Zeitschrift: Collage : Zeitschrift für Raumentwicklung = périodique du développement territorial = periodico di sviluppo territoriale

Herausgeber: Fédération suisse des urbanistes = Fachverband Schweizer Raumplaner

Band: - (2014)

Heft: 1

Artikel: Permafrostkartierung und Praktische Anwendung

Autor: Keller, Felix

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-957585

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 08.12.2025

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

THEMA

Permafrostkartierung und Praktische Anwendung

FELIX KELLER
Dr. sc.nat. ETH, Co-Institutsleiter ETI an der Academia Engiadina, Geschäftsbereich Landschaft und Umwelt.

Die Früherkennung von Permafrost hat im Zusammenhang mit verschiedenen Aktivitäten im Hochgebirge zentrale Bedeutung. Obwohl das Hochgebirge der Alpen im Vergleich zu anderen Gebirgszügen dicht besiedelt ist, ist das direkte Schadenpotenzial relativ gering. Permafrosthinweiskarten sind dabei ein wichtiges Instrument der Früherkennung. Mit ihnen können beispielsweise verschiedene Transportanlagen sowie die dazugehörende Infrastruktur bezüglich Permafrost grob beurteilt werden. Zudem bilden die Karten eine Grundlage für weiterführende Analysen.

Einleitung

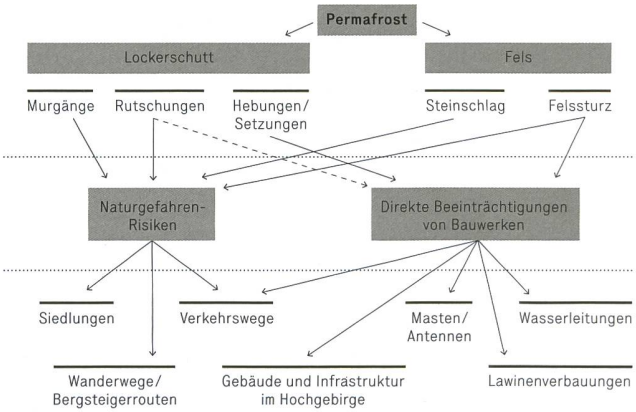
Die Schnee- und Eisvorkommen der Alpen befinden sich nahe am Schmelzpunkt und reagieren deshalb besonders empfindlich auf Schwankungen des Klimas. Aufgrund ihres «Erinnerungsvermögens» und der leichten Verständlichkeit der beteiligten Prozesse geben Gletscher Signale von einzigartiger Klarheit hinsichtlich des globalen Temperaturanstiegs: der weltweit seit dem vergangenen Jahrhundert beobachtete Gletscherschwund ist das wohl eindeutigste Indiz dafür, dass sich das Klima rasch verändert. Weniger lang gemessen und auch der einfachen visuellen Beobachtung entzogen sind Veränderungen im Permafrost, dem dauernd gefrorenen und oft ausgesprochen eisreichen Untergrund, der weite Gebiete oberhalb der Waldgrenze umfasst und sich massgeblich auf die Stabilität steiler Schutt- und Felsflanken auswirkt. Auftauender Permafrost beeinflusst damit Schlammlawinen (Murgänge), Steinschlag und Bergstürze, welche gemeinsam mit den immer knapper werdenden alpinen Raumverhältnissen sowie der Bedeutung der Verkehrswege betrachtet werden müssen. Weiter dringt auch der Tourismus immer mehr in hochgelegene Gebiete vor. Dieser Trend wird sich bei anhaltender Schneearmut in den Voralpen verstärken. Im vorliegenden Beitrag werden Möglichkeiten zur Früherkennung von Permafrost mittels Hinweiskarten aufgezeigt.

Früherkennung von Permafrost

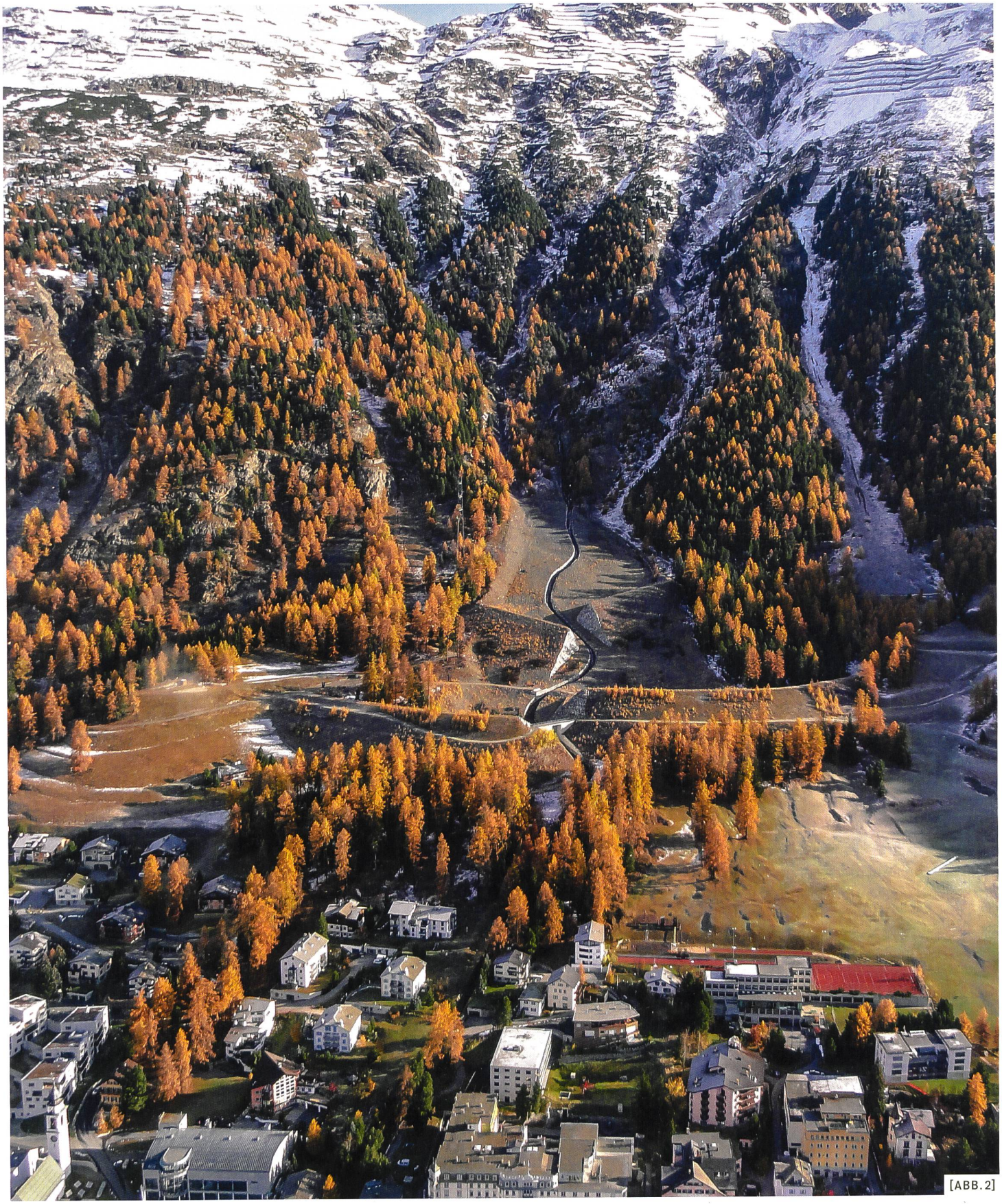
Die Früherkennung von Permafrost hat im Zusammenhang mit verschiedenen Aktivitäten im Hochgebirge zentrale Bedeutung. Bei Bauten kann z. B. durch eine Standortänderung dem Permafrost ausgewichen werden. Ist dies möglich, können Massnahmen rechtzeitig geplant werden, womit die ohnehin hohen Kosten von Gebirgsbaustellen massiv reduzieren werden können. Im Zusammenhang mit Naturgefahren gilt, dass eine erkannte Gefahr in der Regel meistens nur noch halb so gross ist.

Grundsätzlich muss zwischen Permafrost in Lockerschuttgebieten und Felsgebieten unterschieden werden **[ABB. 1]**. Dauernd gefrorener Schutt wird durch wasserundurchlässiges Bodeneis vor Erosion durch Hochwasser und Rüfen (Murgänge) geschützt. Damit wird das Gefahrenpotential durch den Permafrost stark reduziert. Taut das Permafrosteis auf, so werden grössere Schuttmengen dem Hochwasser ausgesetzt, und es können sich Rüfen bilden. Unterhalb solcher Gebiete mit auftauendem Permafrost ist die Gefährdung höher als in solchen, die schon länger permafrostfrei sind oder noch intakten Permafrost aufweisen. Auch der Felspermafrost hat bei praktischen Problemen eine grosse Bedeutung. In Schottland durchgeführte Zentrifugenversuche sowie Felstemperaturmessungen in den Schweizer Alpen (Davies et al. 2001; Gruber et al. 2004) zeigen, dass, wenn der Permafrost Temperaturen um -1.5 °C erreicht, ein markanter Stabilitätsverlust einhergeht welcher beim Erreichen des Schmelzpunktes sogar wieder zunimmt.

Zu welchen Risiken die erwähnten Prozesse im Zusammenhang mit Naturgefahren und Bauwerken führen, ist im unteren Teil der **[ABB. 1]** dargestellt. Obwohl das Hochgebirge der Alpen im Vergleich zu anderen Gebirgszügen dicht besiedelt ist, ist das direkte Schadenpotenzial relativ gering. Neben Seilbahn-Installationen und anderen Bauten sind Masten von Transportleitungen, Elektrizität und Kommunikationseinrichtungen betroffen. Über Naturgefahrenprozesse müssen indirekt auch Siedlungen und Verkehrswege in die Überlegungen einbezogen werden, wobei die Verkehrswege auf Grund ihrer linienhaften Ausprägung vermehrt betroffen sind.

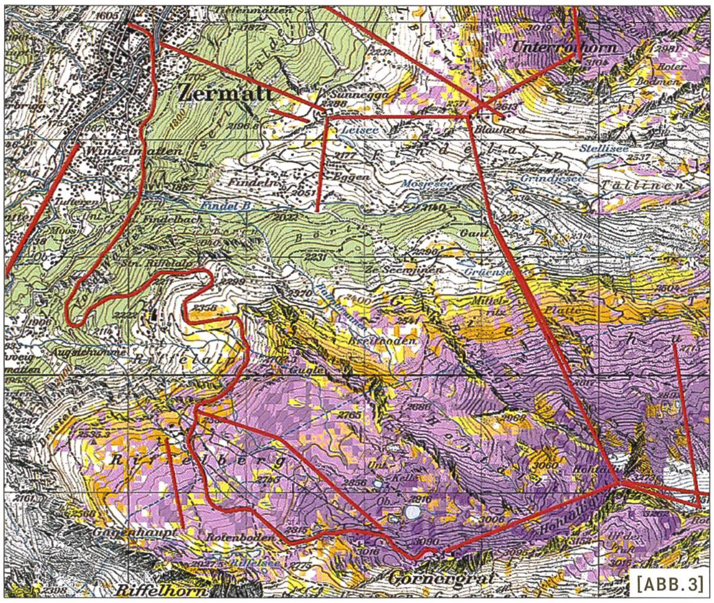


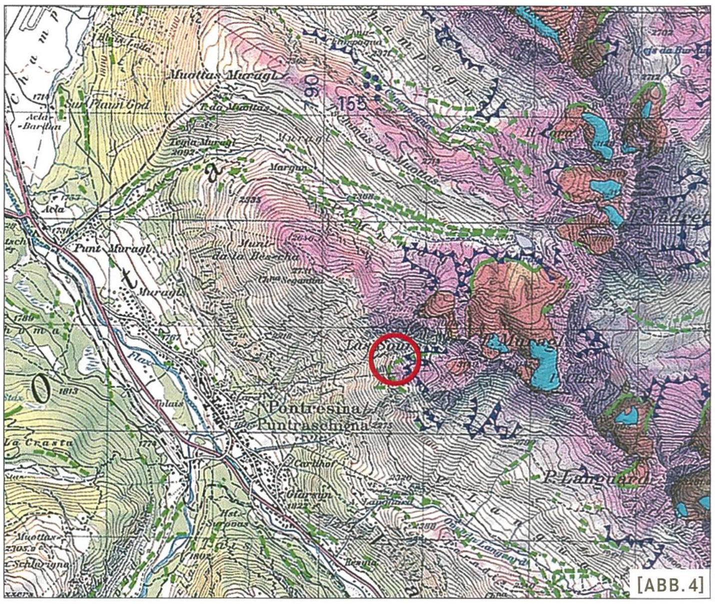
[ABB. 1] Einflussbereiche des Gebirgspermafrostes.



[ABB. 2]

[ABB. 2] Die im Jahre 2003 fertiggestellten Schutzdämme unterhalb der seit 1882 erbauten, insgesamt 18 km langen Lawinenverbauungen von Pontresina. (Foto: Felix Keller)





[ABB.3] Ausschnitt «Gornergrat» der Schweizerischen Permafrostkarte (Legende: Transportinfrastruktur (rot), fleckenhafter Permafrost (Gelbtöne), flächenhafter Permafrost (violette Farbtöne).

[ABB.4] Ausschnitt der glaziologischen Karte Julier-Bernina, Synthesekarte des Nationalen Forschungsprogrammes Nr. 31 (Keller et al. 1998). Violett: modellierte Permafrostverbreitung, Blaue Linien: Blockgletscher. Roter Kreis: Murganganrissgebiet mit auftauendem Permafrost in Pontresina.

Permafrosthinweiskarten zur flächenhaften Früherkennung

Anfangs der 90er-Jahre entstanden die ersten Computerprogramme, welche mit Hilfe eines digitalen Höhenmodelles innerhalb eines geographischen Informationssystems (GIS) die Permafrostverbreitung abschätzen konnten. Diese benutzten hierzu praktisch ausschliesslich Teile der von (Haeberli 1975) publizierten Faustregeln (Keller 1992).

Innerhalb des nationalen Forschungsprogrammes Nr. 31 über Klimaveränderungen und Naturkatastrophen entstand als Syntheseprodukt die glaziologische Karte Julier-Bernina (Keller et al. 1998). Im Massstab 1:60'000 sind darin die modellierte Permafrostverbreitung, die Blockgletscher-Kriechformen, die Gletscher um 1850 und heute sowie die postglazialen und historischen Gletschermoränen dargestellt. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass sich dieses Instrument für die Früherkennung von Permafrost in Zusammenhang mit Naturgefahren und Bauten im Hochgebirge gut eignet (Keller 2007).

Nach dem Hitzesommer 2003 wurden erstmals für den ganzen Schweizer Alpenraum indexbasierte Karten gerechnet (BAFU 2007) **[1]**. Der Vorteil solcher Karten besteht darin, dass dieser Index für weiterführende Analysen wie z.B. Identifikation von kritischem Baugrund, Einflüsse von Klimaveränderungen, Beurteilung von Murgangdispositionen weiter verwendet werden kann und damit eine vernetzte Betrachtungsweise unterstützt wird (Keller et al. 2011). **[ABB.3]** zeigt einen Ausschnitt dieser Karte oberhalb von Zermatt. Demnach befinden sich verschiedene Transportanlagen sowie die dazugehörende Infrastruktur wie z.B. Wasserleitungen im mutmasslichen Permafrost. Dank solchen Karten können denkbare Permafrosteinflüsse lange bevor Probleme auftreten erkannt und angegangen werden.

Fallbeispiel Pioniergemeinde Pontresina

«Klug ist, wer nicht durch Schaden klug wird». Dies hatte sich möglicherweise bereits 1882 der Hotelier Zambail gedacht, als er in Pontresina die ersten Lawinen- und Rüfenverbauungen initialisierte. Zahlreiche Verbauungen entstanden seither, bis sich 1989 die Aufmerksamkeit auf den Permafrost richtete. Oberhalb von Pontresina zeigt die Permafrosthinweiskarte ein begrenztes Permafrostvorkommen **[ABB.4]**. Die Temperaturen in dem bis über 30 m mächtigen Schutt liegen seit Beginn der Messungen (1990) nahe beim Schmelzpunkt. Es war mit einem zunehmenden Auftauen in den nächsten Jahren zu rechnen. Die beteiligten Schuttmassen führten im bisher unverbauten Lawinenanrissgebiet zur Identifikation einer bisher nicht erkannten Murganggefahr (Haeberli et al. 1999). Um Gäste und Einheimische auf die Zusammenhänge zwischen den Naturgefahren und dem Klimawandel zu sensibilisieren, realisierte die Engadiner Naturforschende Gesellschaft zusammen mit dem WWF Schweiz 1998 den ersten Klimaerlebnispfad «auf den Spuren des Klimawandels», welcher durch das Permafrostgebiet durchführt **[2]**. 2003 reagierte dann der renommierte Bergsteigerort als eine der ersten Gemeinden des Alpenraumes auf die globale Erwärmung des Permafrostes mit dem Bau spezieller Auffangwerke (Keller 2004) **[ABB.2]**. Bis heute ist das Dorf dank den über 20 km langen Bauwerken und dem neuen Damm von grösseren Katastrophen verschont geblieben und wurde tatsächlich ohne Schaden klug.

[1] Frei zugänglich unter: http://map.geo.admin.ch (Environment, biology and geology → natural risks
[2] Vgl. hierzu www.klimaweg.ethz.ch oder www.climatetrail.ethz.ch

Schon früh beschäftigte sich somit Pontresina mit den möglichen Folgen von Klimaveränderungen und kann rückblickend als Pioniergemeinde in Sachen Permafrost, Rüfen- und Lawinenschutz bezeichnet werden. Nach wie vor ist es nicht selbstverständlich, dass Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren vor dem Eintreffen von grossen Unglücken realisiert werden können. Mit Permafrosthinweiskarten können solche Situationen frühzeitig erkannt und mit geeigneten Untersuchungsmethoden genau abgeklärt werden.

Fazit und Ausblick

Permafrost ist eine weitverbreitete Erscheinung in den Alpen oberhalb 2000 m.ü.M. und daher in Zusammenhang mit dem ganzen alpinen Lebensraum zu sehen. Im Zusammenhang mit der globalen Erwärmung beeinflusst auftauender Permafrost verschiedene Naturgefahren. Während im Lockerschutt aufgetaute Schuttmassen die Frachten von Murgängen erhöhen, ist im Felspermafrost mit mehr Steinschlag und an instabilen Stellen mit Bergstürzen zu rechnen. Permafrosthinweiskarten sind hierzu nützliche Hilfsmittel für die Früherkennung. Damit steht ein weiteres Werkzeug für die Bewältigung der immer stärker sichtbar werdenden Auswirkungen der globalen Erwärmung auf den Alpenraum bereit, was uns jedoch nicht von der Verantwortung über die verursachenden Prozesse gegenüber unseren Nachkommen entbindet.

Die Früherkennung von Permafrost wird zurzeit in der Schweiz vorangetrieben. So wurden im Jahre 2007 für den gesamten schweizerischen Alpenraum Hinweiskarten mit der modellierten Permafrostverbreitung auf der Landeskarte 1:50'000 fertiggestellt. Damit kann landesweit Permafrost frühzeitig erkannt und unbegründete Ängste abgebaut werden.

LITERATUR

BAFU (2007). *Hinweiskarte der potentiellen Permafrostverbreitung in der Schweiz.* Bern, Bundesamt für Umwelt, http://map.geo.admin.ch

Davies, M., O. Hamza und C. Harris (2001). *«The effect of rise in mean annual temperature on the stability of rock slopes containing ice-filled discontinuitites.»* Permafrost and Periglacial Processes 12(1): 137–144.

Gruber, S., M. Hoelzle und W. Haeberli (2004). *«Permafrost thaw and destabilization of Alpine rock walls in the hot summer of 2003.»* Geophysical Research Letters 31 (L13504).

Haeberli, W. (1975). *Untersuchungen zur Verbreitung von Permafrost zwischen Flüelapass und Piz Grialetsch (Graubünden)*, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.

Haeberli, W., A. Kääb, M. Hoelzle, H. Bösch, M. Funk, D. Vonder Mühll und F. Keller (1999). *Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge.* Zürich, vdf Hochschulverlag ETH.

Keller, F. (1992). *«Automated mapping of mountain permafrost using the program PERMAKART within the geographical information system ARC/INFO.»* Permafrost and Periglacial Processes 3(2): 133–138.

Keller, F. (2004). *«Den Klimarisiken aktiv begegnen – Faire face de manière active aux risques climatiques.»* Zeitschrift für Landschaftsarchitektur 3/04: 30–33.

Keller, F. (2007). *Permafrost und Tourismus. Bedrohung oder Erlebnis?* Ein Freizeit und Tourismusforscher in Theorie und Praxis. Festschrift zum sechzigsten Geburtstag von Prof. Dr. Hansruedi Müller. Berner Studien zu Freizeit und Tourismus. F. Team. Bern. 60: 81–94.

Keller, F., W. Haeberli, M. Maisch und R. Frauenfelder (1998). *Glaziologische Karte Julier-Bernina (Oberengadin).* Zürich, vdf, Hochschulverlag an der ETH.

Keller, F., J. Meilwes und C. Rothenbühler (2011). *«Kompetenzen und Herausforderungen der Geomorphologie am Beispiel entscheidungsorientierter Anwendungen im Hochgebirge.»* Zeitschrift für Geomorphologie 55 (Suppl. 3): 261–278.

KONTAKT

Höhere Fachschule für Tourismus Graubünden,
Dr. Felix Keller, Quadratscha 18, 7503 Samedan
Tel. 081 851 06 27

RÉSUMÉ

Cartographie du pergélisol et applications pratiques

Depuis que le grand public a pris conscience des implications du changement climatique, les cartes indicatives du pergélisol suscitent un intérêt croissant. A cet égard, il est primordial de détecter la présence de pergélisol le plus tôt possible. Au début des années 1990 sont apparus les premiers logiciels capables d'évaluer l'étendue du pergélisol à l'aide d'un modèle numérique de terrain intégré à un système d'information géographique (SIG). Ces programmes utilisaient presque exclusivement certaines des règles empiriques énoncées dès 1975 par Wilfried Haeberli. Suite à la canicule de 2003, des cartes indicatives du pergélisol indexées ont été établies pour tout l'espace alpin suisse et publiées sous map.geo.admin.ch. Cela permet par exemple d'évaluer sommairement différentes infrastructures de transport et leur équipement (conduites d'eau, etc.) sous l'angle du pergélisol. Un autre avantage de ces cartes réside dans le fait que les indices calculés peuvent aussi être utilisés pour des analyses plus spécifiques (identification des sols de fondation critiques, influences des changements climatiques, appréciation des risques de laves torrentielles, etc.), ce qui favorise une approche plus globale de la situation.