATUR / HINWEISE

Zitierte Literatur

Frehner M., Wasser B., Schwitler R. (2005): “Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald - Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion“. Bundesamt für Umwelt Wald Landschaft, Bern, 564 p.

Branchenlösung Forst: Instrument der Eidgenössischen Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS). Suva (Schweizerische Unfall-Versicherungsanstalt), Waldwirtschaft Schweiz (WVS), Verband Schweizerischer Forstunternehmungen (VSFU) und Verband Schweizer Förster (VSF) bilden die Trägerschaft. Betriebe können sich mittels Vereinbarung anschliessen. Anforderungen: Risikoanalyse durchführen, Sicherheitskonzept ausarbeiten, Zuständigkeiten und Abläufe für Sicherheit und Gesundheitsschutz regeln.

Nicht zitierte Literaturhinweise

Rickli Chr., Bucher H., (2006): „Einfluss ufernaher Bestockungen auf das Schwemmholzvorkommen in Wildbächen“, Projektbericht. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf, 95 p.

K. Zürcher, (2003): „Wald - Hochwasser, Prioritäten bei waldbaulichen Massnahmen in hydrologischen Einzugsgebieten“, Schlussbericht. Impuls, Thun, 36 p.

Hegg Chr., Thormann J.-J., Böll A., Germann P., Kienholz H., Lüscher P., Weingartner R. (2004): „Lothar und Wildbäche“, Projektbericht. Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf, 79 p.

TWO DIMENSIONAL MODELLING OF SNOW TEMPERATURE AND SNOW SETTLEMENT

Harald Teufelsbauer¹

ABSTRACT

The investigation of properties of the snow pack aims to a very important field of snow science. The knowledge of snow temperatures provides the basis of any further calculations of physical processes within the snow pack. Therefore a new two dimensional snow pack model is presented which calculates snow temperature deviations and snow densities along a two dimensional cross section of the snow pack. The evaluation of the simulated snow temperatures presents different temperature gradients, depending on snow depth, slope inclination and exposition. The model allows the import of digital elevation models generated by terrestrial or airborne laser scans. All necessary evaluation- and input data are measured by automatic weather stations.

Keywords: snow pack modelling, Finite Element Method, heat transfer, snow settlement

INTRODUCTION

One part of snow science deals with the investigation of snow pack properties. There exist a number of physical snow pack models like *Snowpack* which was developed by the SLF Davos or *Safran* and *Crocus* developed by Météo-France. These models are able to predict the evolution of the snow pack and its stability. Unlike to the existing models, a two dimensional snow pack model was developed at the Institute of Mountain Risk Engineering. This model allows the calculation of snow temperatures, settlement and densification of arbitrary chosen cross sections of a slope. The model describing differential equations are solved with the Finite Element Method which is implemented in Matlab.

GENERATION OF TWO DIMENSIONAL CROSS SECTION GEOMETRIES

Digital elevation models generated by air born and terrestrial laser scans provide a basis for the geometry definition of a two dimensional snow pack model. The pre processing mask of the simulation program allows the definition of any arbitrary intersection of a slope. To draw a two dimensional cross section geometry, snow depth along this intersection can be measured punctually by a supersonic measuring device or laminary by dint of terrestrial laser scans. Figure 1 shows an example for choosing a two dimensional cross section and the extracted cross section.

¹ Department of Structural Engineering & Natural Hazard - Institute of Mountain Risk Engineering, University of Natural Resources and Applied Life Sciences, Gregor Mendel Straße 33, A-1180 Vienna, Austria (e-mail: harald.teufelsbauer@boku.ac.at)

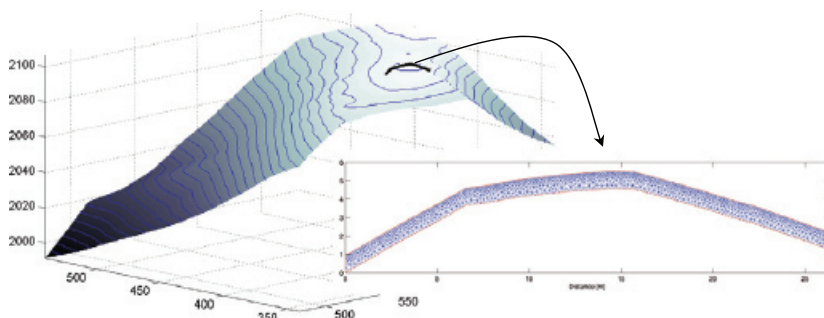


Fig. 1: Generation of a snow pack's cross section geometry. The slice along the black line is triangulated as shown in the right figure.

A delaunay-algorithm is used to triangulate the cross section geometry. The mesh size near the snow surface is smaller than near the soil in order to get better calculation results of thermal fluctuations near the surface, influenced by atmospheric conditions and penetrating solar radiation. A discretisation of the geometry is required for the Finite Element Method which solves the partial differential equations of heat transfer, mass balance and snow settlement numerically.

EXTRAPOLATION OF MEASURED DATA

A two dimensional snow pack model requires the extrapolation of automatic gauging station measurements to other points of the surrounding area. Some data, for example air temperature or humidity will vary just a little within a narrow radius of the gauging station. Compared to this, there are long wave emission-data which are highly dependent on the snow-surface-temperature and the portion of short wave irradiation which depends on exposition and inclination of the slope.

For a precise snow pack simulation exact input data are required. However, some measuring instruments react very sensitive to atmospheric influences and often provide unusable measurements at unfavourable weather conditions. For this reason the test series must be checked and mistakes must be corrected before a simulation can be started. Therefore Matlab smooth functions can be used, to filter erroneous measurements.

Short wave radiation

The calculation of the wave angle φ between solar irradiation and the terrain's normal vector is essential for the calculation of the energy input. By means of the wave angle the percentage of the measured short wave radiation which hits the particular area can be calculated on every single day of the year at any time. Furthermore it can be derived if a calculation point is located in the shadow of another point by using a digital elevation model. The intensity $I(\varphi)$ of the incoming solar radiation is defined as $I(\varphi) = \cos(\varphi)$.

Short wave radiation is measured by using two pyranometers. One pyranometer aiming downwards measures the reflexion of short wave radiation on top of the snow surface whereas the second pyranometer aiming upwards measures the incoming radiation to a horizontal area. The albedo a refers to the quotient of irradiation and emittance. The measurement of shortwave radiation can be distorted by alpine weather conditions like snow fall or hoarfrost. Unfortunately there is no possibility to calculate short wave radiation instead of measuring it.

The only way to check the measured data is to compare incoming and reflected radiation. If unrealistic albedo values arise, an error of measuring should be considered. Since the measurements of the lower part of the radiation measuring device are often more reliable a relationship to the radiation can be established by means of the albedo.

The punctual measurement of shortwave radiation has to be extrapolated from the spatial point of the weather station to the surrounding alpine topography. Therefore the angle φ_{ref} defines the angle between the normal vector of a horizontal plain and the incoming solar radiation. The amount of energy E_{in} which finally arrive the snow surface is calculated as follows:

$$kw_{ref} = \frac{kw_{in}}{\cos(\varphi_{ref})} \tag{1}$$

$$E_{in} = (1 - a) \cdot I(\varphi) \cdot kw_{ref}$$

The short wave reference value kw_{ref} represents the amount of radiation measured by a pyranometer which would be permanently directed normal to the incoming sun rays. It can be calculated including the pyranometer measurement of the incoming radiation kw_{in} and the current position of the sun, which is derived for each time step of the simulation. The calculation of the reference radiation includes a division through $\cos(\varphi_{ref})$ which is nearly zero at sunset and sunrise and exactly zero during the night. To avoid complications at the division through extremely small numerators and denominators the calculation of kw_{ref} is replaced by a bell-shaped curve during sunrise and sunset.

Figure 2 shows the different intensities of incoming shortwave radiation, dependent on inclination and exposition. Besides intensities, the program calculates shadows too which are plotted dark blue.

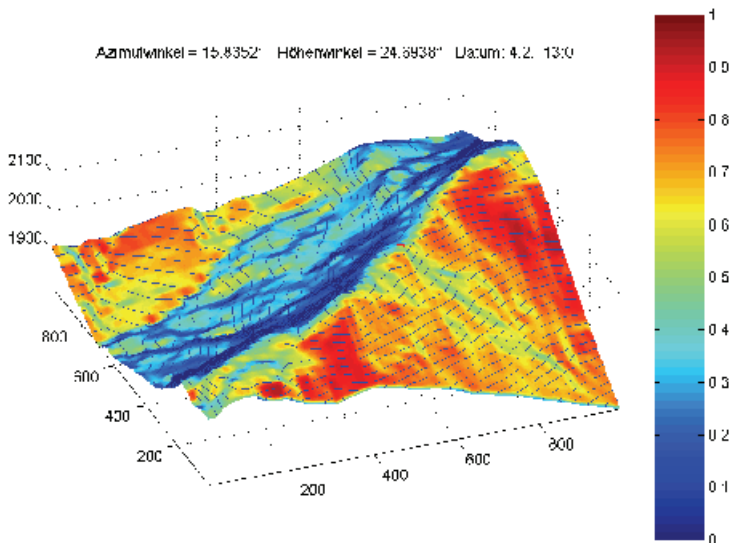


Fig. 2: Calculation of intensity I and shadows, (2005/02/04; 13:00)
red = 100% intensity; blue = 0% intensity

Long wave radiation

The measurement of long wave radiation is carried out with nonventilated pyrrometers, which are very sensitive against atmospheric conditions. Thus it has been tried to replace the measured values by calculated ones. Thereby it is paid attention that only robust data are used for the calculation. Long wave emittance lw_{out} can be calculated as a function of the snow surface temperature T_s [$^{\circ}K$], using the Stefan Boltzmann Equation:

$$lw_{out} = \sigma \cdot T_s^4 \quad \text{with } \sigma = 5.669 \cdot 10^{-8} \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (2)$$

Calculating the long wave irradiation lw_{in} is more difficult. The long wave irradiation equation, developed by the author, strongly depends on air temperature, air humidity and sky cover. Since sky cover cannot be measured, the calculation is limited to an empiric link of air humidity rh and air temperature LT [$^{\circ}K$].

$$lw_{in} = 0.8 \cdot \frac{\min(\max(35, rh), 85)}{100} \cdot \sigma \cdot LT^4 + 90 \quad (3)$$

The net long wave radiation lw is a result from the difference between irradiation and emittance. It is required later to calculate the energy flux over the snow surface. A comparison between measured balance and calculated balance shows that the calculation comes qualitatively close to the measurement but quantities do not fit exactly (fig. 3).

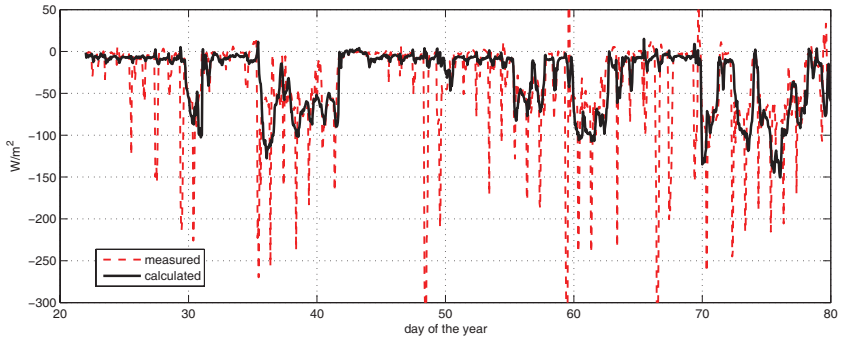


Fig. 3: Comparison between measured and calculated long wave radiation balance between 2005/01/22 and 2005/03/21

MODELLING OF HEAT TRANSFER WITHIN THE SNOW PACK

Heat transfer within the snow pack can be derived by the heat equation. This equation requires the knowledge of snow density ρ_s , specific heat capacity of snow c_s , thermal conductivity k_s and a source term Q , which describes the influence of short wave radiation penetrating the upper 30 to 40 cm of the snow pack.

$$\rho_s c_s \frac{\partial T(x,y,t)}{\partial t} = \nabla \bullet (k_s(x,y,t) \nabla T(x,y,t)) + Q(x,y,t) \quad (4)$$

The source term Q plays an important role for modelling snow temperatures near the snow surface. The source term Q is described by the law of Beer-Lambert which relates the absorption of light to the properties of the material through which the light is traveling. The following equation defines the relation between incoming short wave energy E_{in} and the penetration depth p_d . u_1 and u_2 are empirical parameters depending on the material properties.

$$Q(p_d) = u_1 \cdot E_{in} \cdot \exp(-u_2 \cdot p_d) \quad (5)$$

The boundary conditions of the heat equation are divided into three different types. If the temperature on the surface boundary of the area is known one should prefer to use Dirichlet-boundary-conditions Γ_D . A possibility to describe a heat flux between snow surface and atmosphere is offered by Neumann-boundary-conditions Γ_N or rather hybrid-boundary-conditions Γ_H . If using this hybrid condition, not only heat flux via atmospheric radiation is considered, but also convective influences just like temperature difference between environment and surface coupled with wind velocity.

$$\begin{aligned} T &= T_D && \text{on } \Gamma_D \\ k_s \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} &= g && \text{on } \Gamma_N \\ k_s \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} &= g + v \cdot (T_{ext} - T) && \text{on } \Gamma_H \end{aligned} \quad (6)$$

Different boundary conditions, depending on the available measurement data and symmetry conditions are assigned to the four separated boundaries of the cross section. The left and right boundaries are defined by symmetric conditions which imply homogeneous Neumann-boundary-conditions. The interface between the snow pack and the soil is defined by a Dirichlet-boundary-condition. Temperatures at the bottom of the snow pack are nearly constant at zero degrees Celsius all over the winter. The surface of the snow pack can be described either by a Dirichlet-boundary-condition if snow surface temperature measurements are available or by a hybrid-boundary-condition if energy fluxes are used to derive the energy balance between snow pack and atmosphere. Therefore detailed measurements and calculations of long wave radiation, wind speed, air temperature and relative humidity are essential for the parameterization of the hybrid-boundary-condition. The following equations show the constitution of the hybrid-boundary-condition and the influence of long wave radiation, latent- and sensible heat fluxes.

$$k \frac{\partial T}{\partial \vec{n}} = l_w + q_{latent} + q_{sensible}$$

$$l_w = l_{w_{out}} - l_{w_{in}}$$

$$q_{sensible} = f(v_{wind}) \cdot (T_{air} - T_s)$$

$$q_{latent} = n \cdot v_{wind} \frac{L^{i/w} \cdot \rho_{air}}{P_{air}} (e_s^w(T_{air}) \cdot rh - e_s^i(T_s)) \quad (7)$$

$$e_s^{i/w}(T) = p_t \cdot \exp\left(\frac{L^{i/w}(T - T_t)}{R_v \cdot T_t \cdot T}\right)$$

$L^i = 2838$ [kJ/kg].....latent heat of sublimation

$L^w = 2256$ [kJ/kg].....latent heat of vaporization

rhrelative humidity

v_{wind}wind speed

$p_t = 610,5$ [Pa]triple point pressure

$T_t = 273,16$ [K]triple point temperature

$R_v = 461,9$ [J/(kg K)].....specific gas constant

nempirical constant

The partial differential equation of heat transfer is solved by the Finite Element Method, based on a triangular meshed cross section. The algorithm is designed to handle time variable geometries of the cross section, caused by snow drift, settlement and melting. Further details of the settlement of the snow pack and the influence of the Finite Element mesh are described in the next section.

MODELLING SNOW SETTLEMENT AND DENSIFICATION

It is assumed that the settlement is caused by the snow pack's own weight. Therefore the creeping of the snow pack is modelled by the equilibrium condition of the plane strain. The body force (q_x, q_y) represents the force acting on each grid point, respectively each mass point in x- and y-direction. The stress tensor σ is defined as a Newtonian fluid with very high viscosities. In the following section $\dot{\epsilon}$ defines the strain rate and η the viscosity.

$$\dot{\epsilon} = \frac{1}{\eta} \sigma \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{div} \sigma = -q &\Leftrightarrow \nabla \bullet \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \sigma_{xy} \\ \sigma_{yx} & \sigma_{yy} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} q_x \\ q_y \end{pmatrix} \\ &\Leftrightarrow \underbrace{\begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{pmatrix}}_{=d^T} \cdot \begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} q_x \\ q_y \end{pmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon = d \cdot u &\Leftrightarrow \dot{\varepsilon} = d \cdot \dot{u} \\ &\Leftrightarrow \begin{pmatrix} \dot{\varepsilon}_{xx} \\ \dot{\varepsilon}_{yy} \\ 2\dot{\varepsilon}_{xy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \dot{u}_x \\ \dot{u}_y \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

The influence of snow metamorphism is not modelled explicitly, but it is implicated indirectly at the definition of the snow viscosity. The viscosity η is derived empirically, described in the following equation.

$$\eta = \begin{cases} (h_1 \cdot \rho)^{(h_2 - h_3 \cdot T)} & \text{for } \rho < \rho_g \\ \left(\frac{\rho_s}{\rho_g} \right)^5 \cdot (h_1 \cdot \rho)^{(h_2 - h_3 \cdot T)} & \text{for } \rho \geq \rho_g \end{cases} \quad (10)$$

$\rho_g \sim 150 \text{ kg/m}^3$ is a threshold density, where the rate of settlement decreases very fast. The remaining parameters h_1 , h_2 , h_3 are describing the influence of temperature T_s (in [°C]) and snow density ρ_s .

As a consequence of the settlement snow densities arise. The densification of the snow pack can be calculated by dint of the mass conservation equation applied on compressible materials.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \bullet (\rho \dot{u}) = 0 \quad (11)$$

\dot{u} velocity of settlement

The calculation of the snow settlement is performed by a Lagrangian-description what means, that the Finite Element mesh deforms equivalent to the real mass points. From this it follows, that the shape of the cross section and the mesh is calculated by the settlement calculation. Therefore no remeshing has to be performed to adapt the mesh to the temporally changing

cross section. In contrast, the consideration of snow melt and fresh fallen snow demands remeshing and mapping operations because elements are added or removed, respectively.

EVALUATION

Simulation results are compared with measurements recorded by automatic gauging stations installed in *Lech am Arlberg*. One station is placed on a northern slope and the other one is south-east exposed. A data logger saves every 10 minutes long- and shortwave radiation, air temperature, relative humidity, wind speed, snow depth, soil temperature, snow surface temperature and temperatures within the snow pack. The continuous measurements of atmosphere and snow pack conditions allow the evaluation of simulated snow temperatures within the snow pack and on its surface. The following plot (fig. 4) shows the comparison between measured and calculated snow temperatures at the south-east exposed gauging station. The dotted lines are measured values and solid lines are simulation results. The different colours are representing measurements in different snow depth: green 32 cm, red 52 cm and blue 72 cm over soil.

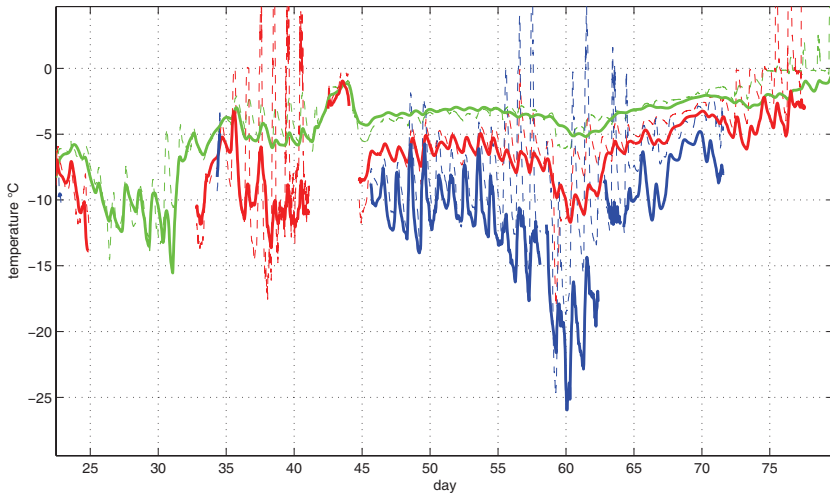


Fig. 4: Calculated and measured snow temperatures in three different heights between 2005/01/23 and 2005/03/21

Figure 5 shows the comparison between measured and calculated snow surface temperatures. The simulation was performed under consideration of the calculated long wave radiation, not measured radiation. The comparison with measured surface temperatures shows very good correlations.

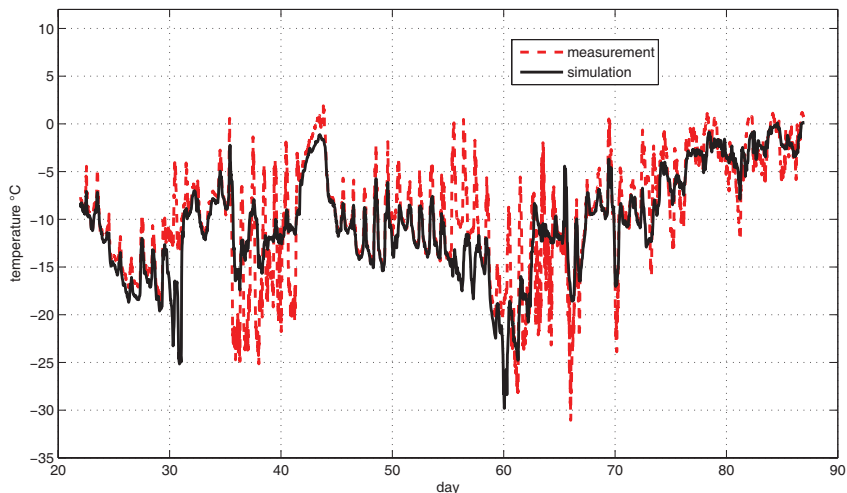


Fig. 5: Comparison of calculated and measured snow surface temperatures between 2005/01/22 and 2005/03/24

Besides the pointwise evaluation of snow temperatures, the two dimensional snow pack simulation gains insight of the temperature deviation along a slice of a snow covered slope. The following figure 6 presents temperature differences caused by different expositions, inclinations and snow depths.

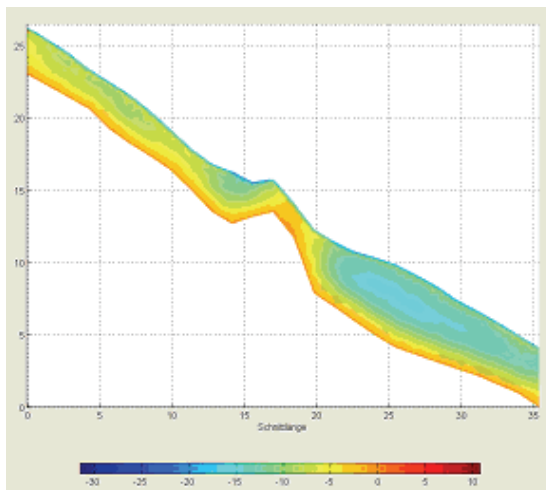


Fig. 6: Temperature deviation inside the snow pack, evaluated on the 2005/02/05 at 10:30 (red ~ 0°C, cyan ~ -15°C, dark blue ~ -30)

A comparison between simulated and measured snow depths is given in figure 7. The evaluation presents good correlations besides at the end of the winter. The real snow depth is overestimated. This effect was expected, because there's no melting model implemented till now.

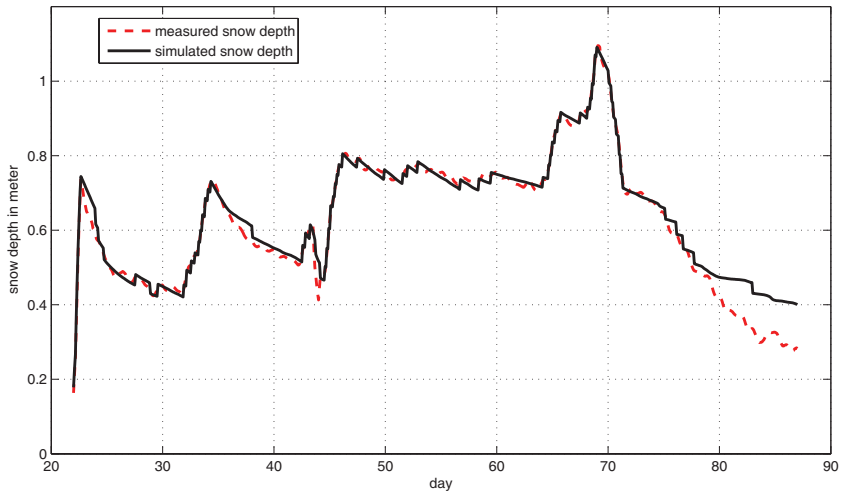


Fig. 7: Comparison between simulated and measured snow depth between 2005/01/22 and 2005/03/24

OUTLOOK

There are still a lot of enhancements that can be done, like the modelling of snow metamorphism, melting processes and surface hoar. The two-dimensional snow cover model will be linked to a wind simulation to get better input data for the simulation. Further improvements are expected by terrestrial laser scan technology, which allows a three dimensional scanning of mountainsides. By dint of this new technology more precise snow pack cross sections can be measured.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work is realized with the financial support given by ‚Torrent and Avalanche Control Service‘. This project has also been supported by the ‚Ski-lifts Lech am Arlberg‘ who provided infrastructural devices.

LITERATURE

Adams, E., Sato, A., 1993. Model for effective thermal conductivity of a dry snow cover composed of uniform ice spheres. *Annals of Glaciology* 18 1993, 300-304

- Bartelt, P., Christen, M., Witter, S., 2000. Program Haefeli – Two-dimensional numerical simulation of the creeping deformation and temperature distribution in a phase changing snowpack. Snow Engineering Recent Advances & Development, Trondheim Norway June 19 –21, Balkema, Rotterdam. 13 – 22.
- Bartelt, P., Lehning, M., 2002. A physical Snowpack model for the Swiss avalanche warning, Part I: numerical model. Cold Regions Science and Technology 35, 123 – 145
- Bartelt, P., Lehning, M., 2002. A physical Snowpack model for the Swiss avalanche warning, Part II: snow microstructure. Cold Regions Science and Technology 35, 147-167
- Bartelt, P., Lehning, M., 2002. A physical Snowpack model for the Swiss avalanche warning, Part III: meteorological forcing, thin layer formation and evaluation. Cold Regions Science and Technology 35, 169-184
- Brun, E., Martin, E., Simon, V., Gendre, C., Coleou, C., 1989. An energy and mass model of snow cover suitable for operational avalanche forecasting. Journal of Glaciology, Vol. 35, No. 121, 333-342
- Brun, E., David, P., Sudul, M., Brugnot, G., 1992. A numerical model to simulate snowcover stratigraphy for operational avalanche forecasting. Journal of Glaciology 38 (128), 13–22.
- Durand, Y., Giraud, G., Brun, E., Merindol, L., Martin, E., 1999. A computer-based system simulating snowpack structures as a tool for regional avalanche forecast. Journal of Glaciology 45 (151), 469–484.
- Jordan, R., 1991. A one-dimensional temperature model for snow cover. Special Report 91-6, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL), Hanover, NH, 49 pp.
- McComb, T.J.L., Rimmer, A.B., Rodgers, M.L.B., Turver, K.E., Vivkers, A.F., 1992. A mathematical model for the prediction of temperature in a dry snow layer. Cold Regions Science and Technology 20, 247-259
- Morris, E.M., 1983. Modelling the flow of mass and energy within a snowpack for hydrological forecasting. Annals of Glaciology 4, 198-203
- Phillips, M., Bartelt, P., Christen, M., 2000: Influence of avalanche defence snow supporting structures on ground temperatures in Alpine permafrost terrain, Annals of Glaciology, 31, 422 - 426.
- Prokop, A., 2005, Hangbezogene Ermittlung der flächigen Schneehöhenverteilung mittels Laserscanners, Journal of Torrent, Avalanche, Landslide and Rock Fall Engineering nr. 154
- Winter, C.-J., Sizmann, R.L., Vant-Hull, L.L., 1991. Solar Power Plants, Springer Verlag. 17-27
- Yamazaki, T., Kondo, J., Skuraoka, T., Nakamura, T., 1993. A one-dimensional model of the evolution of snow-cover characteristics. Annals of Glaciology 18, 22-26

INNOVATIVE TOOLS IN PROTECTION FOREST MANAGEMENT MODELLING OF FOREST TYPES

WALDTYPISIERUNG TIROL

Kurt Ziegner¹, Markus Wallner²

ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen des Interreg IIIb – Projektes „NAB – Naturpotentiale Alpiner Bergegebiete“ wurden neue Grundlagen zur naturnahen Behandlung von Schutzwäldern in Tirol/Österreich geschaffen. Es wurde eine Methode für die großflächige Ausweisung von potentiellen Waldgesellschaften in alpinen Regionen entwickelt und getestet. Diese neuen Werkzeuge - Waldtypenkarten und -beschreibung - stellen eine neue, innovative Grundlage für die Schutzwaldarbeit dar.

- Bestimmung der potentiellen Waldtypen und landesweite kartografische Darstellung in einer Waldtypenkarte
- Ökologische, waldbauliche und schutzfunktionale Beschreibung der Waldtypen
- Waldbauliche Empfehlungen zu den Waldtypen, abgestimmt auf die Naturgefahren

Methodisch wurden sowohl eine GIS-gestützte Kombination von geoökologischen Parametern als auch Feldaufnahmen angewandt. Nach Auswertung aller existierenden Daten wurden in einer zweiten Phase Stratifizierungsmodelle gerechnet und in der Natur verifiziert. Nach der Kartenerstellung und deren Prüfung im Gelände erfolgt eine detaillierte Beschreibung jedes Waldtyps und eine waldbauliche Handlungsempfehlung speziell auf die Schutzwaldeigenschaft abgestimmt. Das Gesamtpaket wurde in Form von Workshops und Trainings bereits in die Praxis implementiert.

Keywords: Waldtypenkarte, Schutzwaldverbesserung, potentielle Waldgesellschaften, Stratifizierungsmodell, NAB

ABSTRACT

In the framework of Interreg IIIb - Project “NAB – natural space analysis for alpine mountain areas” module 3 deals with with basic principles for a efficient protection forest restructuring in Tyrol/Austria. The purpose of the module was to create a forest typology and forest type map for alpine regions as a further basis for protection forest management. Targeted working also requires adequate knowledge of the potential natural forest types, especially in connection with natural hazards.

- Identification of potential forest types and cartographic representation in a map,
- Ecological, silvicultural and functional description of the various forest types
- Standardised silvicultural recommendations also in the view of natural hazards for practical work on forest types.

¹Abteilungsleiter Stellvertreter Forstplanung, Amt d. Tiroler Landesregierung, Bürgerstrasse 36, 6020 Innsbruck (+43/ 512 5084560, k.ziegner@tirol.gv.at); ² Abteilung Forstplanung, Amt d. Tiroler Landesregierung, Bürgerstrasse 36, 6020 Innsbruck (+43/ 512 508 4547, ma.wallner@tirol.gv.at)

The procedure will be a combination of GIS-based modelling and sampling in the field. After having studied the existing literature, in the second phase, the forest types will be defined with the help of a stratification model. Thirdly, field studies will be performed to verify the forest types. Finally, evaluation of the captured data will be employed to provide a full ecological and silvicultural description of the forest types.

Keywords: forest type map, protection forest, potential forest types, NAB

AUSGANGSLAGE

67 % der Waldfläche Tirols sind Schutzwald und damit für die Sicherheit vor Naturgefahren im „Herz der Alpen“ verantwortlich. Ohne intakten Schutzwald ist ein sicheres Leben in den engen Alpentälern mit nur 12 % Dauersiedlungsraum nicht möglich. Daher bedeutet Waldwirtschaft in Tirol immer Schutzwaldwirtschaft. Langfristig ist es das Ziel des Tiroler Forstdienstes die Kräfte der Natur bei der Verjüngung der Schutzwälder bestmöglich zu nutzen und dadurch Kosten zu sparen. Wenn jedoch der Schutzwald naturnah behandelt werden soll, ist das Wissen um die potentielle natürliche Waldgesellschaft und das Standortspotential von grundlegender Bedeutung. Zur Zeit gibt es in Tirol nur lokale forstliche Standortskartierungen die genaue Grundlagen liefern können. Diese erstrecken sich hauptsächlich auf die Wuchsgebiete 4.1 (Nördliche Randalpen/West) und 2.1 (Nördliche Zwischenalpen/West). Zur Erstellung einer Gesamtbeschreibung der potentiellen Waldgesellschaften ist eine terrestrischen Kartierungen ungeeignet und zu teuer. Das Interreg IIIb Programm der EU ermöglichte die Entwicklung einer neuen Modellierungsmethode die landesweit umgesetzt werden kann. Im Rahmen des Projektes „:nab – Naturpotentiale Alpiner Bergegebiete“ konnte diese Methode grenzüberschreitend erprobt und angewandt werden.

Ziele

Um die Aufgabe einer großflächigen Bearbeitung der potentiellen Waldtypen zu lösen, hat sich der Tiroler Forstdienst folgende Ziele gesetzt:

- landesweite Bestimmung der potentiellen Waldtypen und kartografische Darstellung in einer Waldtypenkarte
- Einfaches Instrument zur Ansprache der Waldtypen im Gelände durch die Praktiker
- Ökologische, waldbauliche und schutzfunktionale Beschreibung der Waldtypen
- Waldbauliche Empfehlungen zu den Waldtypen für den Praktiker
- Schaffung eines Dokumentationstools für die wertvollen Erfahrungen der Förster

Nutzen

Mit diesem Produkt wird den Forstpraktikern ein Instrument in die Hand gegeben, das den täglichen Umgang mit dem komplexen Thema Standortkunde und Waldökologie wesentlich erleichtert. Die Waldtypenkarte ermöglicht eine einfache Erkennung der unterschiedlichen potentiellen Waldtypen und deren Eigenschaften und Potentiale. Die Darstellung der Waldtypen für ganz Tirol (Endziel) dient aber auch als Grundlage für die überbetriebliche Planung (Landesforstdienst) und als Anschauungs- und Informationsmaterial für alle am Waldgeschehen Beteiligten. Im Landesforstdienst Tirol werden die Ergebnisse in die neue

Schutzwaldstrategie eingebunden. Diese will mit minimalen Eingriffen, maximale Effekte erzielen und die natürliche Entwicklung der Schutzwälder unterstützen. Die Einarbeitung von waldbaulichen Richtlinien für jeden Waldtyp sollen eine standortsangepasste Bewirtschaftung, vor allem im Schutzwald erleichtern. Die Beschreibung der vorkommenden Baumarten, deren Produktivität und das Gefüge, sowie Aspekte der ehemaligen Bewirtschaftung und die aktuelle Waldfunktion, ermöglichen die waldbauliche Beurteilung des jeweiligen Waldtyps. Durch die Waldtypisierung wird der Rahmen für die Waldbehandlung abgesteckt, innerhalb dessen der Förster - Waldauseher aber noch genügend Handlungsspielraum hat. Wichtig ist, dass die Ausarbeitung des Produktes ein Instrument für die Praktiker vor Ort sein soll und nicht nur wissenschaftlichen Anforderungen dient. Vor allem die Waldauseher werden daher von Anfang an mit eingebunden.

WICHTIGE STANDORTSKUNDLICHE BEGRIFFE UND DEFINITIONEN

Waldgesellschaft

Vegetationskundlich gefasste Pflanzengesellschaft in der Formation Wald, charakterisiert durch eine diagnostische Artenkombination (Kennarten, Trennarten, Begleiter und physiognomische Merkmale). Jede Waldgesellschaft wird im Sinne der pflanzensoziologischen Nomenklatur (Weber et al. 2000) auf einer Hierarchiestufe (z.B. Assoziation, Subassoziation) gefasst und trägt einen deutschen und lateinischen Namen. In der vorliegenden Arbeit wurde weniger auf Erstbeschreibungen Rücksicht genommen, vielmehr wurde auf sozio-ökologisch gut gefasste Einheiten aus Arbeiten mit Regionalbezug (Mayer & Hofmann 1969) oder aus vergleichbaren schweizer und österreichischen Räumen (Frehner et al. 2005, Ott et al. 1997, Ellenberg & Klötzli 1972, Kouch 1954, Schweingruber 1972, Braun-Blanquet 1961, Braun-Blanquet et al. 1954, Mayer 1974, Keller et al. 1988, Mucina et al. 1993) sowie neuere Literatur (Exner 2001, 2002; Eichberger et al. 2004, Wachter 2005, Willner et al. 2006) zurückgegriffen.

Waldstandortstyp

Forstökologische Grundeinheit (Lokalform), innerhalb der weitgehend gleiche Standorteigenschaften mit ähnlichen Faktorenkombinationen gelten. Die Faktorenkombination wird bestimmt durch die Basismerkmale Wasserhaushalt, Trophiestufe, Lage, Substrat, Boden (Bodentypen, Bodenart, Gründigkeit, Skelettgehalt) und potentiell natürliche Vegetation (Tüxen 1956) sowie die regionalen Kategorien Wuchsgebiet und Höhenstufe, die durch den Faktor Klima bestimmt werden (Englisch & Kilian 1998). Die Waldstandortseinheit oder der Waldstandortstyp ist die Kartiereinheit bei der forstlichen Standortkartierung. Strenggenommen gilt eine Standortseinheit nur in einem Wuchsgebiet und kann nur eine Waldgesellschaft umfassen. Eine Waldgesellschaft kann umgekehrt in mehreren Standortseinheiten vorkommen.

Waldtyp

Zusammengefasst aus ähnlichen Waldstandortseinheiten und Waldgesellschaften über die strengen Grenzen des Wuchsgebietes und der Höhenstufe hinaus. Ein Waldtyp hat demnach regionale Gültigkeit (z.B. Osttirol). In der Waldtypologie Tirol soll der Begriff Waldtyp als die Grundeinheit verwendet werden. In der Waldtypenkarte, die Ergebnis eines geoökologischen Standortmodells ist, können nur Waldtypen der Hauptwaldstandorte dargestellt werden. Waldtypen an Sonderstandorten werden im Waldtypenkatalog behandelt und können über einen Standortsschlüssel und das Diagramm "Häufige Übergänge zu anderen Waldtypen" im Handbuch erschlossen werden.

Die für eine Modellierung von Waldtypen an Sonderstandorten notwendigen Daten (Schuttmaterial, lawinar, Erosion und Rutschungen) können aus den vorhandenen digitalen Grundlagen nicht zuverlässig abgeleitet werden und sind deshalb in der Karte in der Regel nicht dargestellt.

DAS STRATIFIZIERUNGSMODELL

Datengrundlagen

- Digitales Höhenmodell (Auflösung 10 m; Quelle BVA Wien)
- Geologische Karte (im Maßstab 1:50.000, Quelle: GBA Wien)
- Karte Aktuelle Vegetation (SCHIECHTL, PITSCHMANN et al. M1:100.000)
- Gebietsspezifische vegetations- und standortkundliche Literatur
- Klimadaten: Jahresniederschlagssummen und Schneehöhen
- Niederschlagsmodell (Quelle: Lorenz- Skoda – Modell,2003)
- Empirische Daten: Standortkundliche Geländeaufnahmen und Kartierungen an Eichtransekten

Methodik

Die Waldtypenkarte wird durch die Kombination von digitalen Geoparametern in einem GIS - Modell generiert. Dies ermöglicht eine schnelle und kostengünstige Kartenerstellung, welche bei neuen Erkenntnissen, oder weiteren Verarbeitung durch neuen Datenlagen (z.B. Klimaänderungen) problemlos neu generiert werden kann. Die Vorgehensweise ist nicht direkt vergleichbar mit einer durch terrestrische Kartierung ermittelten Waldstandortskarte, da hier nur Hauptwaldstandorte dargestellt sind, die unter der Annahme gebildet sind, dass die zugrunde gelegten Daten und abgeleiteten Parameter uneingeschränkt gelten und keine Einflüsse von Sonderstandorten bestimmend sind. Das Verfahren wurde von der Firma WLM (Klosterhuber&Partner OEG; www.WLM.at) entwickelt. Ein WALDTYP wird aus der logischen Kombination folgender digitaler Geo-Parameter gebildet:

Tab. 1: Geo - Parameter

Tab. 1: Geo - parameter

Höhenstufe	Hanglage (Expos.)	Substrat	Geländeform	Neigung	Flächenkategorie	=>	Waldstratum WST
------------	-------------------	----------	-------------	---------	------------------	----	-----------------

Das Modell eine flächige Darstellung der Waldtypen auf Hauptwaldstandorten. Die abschließende Zuweisung aller möglichen Kombination der Geoparameter erfolgt über eine empirisch festgelegte Tabelle, die sog. Stratifizierungstabelle. Diese wird anhand der Aufnahmepunkte erstellt und mittels Eichrouten verifiziert und verbessert. Dargestellt wird zudem die klimatische Höhenstufe (ohne lokalklimatische Besonderheiten). Damit steht zur Ansprache des Waldstandortes neben der Waldtypenbeschreibung eine Karte zur Verfügung, die unter Zuhilfenahme des Standortsschlüssels zur Ansprache des richtigen Waldtyps dient.

Abgeleitete Geoökologische Parameter

- **Höhenstufen**

Die Ableitung der Höhenstufen erfolgt in Kombination empirischer Daten (Karte der aktuellen Vegetation von Tirol und eigene Erhebungstransekte) mit einem Einstrahlungsmodell (direkte Sonnenstrahlung (in kWh/m² * a) und Seehöhe aus einem digitalen Höhenmodell.

- **Berechnung der Sonneneinstrahlung**

Die Sonneneinstrahlung wird in den Teilmodellen der Sonnlage und der Höhenstufen verwendet. Derzeit wird die Jahressumme der Strahlung verwendet, wobei die ersten 2 Morgenstunden nach Sonnenaufgang ignoriert werden, da diese für die Bestimmung der Sonnlage und der Höhenstufen keine Rolle spielen, da die Morgentemperaturen meist noch zu gering sind.

- **Berechnung der Sonnlage**

Für die Berechnung der Sonnlage (Wärmeeinfluss bzw. Lichtgenuss in 4 Stufen) wird neben der Strahlungssumme auch die sog. Relativabschattung verwendet. Dies ist der Prozentanteil der tatsächlichen Einstrahlung (mit Abschattung) an der maximal möglichen Einstrahlung (ohne jegliche Horizontüberhöhung - nur durch Exposition und Inklination des Pixels bestimmt). In den durchschnittlichen Lagen kann der Wärmeeinfluss nicht anhand der Strahlungssumme, sondern besser anhand der Exposition bestimmt werden. Da die Expositions- und Strahlungsgrenzen sehr stark vom Klima und der Höhenstufe abhängig sind (Niederschläge und Temperatur), müssen sie je nach Wuchsgebiet und Seehöhe festgelegt werden.

- **Berechnung der Höhenstufen**

Auch die Höhenstufen werden abhängig von der Strahlungssumme bestimmt. Dazu wurde das Gebiet in Naturräume (Täler) unterteilt. Für jeden Naturraum wurden im Gelände die Höhengrenzen auf Süd- und Nordhängen erhoben. Die Obergrenzen jeder Höhenstufe werden in eine Tabelle eingetragen, wobei die Möglichkeit besteht die Höhengrenzen vom Talausgang zum Talinnern entlang eines Gradienten fallen (bzw. auch steigen) zu lassen.

- **Hanglagen**

Nach dem Einstrahlungsmodell werden auch 4 verschiedene Hanglagen, die in Kombination mit den Niederschlägen gewissermaßen Wasserhaushaltsstufen darstellen, abgeleitet: Sonnlage (L) - Halbsonnlage (l) - Halbschattlage (s) - Schattlage (S). Diese sind v.a. für den Wasserhaushalt relevant. Die Hanglagen werden für jedes Bearbeitungsgebiet in Abhängigkeit der mittleren Jahresniederschläge angepasst.

- **Die Substrate**

Als wichtigste Grundlage für die Erstellung der Substratkarte dienen die digitalen geologischen Karten. Aus den geologischen Einheiten der geologischen Karte werden so genannte Substrate abgeleitet, das sind Gruppen bodenbildender Ausgangsgesteine. Diese lassen sich grob in 7 Substratgesellschaften einteilen:

- Saure quarzreiche Silikatgesteine (S)
- Intermediäre Silikatgesteine (I)
- Basenreiche Silikatgesteine (B)
- Karbonat-Silikat-Mischgesteine, kalkarm (M)
- Karbonat-Silikat-Mischgesteine, kalkreich (C)
- Karbonatgesteine (K)
- Tongesteine (T)

Jedes dieser Substrate lässt sich nach der bei der Bodenbildung daraus entstehenden Bodenart oder Basengehalt (bei Tongesteinen) weiter in arm (-) oder reich (+) unterteilen. Für variable Gesteine und undifferenzierte Gesteinsgruppen werden gutachtlich Anteile der möglichen Substratgruppen vergeben. Die komplexen Transport- und Bildungsprozesse von Lockersedimenten lassen sich verständlicherweise nur grob und mit größeren Unsicherheiten nachbilden. Ziel soll es sein, das wahrscheinlichste und vermutlich häufigste Substrat für das Standortmodell (Stratifizierung) zu nutzen, damit eine flächige Aussage möglich wird. Aus den bisherigen Erfahrungen geht klar hervor, dass die Genauigkeit der geologischen Daten großen Einfluss auf die Aussagekraft der Waldtypenkarte hat.

- **Geländeformen**

Die Bestimmung der Geländeformen ist ein komplexer Vorgang bei dem zahlreichen Geoparameter Eingang finden: Hangneigung, Planarkurvatur (Krümmung in der Höhengschicht), Profilkurvatur (Krümmung in der Falllinie), Flow Accumulation (Anzahl der in die jeweilige Zelle entwässernden Zellen).

- **Geländeaufnahmen**

Die Geländeaufnahmen sind nach dem angeführtem Kartierungsschlüssel durchzuführen (Standort, Boden, Vegetation, Bestand, N-Baum-Stichprobe). Dieser richtet sich nach der „Anleitung zur forstlichen Standortskartierung in Österreich“ (ENGLISCH & KILIAN 1998). Die Bodentypen sind nach der „Systematischen Gliederung der Böden Österreichs“ (NESTROY, 2000) zu benennen. Die Anzahl der Aufnahmepunkte richtet sich nach der Anzahl der im Projektgebiet vorkommenden Waldtypen.

GRENZEN DER GENAUIGKEIT DER WALDTYPENKARTE

Die Aussage der Waldtypenkarte spiegelt die Ergebnisse eines Modells wieder. Die Güte der Aussage hängt zum einen stark an den Eingangsmaßstäben und der inhaltlichen Genauigkeit der Kartengrundlagen, zum anderen an der Schlüssigkeit der empirisch gewonnenen ökologischen Gesetzmäßigkeiten, die als Geoparameter in das Modell einfließen. Die Genauigkeit der Waldtypenkarte liegt aufgrund von Erfahrungen bereits durchgeführter Projekte bei 80 % mit einem Schwankungsbereich von +/- 5 % gegenüber der klassischen Standortskarte.

Die geologische Karte ist die wichtigste Kartengrundlage der Stratifizierung. Ihr Kompilierungsmaßstab liegt bei M 1:25.000. Die inhaltliche Genauigkeit der Kartiereinheiten ist die zweite wesentliche Begrenzung für die Generierung der Waldtypenkarte. Bei stark variablen, in sich inhomogenen geologischen Einheiten (z.B. Lockersedimente) im Sinne einer Zuordnung zu einem Substrat (Gruppe bodenbildender Ausgangsgesteine) ist die Aussage der Waldtypenkarte naturgemäß ungenau bzw. unsicher. Hinzu kommt die Ungenauigkeit des Geländemodells, das kleine Gräben und Mulden sowie flache Rücken nicht immer auflöst. In Zukunft sollen, durch das mit Laserscanning gewonnene Höhenmodell, bessere Ergebnisse erreicht werden.

Problematisch sind natürlich auch alle Grenzsituationen. Die auf der Karte dargestellten Grenzen sind in der Natur nur sehr selten scharf, die Regel ist ein fließender Übergang („Kontinuum“).

SCHLÜSSEL/CHECKLISTE FÜR SONDERWALDSTANDORTE

Für Sonderwaldstandorte, die nicht auf der Waldtypenkarte dargestellt sind, wird ein Schlüssel entwickelt, der es ermöglicht, diese auf einfachen Weg zu ermitteln. Dabei wird besonders auf Verständlichkeit und Praxisnähe geachtet. Dies gelingt durch die Kombination mit der Waldtypenkarte und dadurch, dass nur wenige Ausgangsparameter (Geologie, Höhenstufe und Waldgruppe) in den Schlüssel eingehen. Die Verwendung beider Instrumente ist für eine endgültige Bestimmung im Gelände unabdingbar.

HANDBUCH DER WALDTYPEN

Beschreibung der Waldtypen

Jeder Waldtyp wird einzeln beschrieben und visualisiert. Auf der ersten Seite (Abbildung 2) werden die Standortmerkmale (Geländeform, Exposition, Hangneigung, Höhenstufe, Substrat, Bodentyp mit repräsentativen Bodenprofil, Humusform, Skelettgehalt) und ihrer Standortfaktoren (Nährstoff und Wasserhaushalt) dargestellt. Mit einem Ökogramm werden die häufigen Übergänge zu benachbarten Standortstypen gezeigt. Die zweite Seite beinhaltet die Beschreibungen über das Erscheinungsbild des potentiellen Waldtyps und die nach der Dominanz kenntlich gemacht vorkommenden Pflanzenarten der Bodenschicht. Zur leichteren Erkennung sind noch zwei typische Fotos angefügt.

Bei häufigeren Einheiten und Vorliegen ausreichender Bestandesstichproben wird die Bonität der Hauptbaumarten angegeben. Standortgefährdungen wie Erosion, Steinschlag, Schneeschub etc. werden hier ausdrücklich für jeden Waldtyp beschrieben. Graphisch werden die zur Auswahl stehenden Hauptbaumarten dargestellt. Zentraler Punkt ist die Erläuterung des Verjüngungsverfahrens für jeden Waldtyp. Mit Angaben über die Hiebsgröße, die benötigten Sonnenstunden und mögliche Schwierigkeiten wird die Einleitung einer Naturverjüngung dargestellt. Aber auch die konventionelle Kunstverjüngung wird mit Angaben von Sollzahlen, Pflegeeinriffen etc. für jeden Waldtyp gezeigt. Weiters werden Vorschläge zur Nutzungstechnik (Seilgelände etc.) und zu speziellen Naturschutzaspekten geliefert. Die empfohlenen waldbaulichen Maßnahmen werden in Zusammenarbeit mit dem Institut für Waldbau an der Universität für Bodenkultur erstellt.

The image shows a detailed page from a forest type description manual. It is organized into several columns and sections:

- Left Column:** Contains text under 'Standortskriterien' and 'Hauptbaumarten'. It includes a small bar chart with a y-axis from 0 to 100 and an x-axis with categories 'L1', 'L2', 'L3', 'L4'. Below this is more text and a small table.
- Middle Column:** Features a bar chart with a y-axis from 0 to 100 and an x-axis with categories 'L1', 'L2', 'L3', 'L4'. Below the chart is a table with columns 'L1', 'L2', 'L3', 'L4' and rows for different tree species.
- Right Column:** Contains text under 'Standortskriterien' and 'Hauptbaumarten'. It includes a table with columns 'L1', 'L2', 'L3', 'L4' and rows for different tree species.
- Bottom Section:** Contains a list of 'Erfolgs- und messbare Faktoren' (Success and measurable factors) with bullet points:
 - Erfolgliche Regenwaldregeneration
 - Sekundäre alte, warme- und kalte Buchen
 - Gute Qualität der Buchen (große Blätter, Laubfall, Sonnenschutz)
 - Gute Qualität der Buchen (große Blätter, Laubfall, Sonnenschutz)
 - Gute Qualität der Buchen (große Blätter, Laubfall, Sonnenschutz)

Abb3: Waldbau Teil der Waldtypenbeschreibung, Stand 2007
Fig3 : Silviculture section of the forest type descriptions, State 2007

DOKUMENTATION DER ERFAHRUNGEN

Im Zuge der Waldtypisierung sollen auch die Erfahrungen des örtlichen Forstpersonals berücksichtigt und dokumentiert werden. Der Einbau der Erfahrungen erfolgt in mehreren Schritten:

- Vorstellung der Waldtypisierung im Rahmen von Dienstbesprechungen
- Aufnahmetrupps werden von Waldausehern/Förster begleitet
- Gespräche mit den Förstern der Bezirksforstinspektionen
- Strukturierte Interviews mit den Waldaufsehern
- Workshops mit dem örtlichen Forstpersonal

Bei den Workshops werden gemeinsam mit dem örtlichen Forstpersonal Behandlungshinweise zu ausgesuchten Waldtypen erarbeitet. Damit kann einerseits eine hohe Identifizierung des örtlichen Forstpersonals mit der Waldtypisierung erreicht werden, andererseits die Erfahrungen bei der Beschreibung der Waldtypen eingebaut werden.

Literatur

- BRAUN-BLANQUET J., PALLMANN H. & BACH R., 1954: Pflanzensoziologische und bodenkundliche Untersuchungen im schweizerischen Nationalpark und seinen Nachbargebieten, Band II: Vegetation und Böden der Wald- und Zwergstrauchgesellschaften (Vaccinio-Piceetalia).
- BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.), 2003: Hydrologischer Atlas Österreichs. Abteilung VII/3 - Wasserhaushalt (Hydrographisches Zentralbüro), Wien. (Digitaler Hydrologischer Atlas, 2005).
- ELLENBERG H. & KLÖTZLI F., 1972: Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anstalt Forstliches Versuchswesen 48 (4): 589-930.
- ENGLISH M. & KILIAN W. (Hrsg.), 1998: Anleitung zur forstlichen Standortskartierung Österreich. FBVA-Berichte, Wien. Nr. 104: 108 S.
- EXNER A., 2001: Die Syntaxonomie mitteleuropäischer Tannen- und Fichtenwälder. Ber. d. Reinh.-Tüxen-Ges. 13: 241-245.
- EXNER A., 2002: Die Synchronsystematik der Tannen- und Fichtenwälder in Österreich. 10. Österreichisches Botanikertreffen, BAL Gumpenstein 103-108.
- FREHNER M., WASSER B. & SCHWITTER R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemaßnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 564 S.
- KELLER W., WOHLGEMUTH T., KUHN N., SCHÜTZ M. & WILDI O., 1998: Waldgesellschaften der Schweiz auf floristischer Grundlage - Statistisch überarbeitete Fassung „Waldgesellschaften und Waldstandorte der Schweiz“ von H. Ellenberg und F. Klötzli (1972). Mitt. Eidgenöss. Forsch.anst. Wald Schnee Landsch. Birmensdorf 73/2: 92-315.
- KILIAN W., MÜLLER F. & STARLINGER F., 1994: Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs. Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. FBVA-Berichte, Wien.

- KILIAN W., ENGLISCH M., HERZBERGER E., NESTROY O., HUBER S., PEHAMBERGER A., WAGNER J., NELHIEBEL P., PECINA E. & SCHNEIDER W., 2002: Schlüssel zur Bestimmung der Böden Österreichs. Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges., Wien, 67. 95 S.
- KRAL F., 1979: Spät- und postglaziale Waldgeschichte der Alpen auf Grund der bisherigen Pollenanalysen. Inst. f. Waldbau, Univ. f. Bodenkultur, Wien. 175 S.
- KUOCH R., 1954: Wälder der Schweizer Alpen im Verbreitungsgebiet der Weißtanne. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchswes., Zürich 30: 133-260.
- MAYER H., 1974: Wälder des Ostalpenraumes. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart. 344pp.
- MAYER H. & PITTLERLE A., 1988: Osttiroler Gebirgswaldbau. Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- MUCINA L., GRABHERR G. & WALLNÖFER S. (Hrsg.), 1993. Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil III. Wälder und Gebüsche. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- NESTROY O., DANNEBERG O.H., ENGLISCH M., GESSL A., HAGER H., HERZBERGER E., KILIAN W., NELHIEBEL P., PECINA E., PEHAMBERGER A., SCHNEIDER W. & WAGNER J., 2000: Systematische Gliederung der Böden Österreichs (Österreichische Bodensystematik 2000). Mitt. Österr. Bodenkundl. Ges., Wien, 60. 124 S.
- OTT E., FREHNER M., FREY H.U., LÜSCHER P., 1997: Gebirgsnadelwälder: praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt, Bern-Stuttgart-Wien.
- ROCKENSCHAUB M. (RED.), 2003: Brenner, Arbeitstagung 2003 in Trins im Gschnitztal, Geologische Kartenblätter 1:50.000 Nr.148 und Nr.175., Geologische Bundesanstalt, Wien.
- SCHIECHTL H.M. & STERN R., 1975: Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1:100.000. V. Teil: Blatt 12, Osttirol. Doc. Cartograph. Ecol., Grenoble 15: 59-72 + Karte.
- SCHIECHTL H.M. & STERN R., 1985: Die aktuelle Vegetation der Hohen Tauern. Matrei in Osttirol und Großglockner: Vegetationskarte 1:25.000 mit Erläuterungen. Nationalpark Hohe Tauern, wissenschaftliche Schriften. Univ.Verlag Wagner, Innsbruck.
- TÜXEN R., 1956: Die heutige potentielle natürliche Vegetation als Gegenstand der Vegetationskartierung. Angewandte Pflanzensoziologie 13: 5-42, Stolzenau.
- WACHTER M., 2005: Potentiell natürliche montane Waldtypen des inneralpinen Wipptals mit Seitentäler: Vegetations- und standortkundliche Charakterisierung. Diplomarbeit, Univ. Innsbruck. 102 S. + 3 Tabellen.
- WALLNÖFER S., 1993: Vaccinio-Piceetea. In: MUCINA L., GRABHERR G. & WALLNÖFER S. (Hrsg.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil III. pp. 283 - 337. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- WALLNÖFER S., MUCINA L. & GRASS V., 1993: Querco-Fagetea. In: MUCINA L., GRABHERR G. & WALLNÖFER S. (Hrsg.), Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil III. pp. 85 - 236. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- WALTER H. & LIETH H., 1960: Klimadiagramm-Weltatlas. Gustav Fischer, Jena.
- WILLNER W., STARLINGER F. & GRABHERR G., 2006: Deciduous oak forests in Austria - preliminary results from a new survey of the Austrian forest communities. Unveröff. Manuskript, 8 S. + Tabelle.

KEYWORDS

Actors	407
Aerial pictures	445
Alpine catchment	102
Analisi di stabilità	135
Angemessenheit	263
Appropriateness	264
Austrian Alps	312
Avalanche	539, 583
Avalanche protection	563
Avalanche simulation	493
Bacino idrografico alpino	101
Bauvorschriften	359
Bavarian Alps	287
Bayerische Alpen	287
Bodenschutz	51
Building codes	360
Classification trees	160
Climate change	111
Communication	606
creep	183
Crisis management	51
Crollo	135
Cryosphere	111
Dam-break	431
Database	243
Debris flow	196, 530
Debris Flow	324
DEM	384
Dense snow avalanches	593
Development of regional landscape	573
DGM	383
Disaster management	264
Early warning	18
Early warning system	75
Economic assesment	275
Effect of forest cover	506
Effectiveness	264, 420
Effektivität	263
Effizienz, Efficiency	263, 264
Einsatzkräfte	63

Einsatzplanung	87
Emergency management	75
Emergency planning	63
Emergency preparedness planning	87
Environmental planning	51
Ereignisanalyse	27
Ereignisbewältigung	63
Ereignisdokumentation	39
Erosion control	481
Erosionskontrolle	482
Esondazioni	431
Evaluation	384
Evaluierung	383
Event analysis	27, 39
Event coping	63
Externalities of land use	275
Fairness	347
Felssturz	147
Finite Element Method	617
Flood	27, 39, 87, 324, 506
Flood detention	275
Flood event	51
Flood plain	384
Flooding	420
Floods	407
Flow slide	420
Fluid dynamics	583
Flussi granulari	593
Forest type map	630
Frana	135
Frost-Tau-Wechsel	147
Frühwarnung	17
Gefahrenbeurteilung	171
Gefahrenhinweiskarte	529
Gefahrenkarte	75, 539
Gefahrenzonenplanung	207
Geographical information system	445
Geo-Informationssystem	445
Geomorphological mapping	395
Geophysics	172, 251
Gerechtigkeit	347
Gewässerunterhalt	605

GIS	159, 160, 395, 457
Global Warming	147
Granular flows	593
Green belt plan	573
Großhangbewegung	171
Hangbewegung	195
Hangbewegungen	159
Hangmuren	419, 529
Hangrutschung	183
Hazard index map	530
Hazard map	75, 539
Hazard mapping	172
Hazard zoning	207
Heat transfer	617
High zones	481
Historical data	287
Historische Quellen	287
Hochwasser	27, 39, 51, 419, 505
Hydro geological hazard map	102
Hydrologic model	102
hydrological modelling	183
Hydrological modelling	506
Hydrologische Modelle	183
INCA	583
Infrastructure	563
Integral management	458
Integral risk management	360
Integraler Planungsansatz	299
Integrales Risiko-Management	359
Integralmeliorationen	299
Interdisziplinäre Untersuchungsmethoden	171
Intervention	17, 18, 75
Italian Alps	111
justice, fairness	347
Kartendienst	383
Katastrophenmanagement	263
Klassifikationsbäume	159
Klimaerwärmung	147
Kommunikation	605
Kriechen	183
Krisenmanagement	51
Land Management	299

Land use planning	335
Landscape evaluation	573
Landslide	135
landslide	183
Landslide	196
Landslides	123, 172, 219, 251
Lawine	493, 539
Lawinensimulation	493
LiDAR	395
Linear discriminant analysis	160
lineare Diskriminanzanalyse	159
Local structural measures	360
Luftbilder	445, 457
Managementofpublicfunds	470
Mappa della pericolosità idrogeologica	101
Maßnahmenkonzept	39
Meteorological forecast	18
Meteorological Influences	147
Meteorologische Einflüsse	147
Mitigation strategy	172, 251
Model calibration	493
Modellierung	383
Modelling	384
Modello idrologico	101
Monitoraggio	135
Monitoring	135, 172, 251
Multi-functional forest management	518
Multifunktionale Forstwirtschaft	518
Murgang	323, 529
N/A- Modellierung	505
NAB	629, 630
Natural disasters	606
Natural Hazard	347
Natural hazard potential	287
Natural hazards	63, 111, 395, 445
Naturgefahr	347
Naturgefahren	63, 457
Naturgefahren	605
Naturgefahrenpotential	287
Naturgefahrensimulation	469
Notfallplanung	63, 75, 87
Numerical models	135

Oberflächenabfluss	518
Objektschutz	419
Open boundary conditions	583
Österreichische Alpen	311
Partizipation, Hochwasserschutz	299
Passive defence structures	593
Performance audit	264
Pericoli naturali	431
Potential forest types	630
Potentielle Waldgesellschaften	629
Prävention	335
Präventiver Hochwasserschutz	518
Prevention	335
Preventive flood protection	458, 518
Prioritätensetzung	323
Prioritisation	324
process based hydrology	183
Processmodellierung	470
Property protection	420
Protection effect	551
Protection forest	530, 551, 606, 630
Protection forest management	445
Protection measure	539
Protection Objective	347
Protectionforests	470
Protective measures	39
Prozeßbasierte Hydrologie	183
Punti deboli	431
Rail way	563
Rare natural event	27
Raumplanung	335
Reforestation	458
Regionale Entwicklung	299
Relief units	63
Remote Sensing	219
Resources management	111
Response	18
Rezoning	539
Risikoanalyse	311, 371
Risikoarten	171
risikobasiertes Recht	347
Risikomanagement	87

Risikominimierung	195
Risk analysis	312
Risk assessment	371
risk based regulation	347
Risk knowledge	407
Risk management	87, 407
Risk mitigation	196
River maintenance	606
River renaturalisation	275
Rock avalanches	243
Rock fall	207
Rock fall rating system	207
Rock falls	243
Rockfall	135, 147, 231, 530
Rockslide	147
Rutschung	195
Rutschungserkennung	159
Saatgutmischungen	482
SamosAT	493
Schadenpotential	371
Schutzmassnahmen	539
Schutzwald	469, 529, 551, 605
Schutzwaldmanagement	445, 457, 629
Schutzwirkung	551
Schutzziel	347
Scivolamento superficiale	101
Seed mixture	481
Seltenes Naturereignis	27
Shallow landslide	530
Silvicultural target	551
Simulation model	530
Simulationsmodell	529
Site-specific vegetation	481
Slides	231
Snow drift	583
Snow pack modelling	617
Snow settlement	617
Soil protection	51
Soil slip	102
Soil slips	160
Soil slips recognition	160
Stability analysis	123

Stabilization interventions	123
Standortgerechte Vegetation	482
Steinschlag	207, 529
Steinschlag-Bewertungs-System	207
Stratifizierungsmodell	629
Strutture di difesa passiva	593
Subvention	335
Subventionswesen	469
Support Vector Machines	159, 160
Surface runoff	518
Susceptibility	231
Susceptibility Modelling	219
Switzerland	407
Technical mitigation measures	360
Technische Schutzmaßnahmen	359
Technischer Objektschutz	359
tolerable risk	347
Tolerierbares Risiko	347
Torrent processes	312
Überschwemmung	323
Überschwemmungsgebiet	383
Umweltplanung	51
Umzonung	539
Valanghe di neve densa	593
Values at risk	371
Variabilität	371
Variability	371
Verletzlichkeit	311, 419
Vorarlberg	183
Vulnerabilität	359
Vulnerability	312, 360, 420
Waldbau-Ziel	551
Waldtypenkarte	629
Waldwirkung	505
Warnsystem	75
Wassergefahren	87
Web mapping service	384
Wettervorhersagen	17
Wildbachprozesse	311
Wirksamkeit	419
Wirkungsprüfung	263
Wuhrpflicht	605

