

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.

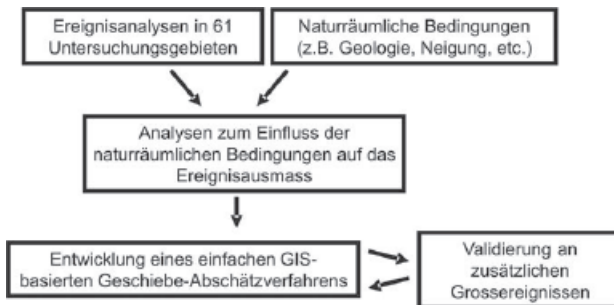


Abb. 2: Ablaufschema der Untersuchungen
Fig. 2: Flowchart of investigations

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 Kegelhalss

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 $25'000 \text{ m}^3$ Gesamtwasserfracht vom relativ flachen Gletschervorfeld über die felsige Karschwelle auf eine kurze Strecke mit unlimitiertem Lockermaterialangebot (Moräne). Hier konnte sich ein Murgang bilden (Erosionsleistung $40 \text{ m}^3/\text{Laufmeter}$), 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 $150 \text{ m}^3/\text{Laufmeter}$.

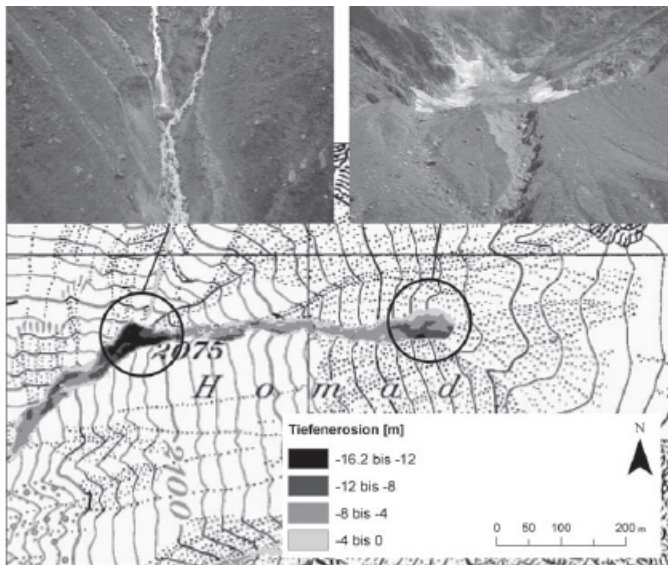


Abb. 4: Fotos (Flotron AG Meiringen) und Höhenmodellvergleich vor und nach dem Ereignis im Rotlauigraben, 22.8.2005. Pixelkarte PK25 (Reproduziert mit der Bewilligung DV 351.5 der Swisstopo)

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.