

Zeitschrift: Tec21
Herausgeber: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
Band: 128 (2002)
Heft: 17: Permafrost

Artikel: Dämme gegen Naturgefahren: Bau von Schutzdämmen gegen Rufen und Lawinen in Pontresina
Autor: Keller, Felix / Haeberli, Wilfried / Rickenmann, Dieter / Rigendinger, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-80415>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

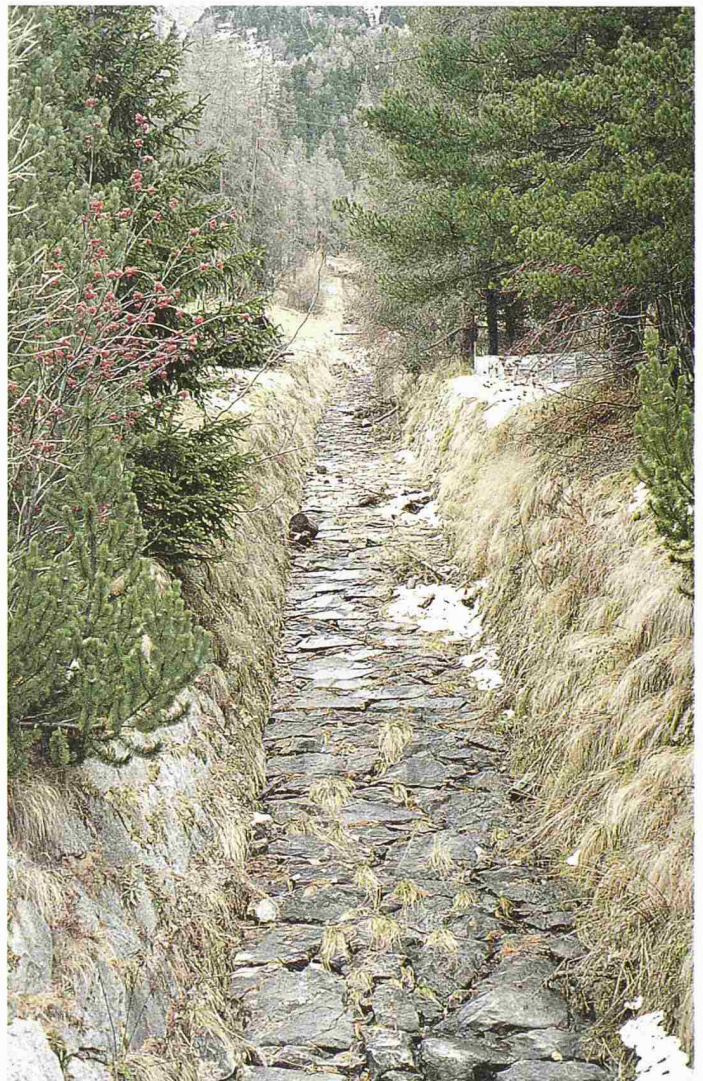
Dämme gegen Naturgefahren

Bau von Schutzdämmen gegen Rufen und Lawinen in Pontresina

Rund fünf Prozent der schweizerischen Landesfläche bestehen aus so genanntem Permafrost, ganzjährig gefrorenem Untergrund also. Wenn dieser infolge der allgemeinen Klimaerwärmung langsam auftaut, kann sich das Risiko von Murgängen beträchtlich erhöhen. In Pontresina hat man sich nach einer Reihe von Untersuchungen dazu entschlossen, mit einem Dammbauwerk zwei Probleme gleichzeitig zu lösen: sowohl gegen Schneelawinen als auch gegen Rufen einen dauerhaften Schutz zu erhalten.

Vorgeschichte

Am Schafberg in Pontresina werden seit 1882 Verbauungen gegen Lawinen und Murgänge (Rufen) erstellt. 1978 begann man mit den Arbeiten am Verbau des Val Giandains direkt oberhalb des Dorfkerns. Ein Projekt, das schon 1892 unter dem Namen «106 Giandains» geplant, aber nie ausgeführt worden war. In vier Etappen sollten durch den Einbau von leichten Stahlwerken mit Sprengankerfundationen Lawinen- und Rufenverbauungen realisiert werden. Doch bereits nach der ersten Etappe wurden die Arbeiten wegen grosser bautechnischer Schwierigkeiten eingestellt. Wasserführende, schmierige und sehr kalte Schichten behinderten das Bohren in 2,5 m Tiefe. Ankersversuche des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Davos (SLF) ergaben, dass eine Runse im Verbauungsgebiet Giandains mit den bestehenden Werktypen mit gebohrten Ankern nicht verbaubar ist. Daraufhin führte die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich (VAW) erstmals mit einfachen Schneesondierungen Perma-



1

Murganggerinne im Val Giandains. Der Materialabfluss des Gerinnes im Val Giandains beträgt etwa 80 m³/s. Grössere Murgänge würden das Gerinne verlassen und sich ausbreiten (Bild: Felix Keller)

frostkartierungen durch. Der zugehörige Kurzbericht beschreibt neben der Permafrostverbreitung auch die vermuteten Bewegungsrichtungen des Permafrostkriechens und die daraus resultierende extreme Labilität des Lockerschuttes im bezüglich Verankerungen kritischen Perimeter. Folgende Schlüsse wurden damals gezogen:

- Der Verbauperimeter befindet sich teilweise in einem heiklen Bereich von eisreichem, kriechendem Permafrost.
- Eischarakteristik und Mächtigkeit des Permafrostes sind nicht bekannt.
- Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost sind nicht erforscht.
- Bis dato sind keine Lawinenschutzmethoden für Permafrostgebiete entwickelt worden.
- Die Bauarbeiten müssen vorläufig eingestellt werden.
- Ein neues, der Lawinen- und Murganggefahr Rechnung tragendes Schutzkonzept für das Val Giandains muss entwickelt werden.

Risikoanalyse

Massnahmen zum Schutze von Menschen und erheblichen Sachwerten werden in der Schweiz auf der Grundlage einer Risikoanalyse subventioniert. Diese Analyse gründet auf der Abschätzung beziehungsweise Berechnung des Gefahrenpotenzials sowie des Schadenpotenzials. Dabei werden die Gefahrenarten Murgang, Lawinen und Steinschlag analysiert und mögliche Schutzmassnahmen abgeleitet. Die zu untersuchenden Prozesse stehen in Pontresina wegen des Permafrostes zueinander in besonderer Wechselbeziehung. Bezüglich der Lawinenproblematik spielt der Permafrost ausschliesslich als möglicher Baugrund für Verbauungen eine Rolle, während bezüglich Murgängen Veränderungen der Permafrostbedingungen zu beachten sind. Permafrost als solcher kann nicht als Naturgefahr bezeichnet werden, sondern er beeinflusst als klimaabhängiges Phänomen verschiedene relevante Prozesse. Dabei ist sein Anteil von 4 bis 6% der Schweizer Landesfläche mehr als doppelt so gross wie derjenige von Gletschern.¹

Projekt «Permafrost»

Im Februar 1989 wurde das so genannte Ergänzungsprojekt «Permafrost» von der VAW in Zusammenarbeit mit dem SLF gestartet. Neben den geophysikalischen Baugrunduntersuchungen² und den Grundlagenuntersuchungen zu den Schnee-Permafrost-Beziehungen³ entstand dabei eine erste Ingenieurstudie⁴. Aus diesen Arbeiten konnten folgende Schlüsse gezogen werden:

- In der Runse am Anfang des Val Giandains oberhalb rund 2700 m ü. M. ist Permafrost in zwei Bohrlöchern mit einer Mächtigkeit zwischen 40 und 70 Metern festgestellt worden. Die Permafrosttemperaturen sind mit $-1,6^{\circ}\text{C}$ respektive $-0,6^{\circ}\text{C}$ nahe dem Schmelzpunkt.
- Die eisreichen Lockergesteine kriechen mit Geschwindigkeiten von einigen Zentimetern pro Jahr annähernd oberflächenparallel in die Steilhänge der Lawinerverbauungszone.

- Etwa 100 m^3 gefrorener Schutt fließen jährlich in die Runse des Val Giandains hinein und verändern dadurch langsam aber stetig die Geometrie der übersteilen Hangpartie. Es stürzen jährlich ein paar grosse Blöcke von der Runsenoberkante ab.

- Falls der tief liegende Permafrost in der allenfalls zu verbauenden Runse (Val Giandains) abschmelze, wäre damit eine Veränderung der Stabilität und der Erosionsanfälligkeit des Steilhanges verbunden. Infolge der dabei sich verändernden Disposition für Murgänge muss die vorwiegend auf Erfahrung basierende Ausschließung von Gefahrengebieten im Siedlungsgebiet neu untersucht werden.

Beurteilung der Murfähigkeit

Auf der Grundlage einer ersten Studie der ETH Zürich wurde im Jahre 1994 eine Beurteilung der durch Murgänge gefährdeten Dorfteile Pontresinas durchgeführt.⁵ Bei der Abschätzung der Murganggefährdung bildet die *Murgangfracht* den zentralen Parameter. Im Permafrost hängt das mobilisierbare Schuttpotenzial von der Dicke der sommerlichen Auftauschicht an der Oberfläche ab. Bei intakten Permafrostbedingungen beträgt deren Dicke zwischen drei und fünf Meter. Die darunter liegenden, dauernd gefrorenen Schichten sind durch das Eis vor Erosion geschützt.

Klimaszenarien gehen in der betroffenen Zone bis im Jahre 2050 von einer Erwärmung von $1,5^{\circ}$ bis 2°C aus. Auf den Permafrost kann ein solches Szenario unterschiedliche Auswirkungen haben. Einerseits kann durch geringere Schneehöhen im Herbst der Boden stärker auskühlen (so genannter Herbstschnee-Effekt). Andererseits kann bei andauernd warmen Temperaturverläufen bereits nahe am Schmelzpunkt sich befindender Permafrost durch eindringendes Wasser flächenhaft auch in grösseren Tiefen auftauen. Die Geschwindigkeit des Auftauprozesses lässt sich schwer abschätzen, denn sobald zirkulierendes Wasser Wärme transportieren kann, sind rasche Auftauprozesse innerhalb von 5 bis 10 Jahren möglich. Bei einer Erwärmung würde sich als direkte Reaktion die Auftauschicht des Permafrostes und damit das Schuttpotenzial markant vergrössern.⁶ Zur Gefahrenbeurteilung von murgangfähigen Wildbächen werden oft sehr grobe empirische Methoden angewendet.^{7,8} Dabei bilden die oben besprochenen Grössen die Grundlagen zur Abschätzung der wichtigen Murgangparameter. Dies sind insbesondere Gerinnelänge, die Einzugsgebietsgrösse, das Gefälle des gesamten Gerinnes inklusive Kegel sowie die daraus berechnete Murgangfracht (siehe Tabelle 2).

EG (Einzugsgebiet)	0,8 km ²
L (Gerinnelänge)	1350 m
JK (Kegelgefälle)	29 ‰
JM (Gerinnegefälle)	55 ‰
M (Murgangfracht), seltenes Ereignis	25 000 m ³
M (Murgangfracht), sehr seltenes Ereignis	100 000 m ³

2

Grundlagen zur Abschätzung von Murgangereignissen im Val Giandains in Pontresina (Tabelle Felix Keller)



3

Modell des Schutzbauwerkes. Hinter dem Waldstreifen sind die Dämme erkennbar, weiter oben die Vordämme (Bild: Hans Rigendinger)

Zur Beschreibung des Fliess- und Ablagerungsverhaltens wurden in jüngerer Zeit auch numerische Simulationsmodelle entwickelt. Eine Unsicherheit bildet dabei aber die Bestimmung der Modellparameter zur Charakterisierung des Materialverhaltens, die meist aufgrund der Nachrechnung von Naturereignissen abgeschätzt werden.⁹ Da systematische Nachrechnungen dieser Parameter fehlen, wurden solche Simulationsrechnungen für praktische Anwendungen bisher nur in beschränktem Umfang durchgeführt.¹⁰ Für die Beurteilung der Murgangablagerung ist die Schätzung des Maximalabflusses im Gerinne von Bedeutung. Dazu wird der Maximalabfluss des Wasser-Feststoff-Gemisches in Beziehung zur Murgangfracht gebracht. Die höchsten in den Alpen beobachteten Maximalabflüsse von Murgängen liegen bei etwa 1000 m³/s. Die berechneten Maximalabflüsse streuen im Val Giandains zwischen 360 und 1100 m³/s, was bedeutet, dass der letztgenannte Wert eher zu hoch sein dürfte. Zwischenablagerungen sind generell zwar möglich, doch eher von bescheidenem Ausmass. Die Reichweite des Murganges, das heisst die Distanz von der Anrisszone bis zum untersten Ablagerungspunkt, wurde mit Hilfe der Murgangfracht abgeschätzt und beträgt 1700 m für das «seltene» und 2700 m für das «sehr seltene» Ereignis. Eine weitere wichtige Grösse ist die Ablagerungslänge L_K auf dem Kegel, welche sich auf die Distanz zwischen Ausbruchstelle aus dem Gerinne bis zum untersten Punkt der murgangartigen Ablagerung (ohne Schwemmmaterial) bezieht. Sie kann ebenfalls mit Hilfe der Murgangfracht abgeschätzt werden und beträgt für eine «seltene» Murgangfracht von 25 000 m³ etwa 500 Meter. Dies entspricht ungefähr zwei Drittel der gesamten Länge des Kegels.

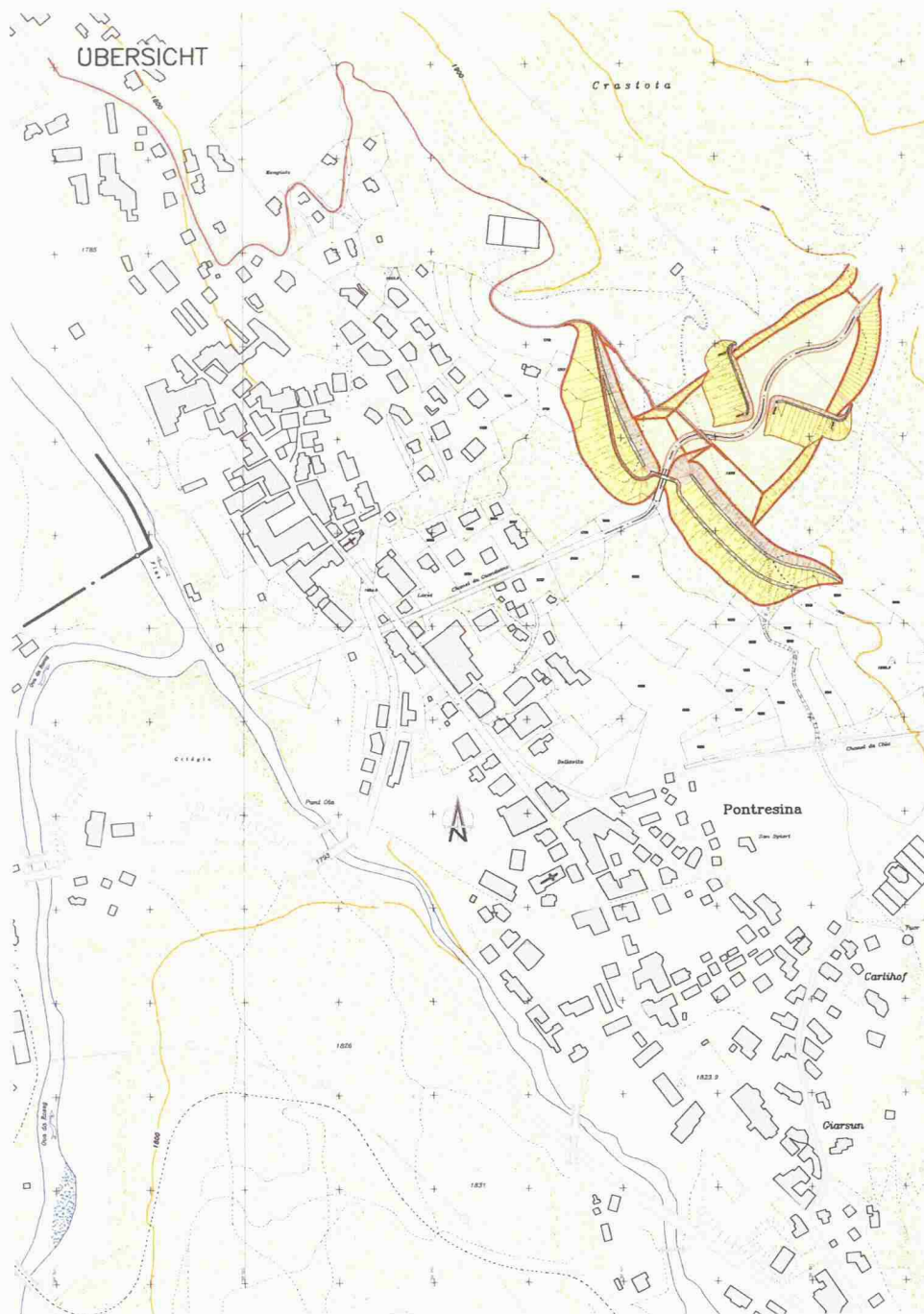
Gefahr für das Dorf?

Eine halbquantitative Abschätzung im Kegelbereich zeigt, dass die Aufnahmekapazität des künstlichen, kanalisierten Gerinnes (Bild 1) auf dem Kegel des Val Giandains nicht genügt, um den Abfluss grösserer Murgänge aufzunehmen. Der berechnete Höchstabfluss, den das Gerinne (Querschnitt im Kegelbereich: etwa 8 m²) aufnehmen kann, liegt zwischen 65 und 86 m³/s. Der Maximalabfluss eines «seltene» Ereignisses entspricht aber etwa 360 m³/s. Demnach wird ein solcher Murgang das bestehende Gerinne schon kurz unter dem Kegelhals verlassen und sich ausbreiten. Überdies bestehen drei Verklauungsmöglichkeiten (Brücken, Engnisse), die zu einem Ausbrechen des Murganges aus dem Gerinne führen können. Diese Verklauungen spielen vor allem bei kleineren Murgängen eine Rolle. Diese brechen oft überhaupt erst bei Hindernissen aus dem Gerinne aus. Weiter ist in der Murgangfracht mit vereinzelt, mitgeführtem Lawinenholz zu rechnen, welches die Verklauungsgefahr erhöht.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass das Siedlungsgebiet von Pontresina infolge möglicher Veränderungen des Permafrostes durch Murgänge bedroht ist und die heute in der Raumplanung geltenden Sicherheitsansprüche nicht mehr gewährleistet sind. Zu dieser Einschätzung trägt die Tatsache entscheidend bei, dass sich die Temperaturen des Permafrostes im betroffenen Gebiet nahe dem Schmelzpunkt befinden.

Auffangwerke

Die Evaluation verschiedener Möglichkeiten zur Eindämmung der Gefahren führte schliesslich zum Projekt, das sich nun in der Realisierungsphase befindet. Mit Auffängdämmen oberhalb des Dorfes können



4

Situationsplan Pontresina mit dem Schutzbauwerk auf der rechten Seite oberhalb des Dorfes. Unten sind die beiden Hauptdämme zu erkennen, weiter oben die ebenfalls versetzt angeordneten Vordämme zur Reduktion der Fließgeschwindigkeit der Lawinen oder Murgänge (Bild: Hans Rigendinger)

	Fr.
Landerwerb, Entschädigungen, Bewilligungen, Gebühren	75 000
Baustelleneinrichtungen	290 000
Rodungen	37 000
Wasserhaltung	20 000
Erddamm, Auffangbecken, Bachkorrektur	3 609 500
Rückhaltesperre, Dammbalkenverschluss, Betongerinne	606 500
Vordämme	685 000
Zufahrt	218 000
Unvorhergesehenes, Reserven 10 %	554 000
Total Baukosten	6 095 000

Sondierkampagnen	60 000
Geologische Berichte, Laboruntersuchungen	42 000
Variantenstudien und Vorprojekte	100 000
Bauprojekt, Submission, Ausführungsprojekt und Bauleitung	560 000
Nebenkosten	50 000
Vermessung und Geländeaufnahmen	30 000
Materialprüfungen und Qualitätskontrollen	40 000
Total Kostenschätzung	6 977 000

5

Kosten für Schutzdamm in Pontresina (Tabelle: Hans Rigendinger)

einerseits Murgänge und andererseits aber auch Lawinniedergänge aufgefangen werden (Bilder 3 und 4). Statt eines durchgehenden Dammes mit einer Bresche für den Bachdurchgang hat man sich für eine Lösung mit zwei gegeneinander versetzten Dämmen entschieden. Ausschlaggebend war neben der Wirtschaftlichkeit vor allem die bedeutend bessere Einpassung in die Umgebung.

Die Dämme haben eine Länge von je 230 m, eine bergseitige Höhe von 13,5 m und können mit dem am Baustandort vorhandenen Material erstellt werden. Die maximale Breite beträgt 67 m. Die Dämme werden an bestehende Geländekanten angepasst und die talseitigen terrassierten Böschungen renaturiert. Der Abtrag des Dammschüttmaterials erfolgt bergseits der Dämme. So werden die Lawinen hinter die Dämme geleitet, und es entsteht ein Becken, das 240 000 m³ Schnee aus Lawinen oder 100 000 m³ Rufenmaterial auffangen kann. Gegen Grosslawinen sind noch zusätzliche Massnahmen notwendig, welche die Lawinengeschwindigkeit vor den Dämmen reduzieren. Dies geschieht mittels zweier ebenfalls versetzt angeordneter Vordämme im Auffangbecken mit einer bergseitigen Höhe von rund acht Metern. Von der Erstellung des Auffangbeckens und der Dämme werden etwa 4,2 ha tangiert.

Für die sofortige Leerung des Auffangbeckens nach einem allfälligen Murgang ist eine Zufahrtsstrasse für Baumaschinen und Lastwagen notwendig. Die neue Strasse dient in der Bauphase auch für das Zuführen eines Teils der Steine für die bergseitige Befestigung der Dämme und des Baumaterials für die Dammbalkensperre zwischen den zwei Dämmen. Der Einpassung der Dämme in die Landschaft ist bei der Projektierung grosses Gewicht beigemessen worden. So bleibt z.B. talseits der Dämme praktisch über deren gesamte Länge ein Waldstreifen bestehen (Bild 3).

Die Baukosten (siehe Tabelle 5) entsprechen etwa einem Viertel der Aufwendungen, die für einen gegen Murgänge wenig hilfreichen, konventionellen Vollverbau der Anrissgebiete des Val Giandains gegen Lawinen hätten aufgewendet werden müssen.

Literatur

- 1 Keller, F., Frauenfelder, R., Gardaz, J.-M., Hoelzle, M., Kneisel, Chr., Lugon, R., Phillips, M., Reynard, E., Wenker, L.: Permafrost Map of Switzerland. In: Proceedings of Seventh International Conference on Permafrost. No 57/1998, 557–562.
- 2 Vonder Mühl, D.S.: Geophysikalische Untersuchungen im Permafrost des Oberengadins, Graubünden. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich, Nr. 122/1993, 222 S.
- 3 Keller F.: Interaktionen zwischen Schnee und Permafrost. Eine Grundlagenstudie im Oberengadin. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie ETH Zürich. Nr. 12/1994, 146 S.
- 4 Stoffel: Bautechnische Grundlagen für das Erstellen von Lawinenverbauungen im alpinen Permafrost. Mitteilungen des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Davos. Nr. 52/1995.
- 5 ILU alpin: Risikoanalyse Pontresina; Bericht über die durch Murgänge aus dem Val Clüx und Val Giandains gefährdeten Zonen von Pontresina. Im Auftrag des Kreisforstamtes 28, 7524 Zuoz. 1994, 16 S.
- 6 Haeberli, W., Käab, A., Hoelzle, M., Bösch, H., Funk, M., Vonder Mühl, D., Keller, F.: Eisschwund und Naturkatastrophen. Schlussbericht NFP 31, vdf Hochschulverlag, ETH Zürich, 1999, 190 S.
- 7 Rickenmann, D.: Beurteilung von Murgängen. Schweizer Ingenieur und Architekt, 48/1995, 1104–1108.
- 8 Rickenmann, D.: Empirical relationships for debris flows. Natural Hazards, 19(1), 1999, 47–77.
- 9 Rickenmann, D., Koch, T.: Comparison of debris flow modelling approaches. In: «Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction, and Assessment», Ed. Chen-lung Chen, (Proc. of the first Int. Conference, San Francisco, USA), American Society of Civil Engineers, 1997, 576–585.
- 10 Rickenmann, D.: Murgänge in den Alpen und Methoden zur Gefahrenbeurteilung. In: Mitteilungen des Lehrstuhls und Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen. Band 124/2001, 51–77.

Felix Keller, Academia Engiadina, Privates Institut für Tourismus und Landschaft, Samedan,

felix.keller@academia-engiadina.ch

Wilfried Häberli, Geographisches Institut der Universität Zürich, haeberli@unizh.ch

Dieter Rickenmann, Forschungsanstalt für Wald, Siedlung und Landschaft (WSL), Birmensdorf, und Universität für Bodenkultur, Wien,

ricke@edv1.boku.ac.at

Hans Rigendinger, Projektingenieur Schutzbauwerk Pontresina, Gysi-Rigendinger & Partner, Chur, rig-eng@rigendinger.ch