

Integral protection concept "Bielzug"

Integrales Schutzkonzept Bielzug

Nicole Oggier, MSc.²; Christoph Graf, dipl. Geogr.¹; Reynald Delaloye, Prof. Dr.³; André Burkard, dipl. Kult.ing.²

ABSTRACT

The basic disposition to natural hazards and the resulting risk situation in many Alpine catchments has changed significantly in recent years, partially due to climate change. Six torrents located in the highly-affected Matter Valley in Canton Valais, Switzerland (communities of St. Niklaus and Randa), the Grosse Grabe, Fallzug, Geisstriftbach, Birchbach and Dorfbach, were studied in 2013. During analysis, different debris flow runout scenarios were developed and modelled using the RAMMS::DEBRIS FLOW 1.5 model. Furthermore, a revised hazard map was created. The combination of computational modelling and field verification was quite useful in the project, representing an important and fruitful link between scientific research and practice. Based on the identified protection deficits, additional protection measures were developed for settlement areas, individual objects (e.g. power lines) and transportation routes (road and railway). The Bielzug example shows that structural measures are not always sufficient to protect settlements or transportation routes. A comprehensive risk management that accounts for maintenance, spatial planning, organisational and structural measures is also essential.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Grunddisposition für Naturgefahren und die daraus resultierende Gefahrenlage in vielen Alpenen Wildbacheinzugsgebieten hat sich in den letzten Jahren deutlich verändert, auch wegen des Klimawandels. In einer stark davon betroffenen Region in den Schweizer Alpen wurden 2013 die sechs Wildbäche Grosse Grabe, Bielzug, Fallzug, Geisstriftbach, Birchbach und Dorfbach (Gemeinden St. Niklaus und Randa im Mattertal (VS)) detailliert untersucht. Im Rahmen der Gefahrenanalyse wurden Szenarien für Murgangereignisse erarbeitet, diese mit dem Murgangmodell RAMMS::DEBRIS FLOW 1.5 modelliert und eine überarbeitete Gefahrenkarte erstellt. Die Kombination Modellierungen mit Simulationsprogrammen und Verifizierung durch Feldbegehungen hat sich im Rahmen des vorgestellten Projekts sehr gut bewährt. Sie stellt somit eine wichtige und gewinnbringende Verbindung zwischen wissenschaftlicher Grundlagenforschung und Praxis dar. Basierend auf den erkannten Schutzdefiziten wurden ergänzende Schutzmassnahmen zur Sicherung von Siedlungsgebieten, besonders schadenanfälligen Einzelobjekten (u.a. Stromleitungen) und Verkehrswegen (Strasse und Bahn) erarbeitet. Das Beispiel Bielzug zeigt auf, dass bauliche Massnahmen zum Schutz von Siedlungen und Verkehrswegen alleine nicht immer ausreichen. Es braucht ein umfassendes

1 WSL Swiss Federal Research Institute Birmensdorf, SWITZERLAND, christoph.graf@wsl.ch

2 wasser/schnee/lawinen, Ingenieurbüro A. Burkard AG, Brig-Glis, SWITZERLAND

3 University of Fribourg, Departement of Geosciences, Unit of Geography, Fribourg, SWITZERLAND

Risikomanagement, welches Unterhalts-, raumplanerische, organisatorische und bauliche Massnahmen beinhaltet.

KEYWORDS

debris flow; rock glacier; hazard assessment; integrated protection concept; emergency management

EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Grunddisposition in vielen Alpenen Wildbacheinzugsgebieten aufgrund des Klimawandels und der damit verbundenen steigenden Temperaturen schleichend verändert. Bedingt durch das Auftauen von Permafrost in hochalpinem Gelände sind Siedlungsgebiete und Verkehrswege einer sich ständig verändernden neuen Gefahrenlage ausgesetzt, so auch im Mattertal (Delaloye et al., 2013) in den Schweizer Alpen (Abb. 1A). Lockermaterialeinträge aus destabilisierten Blockgletschern in den Einzugsgebieten steiler Wildbäche an der Westflanke der Mischabelgruppe führten seit 2010 vermehrt zu Murgangereignissen, welche in den letzten Jahren temporäre Evakuierungen von Anwohnern und Sperrungen von Verkehrswegen nötig machten (Graf et al., 2013). Um möglichst fundierte Informationen über die Veränderungen in solchen Gebieten sammeln zu können, diese zu analysieren und als Grundlage für zukünftige Entscheide bereitzustellen, sind verschiedene Forschergruppen mit Untersuchungen im Mattertal (VS) beschäftigt (Delaloye et al., 2013, Graf et al., 2013).

Aufgrund der veränderten Gefahrensituation wurden 2013 im Auftrag der Gemeinden St. Niklaus und Randa und in enger Zusammenarbeit mit der kantonalen Dienststelle für Wald und Landschaft die sechs Wildbäche Grosse Grabe, Bielzug, Fallzug, Geisstriftbach, Birchbach und Dorfbach detailliert untersucht (Abb. 1B). Im Rahmen der Vorstudie Sicherheitskonzept Wildbäche Mattertal (arge wasser/schnee/lawinen, Geoplan AG, Bumann Reinhold GmbH, 2013) wurden Szenarien für Murgangereignisse erarbeitet, diese mit dem Murgangmodell RAMMS::DEBRIS FLOW 1.5 (Graf et al., 2013, Christen et al., 2012) modelliert und eine überarbeitete Gefahrenkarte erstellt. Zur Zielsetzung gehörte die Beurteilung möglicher baulicher Schutzmassnahmen sowie temporärer Vorkehrungen zur Sicherung von Siedlungsgebieten, besonders schadenanfälligen Einzelobjekten (u.a. Stromleitungen) und Verkehrswegen (Strasse und Bahn). Das Vorgehen und die Methoden sind auf andere Wildbäche anwendbar.

Basierend auf den Resultaten der oben beschriebenen Vorstudie wurden in der Zwischenzeit in einzelnen Bächen bereits detailliertere Projekte ausgearbeitet oder sind in Planung. Im Herbst 2014 wurde z. B. im Bielzug (Abb. 1B/C) ein Alarmsystem für die Siedlung und Verkehrsachsen in Betrieb genommen. Zudem werden im Bielzug ab Herbst 2015 bauliche Massnahmen innerhalb von ca. 2 Jahren umgesetzt (Abb. 1D). Ein Murgang im Fallzug verschüttete 2014 die Gleise der Matterhorn Gotthard Bahn (MGB) meterhoch und verur-

sachte einen Schaden von ca. 400'000 CHF. Der Fallzug hat bei der MGB eine hohe Dringlichkeit und der Vorschlag zur Ausarbeitung eines Wasserbauprojekts wurde 2014 an die zuständige kantonale Dienststelle weitergeleitet. In den restlichen Bächen sind zurzeit keine weiteren Massnahmen geplant.

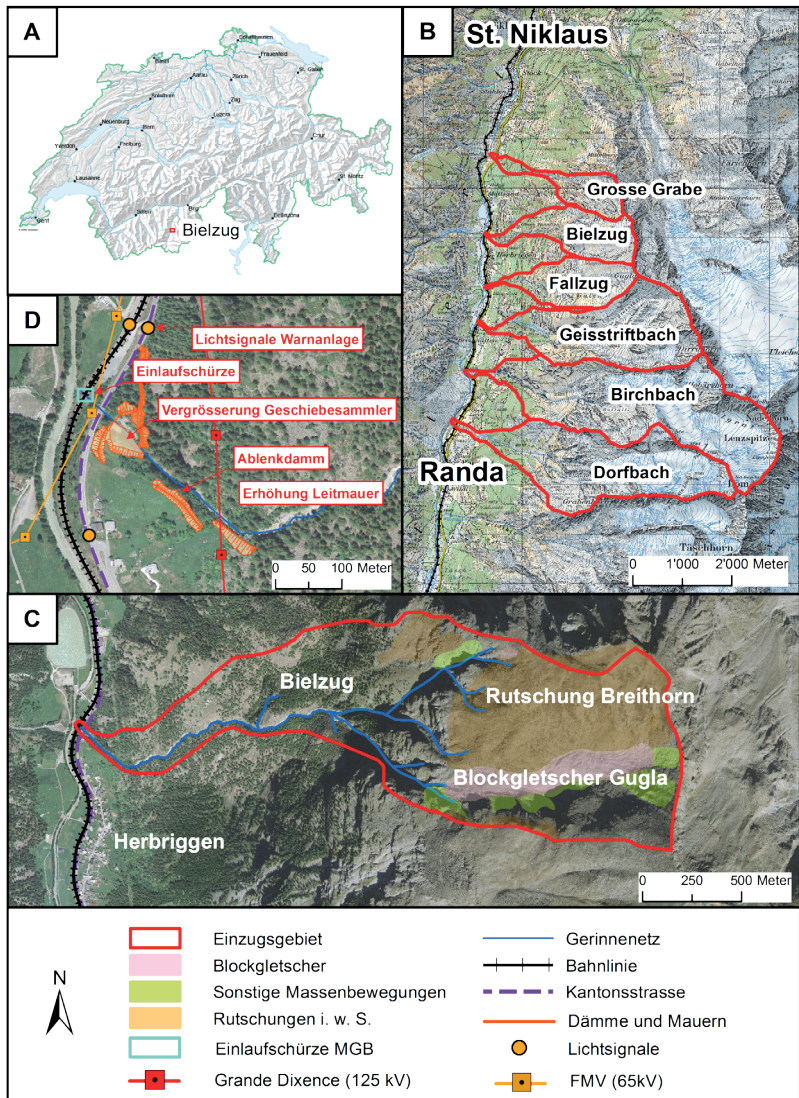


Abbildung 1: A: Lage Bielzug. B: Die sechs Einzugsgebiete der Vorstudie Sicherheitskonzept Wildbäche Mattertal. C: Übersicht Einzugsgebiet Bielzug. D: Geplante Schutzmassnahmen im Kegelbereich des Bielzugs.

In der Folge werden die angewandten Methoden (Abb. 2) und Resultate der Vorstudie am Beispiel des Bielzugs (Abb. 1 C/D) erläutert.

METHODEN

Das Vorgehen und die dazugehörigen Referenzen sind in Abbildung 2 schematisch zusammengefasst. Um sich einen Überblick über die Aktivität in den Wildbächen zu verschaffen, wurde für jeden Bach ein Ereigniskataster zusammengestellt. Als Quellen dienten die Ereigniskataster des Kantons, der Gemeinden St. Niklaus und Randa, der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) und der MGB. Alle Schutzbauten im Kegelbereich wurden aufgenommen und hinsichtlich ihres Zustandes gemäss der Methodik PROTECT (Romang et al., 2008) beurteilt. Um die massgebenden Szenarien für jeden Wildbach definieren zu können, wurde anschliessend die Charakteristik der Wildbäche bestimmt. Diese beinhaltet die Morphometrie, die Hochwasserabflüsse, die Karte der Phänomene und die Gefahrenpotentiale wie z. B. Gletscher, Blockgletscher, geologische Prozesse oder das Schwemmholzpotalential. Den Unsicherheiten bei der Beurteilung und den Berechnungen wurde mit der Angabe von Bandbreiten Rechnung getragen, wie dies in der Ereignisanalyse zum Hochwasser 2005 (Bezzola und Hegg, 2008) empfohlen wird. Die Hochwasserabflüsse wurden mit HAKESCH (BAFU, 2003) bestimmt. In der Karte der Phänomene wurden die im Gelände sichtbaren Spuren und morphologischen Merkmale (stumme Zeugen) sowie Angaben zur Disposition von gefährlichen Prozessen erfasst und dargestellt. Damit liefert die Karte wichtige Hinweise bezüglich der Aktivität und Gefährlichkeit des untersuchten Gebietes. Die aktuelle Gefährdung durch Gletscher wurde in Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW (ETHZ) beurteilt. Zudem dienten die Angaben aus dem „Inventar der gefährlichen Gletscher in der Schweiz“ als Grundlage (Raymond et al., 2003). Informationen über die jährliche Schuttproduktion, die Bewegungsgeschwindigkeiten, die Abbruchgefahr von Blockgletscherfronten, die Mächtigkeit etc. diverser Blockgletscher im Mattertal lieferten laufende Studien der Universität Fribourg (Delaloye et al., 2013). Für die Beurteilung der aktuellen geologischen Gefährdung durch Hanginstabilitäten (Rutschungen) aus Gebieten oberhalb der Waldgrenze dienten teilweise unveröffentlichte Interpretationskarten von InSAR-Daten (Satelliten-Daten) des Bundesamts für Umwelt (BAFU). Für die Abschätzung der potentiellen Materialmobilisierungen aus Hangzonen unterhalb der Permafrostzone durch Spontanrutschungen und Hangmuren wurde projektintern eine Methodik entwickelt. Aufgrund von Erfahrungswerten wurde davon ausgegangen, dass lediglich jene Hangbereiche Material in das Hauptgerinne liefern können, welche in einer Pufferzone von 150 m um das Hauptgerinne liegen. In dieser Pufferzone wurden die Mächtigkeit der Lockermaterialbedeckung aufgrund der Hangneigung für alle Flächen ohne Felsen abgeschätzt, welche eine Neigung $> 20^\circ$ aufweisen oder nicht stark bewaldet sind. Die daraus erhaltene Karte mit Angaben zu Vorkommen und Mächtigkeit des Lockergesteins diente als Grundlage zur Abschätzung der potentiellen Materialmobilisierung aus den Hangzonen. Die Abschätzung der Geschiebemengen wurde mit der Methodik SEDEX (Frick et al., 2011) durchgeführt. Die Geschiebefracht für ein 100-jährliches

Ereignis (GF100) wurde zudem gemäss dem Flussdiagramm nach Spreafico et al. (1996) abgeschätzt und das Ergebnis mit den Resultaten nach SEDEX verglichen und beurteilt. Ausserdem wurde auch das mobilisierbare Schwemmholtzpotential abgeschätzt.

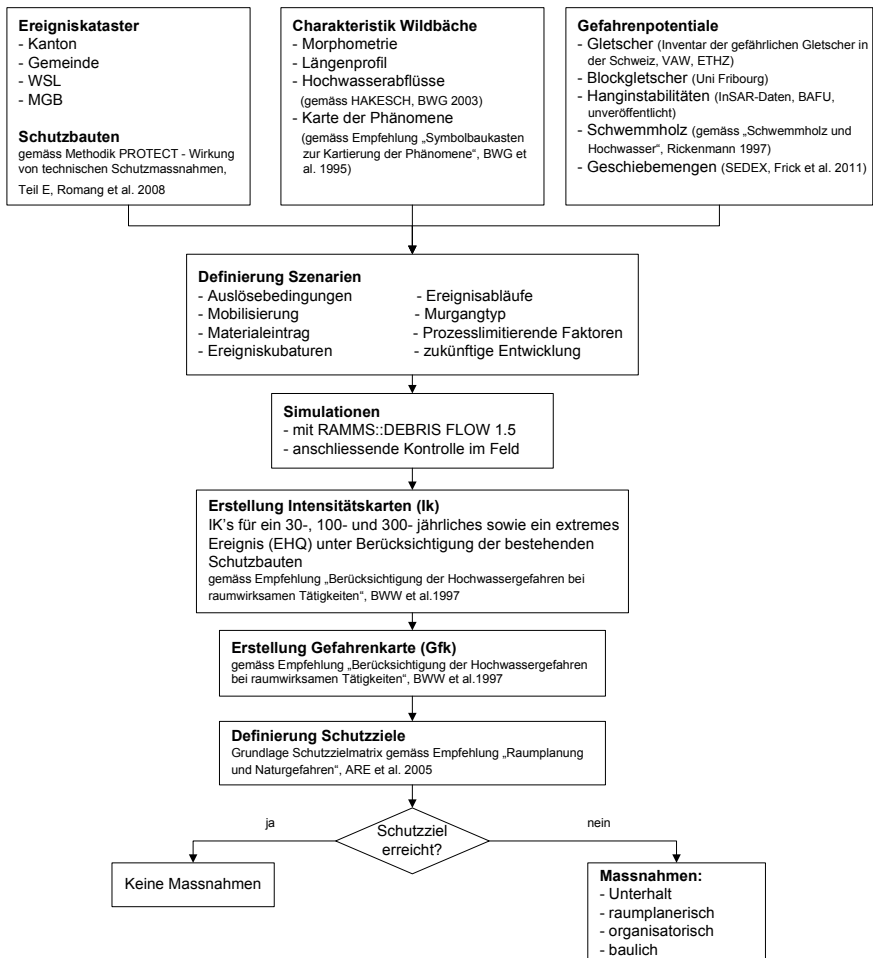


Abbildung 2: Angewandte Methoden

Basierend auf diesen Grundlagen wurden die massgebenden Gefahrenszenarien für jeden Wildbach bestimmt. Für die Szenarien wurden die Ereigniskubatur, die Auslösebedingungen, der Materialeintrag, die Mobilisierung, die Ereignisabläufe (Anzahl Schübe, Ablagerungen im Gerinne), der Murgangtyp (granular oder flüssig), die prozesslimitierenden Faktoren (Wasser, Geschiebe) und ein qualitativer Beschrieb der zukünftigen Entwicklung vom Geschiebepoten-

tial im Einzugsgebiet definiert. Anhand der Murgangsszenarien und mit Hilfe des Murgangmodells RAMMS::DEBRIS FLOW 1.5 (Christen et al., 2012) wurden für alle Bäche Simulationen durchgeführt. Das Modell wurde mit Hilfe von kartierten Ereignissen und den Erkenntnissen und Erfahrungen aus Graf et al. (2013) kalibriert. Hierbei wurden die bestehenden Schutzmassnahmen berücksichtigt. Schwachstellen entlang des Gerinnes wurden im Feld aufgenommen, mit den Ausbruchstellen der RAMMS-Modellierungen verglichen und deren Relevanz für Gerinneausbrüche in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode beurteilt. Die Erstellung der Intensitätskarten Hochwasser und Murgang erfolgte anhand der Modellierungsergebnisse sowie einer Plausibilisierung im Feld. Aus den erarbeiteten Intensitätskarten wurden schliesslich die Gefahrenkarten erstellt.

Die Schutzziele wurden projektspezifisch festgelegt. Als Grundlage diente die Schutzzielmatrix gemäss der Bundesempfehlung „Raumplanung und Naturgefahren“ (ARE et al., 2005). Bauzonen (Dorfbereiche), Freizeitanlagen und Campingplätze sollen einen vollständigen Schutz bis zu einem 100-jährlichen Murgang- oder Hochwasserereignis (M_{100}/HQ_{100}) aufweisen. Die Kantonsstrasse, Einzelgebäude, Infrastrukturanlagen sowie Hochspannungsleitungen sollen bei einem 30-jährlichen Ereignis (M_{30}/HQ_{30}) einen vollständigen Schutz aufweisen. Durch die Überlagerung der Intensitätskarten mit der Schutzzielkarte wurden Gebiete mit einem Schutzdefizit ermittelt.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen in den Einzugsgebieten und den vorhandenen Schutzdefiziten resultierte ein Massnahmenkatalog zur Verbesserung des Schutzes. Unterhalts-, raumplanerische, organisatorische und bauliche Massnahmen wurden dabei berücksichtigt.

RESULTATE

Im folgenden Kapitel werden am Beispiel des Bielzugs die Resultate der Untersuchung zusammengefasst und dargestellt. Gemäss dem Ereigniskataster ist im Bielzug durchschnittlich alle 7 Jahre mit Murgängen zu rechnen, welche einen Teil des Geschiebes im Gerinne mobilisieren. Die jüngsten Ereignisse haben gezeigt, dass sich im Bielzug Murgänge auch ohne Niederschläge bilden können. Aufgrund der überdurchschnittlichen Schneeschmelze und der gleichzeitig hohen Aktivität des Blockgletschers Gugla ereignete sich im Juni 2013 eine mehrtägige Murgangserie. Die Blockgletschergeschwindigkeit hat sich rezent sehr stark beschleunigt und lag 2013 zwischen 4 und 17 m/Jahr in dem 100 m breiten und 100 - 150 m langen, jetzt gespaltenen Stirnbereich (Tab. 1). Durch die aktuell (2013-2014) hohe jährliche Schuttproduktion des Blockgletschers, die rund 8'000 m³/Jahr erreichte (Delaloye et al., 2013, Kummert and Delaloye, 2015), kann sich Geschiebe rasch wieder in Zwischendepots ansammeln (Tab. 1).

Tabelle 1: Entwicklung der mittleren Geschwindigkeit der Stirn [m/Jahr] und der Schuttproduktion des Blockgletschers Gugla [m³/Jahr]. Die Geschwindigkeiten wurden bis 2009 mittels Luftbildanalysen bestimmt. Seit 2007 werden GPS-Messungen durchgeführt. Die Schuttproduktion ist das abgeschätzte jährliche Volumen von Lockermaterial, das durch Blockgletscherbewegung und Eisschmelze an der Blockgletscherfront frei geworden ist.

	1968-1982	1982-1995	1995-2005	2005-2009	2009-2013	2013	Tendenz (2014-2033)	Tendenz (nach 2033)
Mittlere Geschwindigkeit Blockgletscherstirn [m/Jahr]	0.35	0.5	1.4	3.0	6.0	10.8	Möglicherweise zuerst ansteigend, dann konstant bis abnehmend	abnehmend
Schuttproduktion [m ³ /Jahr]	250	400	1'100	2'300	4'700	8'500		

Die Untersuchungen im Bielzug ergaben die in Tabelle 2 aufgeführten, massgebenden Murgangsszenarien. Grössere Abbrüche von Geschiebepaketen aus dem Blockgletscher wurden im EHQ-Szenario (>300-jährlich) berücksichtigt. Die Plausibilisierung der Geschiebemengen des Bielzugs hat gezeigt, dass die Feststofffracht für ein 100-jährliches Ereignis (GF100), welche gemäss Spreafico et al. (1996) abgeschätzt wurde (38'000 m³), unter der Bandbreite der mit SEDEX bestimmten Ereigniskubatur liegt (Tab. 2). Massgebend für diesen Unterschied sind die Art der Materialeinträge durch den Blockgletscher Gugla, welche bei Spreafico et al. (1996) nicht berücksichtigt werden. Die abgeschätzten Kubaturen werden daher als plausibel eingestuft.

Tabelle 2: Abfluss, massgebende/maximale Geschiebemengen/Murgangsvolumina und grösster erwarteter Murgangsschub für die untersuchten Szenarien.

Szenario	Hochwasserabfluss (Reinwasser)	max. Geschiebefracht / Murgangsvolumen	Grösster Murgangsschub
30-jährlich	9-12 m ³ /s	10'000-20'000 m ³	10'000 m ³
100-jährlich	13-18 m ³ /s	40'000-60'000 m ³	20'000 m ³
300-jährlich	19-26 m ³ /s	60'000-80'000 m ³	30'000 m ³
> 300-jährlich	26-36 m ³ /s	80'000-120'000 m ³	90'000 m ³

Die in Tabelle 2 aufgelisteten Szenarien dienen als Grundlage für die Simulationen mit RAMMS::DEBRIS FLOW 1.5 (Christen et al., 2012). Basierend auf den Erfahrungen im Dorfbach (Graf et al. 2013) und anhand von Ereignissen wurde das Modell numerisch kalibriert. Im Rahmen der Vorstudie wurden die repräsentativsten Simulationen pro Wiederkehrperiode und die entsprechenden Fliesswege, Fliesshöhen und Fliessgeschwindigkeiten dargestellt. Demnach ist ab einem 30-jährlichen Ereignis mit Gerinneausbrüchen unterhalb der bestehenden Schutzmauer beim Kegelhalz zu rechnen, falls sich dort Geschiebe zwischenlagert. Aufgrund des zu geringen Retentionsvolumens des Geschiebesammlers muss

auch hier mit einem Überströmen gerechnet werden. Ab dem 100-jährlichen Ereignis muss zudem mit Ausbrüchen am Kegelhals gerechnet werden. Die Resultate wurden im Rahmen einer Feldbegehung gutachterlich verifiziert. Basierend auf den beiden Beurteilungen wurde für jede Wiederkehrperiode eine Intensitätskarte erstellt. Gemäss Empfehlung (BWW et al., 1997) werden für deren Erstellung die Ablagerungshöhe und die Fließgeschwindigkeit berücksichtigt. In Absprache mit dem BAFU wurde beschlossen, bei der Intensitätsklassierung nicht die Ablagerungshöhe zu berücksichtigen, sondern die maximale Fließhöhe, da diese massgebend für die Gefährdung ist.

Die überarbeitete Gefahrenkarte zeigt nur eine geringe Abweichung gegenüber der früheren Version. Einzige die Flächenanteile der verschiedenen Gefahrenstufen haben sich leicht geändert. So ist das nördliche Siedlungsgebiet von Herbriggen stärker durch Murgänge betroffen als bisher angenommen. Dies ist vor allem auf die Berücksichtigung der Entwicklung des Blockgletschers Gugla zurückzuführen.

Tabelle 3: Resultierende Schutzdefizite (gekennzeichnet mit , x ') und die erreichten Schutzziele (gekennzeichnet mit , √ ') aufgrund der Intensitätskarten vor Massnahmen basierend auf der Bundesempfehlung „Raumplanung und Naturgefahren“ (ARE, BWG, BUWAL, 2005).

Kategorie	30-jährliches Szenario	100-jährliches Szenario	300-jährliches Szenario	EHQ (>300-jährlich)
Verkehrswege und Leitungen (Kat 2.3)				
Kantonsstrasse	x	x	x	√
Bahnlinie	x	x	x	√
Hochspannungsleitung a	√	x	x	√
Hochspannungsleitung b	x	x	x	√
Siedlungsgebiet (Kat. 3.2)				
Herbriggen	√	x	x	x

Basierend auf den Intensitätskarten und der Schutzzielmatrix aus der Bundesempfehlung „Raumplanung und Naturgefahren“ (ARE et al., 2005) wurden die Schutzdefizite des Bielzugs bestimmt (Tab. 3). Um die Schutzdefizite beheben zu können, sind Massnahmen notwendig (Abb. 1D). Aus Platzgründen können im Bielzug bauliche Massnahmen nur für 30- bis 100-jährliche Ereignisse dimensioniert werden. Sie umfassen eine Erhöhung der bestehenden Leitmauer am Kegelhals, einen zusätzlichen Ablenkdam, eine Vergrösserung des bestehenden Geschiesesammlers und eine Verschalung des MGB-Durchlasses (vgl. Abb. 1D). Diese Massnahmen alleine genügend jedoch nicht zum Schutz vor seltenen und sehr seltenen Ereignissen und schützen insbesondere die Verkehrswege ungenügend. Der Überlastfall wird daher mit organisatorischen Massnahmen abgedeckt. Für die Reduktion des verbleibenden Risikos wurde eine Warnanlage für Bahn und Strasse erstellt (Abb. 1D). Mit einer Kombination verschiedener Sensoren (Geophone, Murgangkombeisensor, Pegelsonde) werden mittlere und grosse Ereignisse detektiert und die Verkehrswege werden im Ereignis-

fall mittels Lichtsignalen automatisch gesperrt. Das Risikomanagement der Gemeinde St. Niklaus beinhaltet eine Notfallplanung, in welcher einerseits Beobachtungspunkte im Einzugsgebiet für eine verbesserte Frühwarnung und andererseits Interventionsmassnahmen für rasches und effizientes Handeln festgelegt worden sind.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Vorstudie hat aufgezeigt, dass sich das Geschiebeangebot aufgrund der Aktivität eines Blockgletschers massgebend verändern kann. Die Gefahrenkarte in solchen Wildbächen sollte daher regelmässig überprüft und wenn nötig nachgeführt werden. Dies zeigt auch, dass eine Gefahrenkarte grundsätzlich nicht als statisch angesehen werden darf. Die Kombination von numerischer Modellierungen und Plausibilisierung der Resultate durch Feldbegehungen hat sich im Rahmen der Vorstudie Mattertal sehr gut bewährt. Dies stellt im vorliegenden Fall auch ein Bindeglied zwischen wissenschaftlicher Grundlagenforschung und der Praxis dar. Oft bieten sich aufgrund der örtlichen Verhältnisse bei Wildbächen primär bauliche Massnahmen an. Das Beispiel Bielzug hat jedoch aufgezeigt, dass bauliche Massnahmen zum Schutz von Siedlungen und Verkehrswegen nicht immer ausreichen. Es braucht daher ein Risikomanagement, welches Unterhalts-, raumplanerische, organisatorische und bauliche Massnahmen beinhaltet.

REFERENZEN

- arge wasser/schnee/lawinen, Geoplan AG, Bumann Reinhold GmbH (2013). Vorstudie Sicherheitskonzept Wildbäche im Matteredal, Brig-Glis, Steg, Naters, Dezember 2013.
- Bezzola G.R., Hegg C. (eds.) (2008). Ereignisanalyse Hochwasser 2005, Teil 2 - Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bundesamt für Umwelt BAFU, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL. Umwelt-Wissen Nr. 0825: 429 S.
- Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (1995). Symbolbaukasten zur Kartierung der Phänomene, 41 S.
- Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Bundesamt für Wasser und Geologie BWG, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (2005). Empfehlung - Raumplanung und Naturgefahren. 48 S.
- Bundesamt für Wasser und Geologie BWG (2003). Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten, Berichte des BWG, Serie Wasser Nr. 4, Bern 2003, 118 S.
- Bundesamt für Wasserwirtschaft BWW, Bundesamt für Raumplanung BRP, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL (1997). Berücksichtigung der Hochwassergefahren bei raumwirksamen Tätigkeiten, Empfehlung Naturgefahren, Biel, 1997, 32 S.
- Christen, M., Bühler, Y., Bartelt, P., Leine, R., Glover, J., Schweizer, A., Graf, C., McArdell, B.W., Gerber, W., Deubelbeiss, Y., Feistl, T. & Volkwein, A. (2012). Integral hazard management using a unified software environment: numerical simulation tool "RAMMS" for gravitational natural hazards. In: Koboltschnig, G.; Hübl, J.; Braun, J. (eds.) 12th Congress INTERPRAEVENT, 23-26 April 2012 Grenoble - France. Proceedings. Vol. 1. Klagenfurt, International Research Society INTERPRAEVENT. 77-86.

- Delaloye, R., Morard, S., Barboux, C., Abbet, D., Gruber, V., Riedo, M., & Gachet, S., (2013). Rapidly moving rock glaciers in Mattertal. In: Graf, C.(Red.) Mattertal - ein Tal in Bewegung. Publikation zur Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft, 9. Juni bis 1. Juli 2011, St. Niklaus. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 21-31.
- Frick, E., Kienholz, H., Romang, H. (2011). SEDEX. Anwenderhandbuch. Geographica Bernensia, P 42 128 S.
- Graf, C., Deubelbeiss, Y., Bühler, Y., Meier, L., McArdell, B., Christen, M., Bartelt, P. (2013). Gefahrenkartierung Mattertal: Grundlagenbeschaffung und numerische Modellierung von Murgängen. In: Graf, C. (Red.) Mattertal - ein Tal in Bewegung. Publikation zur Jahrestagung der Schweizerischen Geomorphologischen Gesellschaft 29. Juni - 1. Juli 2011, St. Niklaus. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. 85-112.
- Kummert, M. & Delaloye, R. (2015). Quantifying sediment transfer between the front of an active alpine rock glacier and a torrential gully. In: Jasiewicz J., Zwolinski Zb., Mitasova H., Hengl T. (eds.) Geomorphometry for Geosciences. Adam Mickiewicz University in Poznan - Institute of Geoecology and Geoinformation, International Society for Geomorphometry, Poznan, 2015. 193 - 196.
- Raymond, M., Wegmann, M. und Funk, M. (2003). Inventar der gefährlichen Gletscher in der Schweiz. Mitteilungen Nr. 182 der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, der ETH Zürich. Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. H.-E. Minor.
- Rickenmann, D. (1997). Empirical Relationships for Debris Flows. Natural Hazards. 47 - 77.
- Romang, H. (Ed.) (2008). Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.
- Spreafico, M., Lehmann, CH., Naef, O. (1996). Empfehlung zur Abschätzung von Feststofffrachten in Wildbächen, Teil 1, Handbuch, Mitteilung Nr. 4, GHO, Bern.