Klimaänderung und Naturgefahren in Graubünden

Christoph Marty WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (CH)*
Marcia Phillips WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (CH)
Michael Lehning WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (CH)
Christian Wilhelm Amt für Wald Graubünden (CH)
Andreas Bauder Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie, ETH Zürich (CH)

Climate change and natural hazards in the Grisons

On account of the current global warming, climate researchers warn of a possible increase in the frequency and magnitude of extreme weather conditions in the future. As an alpine canton, the Grisons are particularly exposed to such events. In the article, the effects of climatic change on large avalanches, floods, mud avalanches, landslides and rock falls are discussed, together with the thawing of permafrost and the melting of glaciers. In the case of large avalanches, thanks to present scientific knowledge and existing protective structures, a greater danger is not necessarily to be feared. However, where floods and mud avalanches are concerned, the situation is somewhat different: there is a greater likelihood of an increased frequency of more severe events in the future. In addition, the potentially endangered zones are larger and more difficult to protect. For such events, therefore, the potential for prevention and damage reduction is significantly higher. The future risk of rock falls and landslides is more difficult to predict. These are highly dependent on the local geology and the necessary understanding of the processes involved is still far from complete. Permafrost degradation and the disappearance of many small glaciers will create new sources of danger and hence increase yet again the risk of floods, mud avalanches and rock falls. The responsible authorities in Canton Grisons are aware of these hazards and lay emphasis on the documentation of events, the establishment of systems of measurement and of information, on warning systems and the application of damage reducing measures on site.

Keywords: climate change, natural hazards, Alps, prevention measures, protection
doi: 10.3188/szf.2009.0201

* Flüelastrasse 11, CH-7260 Davos, E-Mail marty@slf.ch

Naturereignisse, wie Lawinen, Hochwasser und Murgänge, gehören seit Menschengedenken zu unserem Lebensraum in den Alpen. Zur Gefahr werden sie durch die Bedrohung von Menschenleben und Sachwerten. Mit Massnahmen wie Aufforstungen und Verbauungen konnte die Gefährdung in den letzten Jahrzehnten eingedämmt werden. Trotz vielen Schadenereignissen hat die Zahl der Todesopfer klar abgenommen. Sachschäden und Schadenpotenzial sind aber stark angestiegen, weil durch das starke Siedlungswachstum und die gestiegene Mobilität in den letzten 50 Jahren zunehmend auch gefährdete Räume intensiver beansprucht wurden. Einzig in einigen abgelegenen Talschaften findet eine Abwanderung statt, wodurch exponierte Gebäude teilweise weniger benutzt werden.

Da grössere Naturereignisse selten und unregelmässig auftreten, ist es schwierig, anhand der Vergangenheit bereits einen Einfluss der Klimaänderung nachzuweisen, jedoch ebenso wenig lässt sich ein solcher ausschliessen (Frei & Schär 2001). Ziemlich sicher wird sich das Klima in Zukunft immer weniger in den gewohnten Bahnen abspielen. Klimamodelle zeigen, dass aufgrund der weiteren Zunahme von Treibhausgasen und der damit einhergehenden Intensivierung des Wasserkreislaufs in Zukunft mit einer Häufung von Extremereignissen gerechnet werden muss (Beniston et al 2007). Die Zusammenhänge zwischen Klimaänderung, Extremereignissen und Naturgefahren wurden bereits früh erkannt (Nagef 2002).

Aufgrund der erwarteten klimatischen Veränderungen muss im Alpenraum bis Mitte des 21. Jahrhunderts mit einer weiteren Erwärmung um 1.0 bis 3.5 °C gerechnet werden (Abbildung 1). Dabei werden sich die Jahreszeiten nur wenig unterscheiden, und regionale Erwärmungsunterschiede werden kleiner sein als der abschätzbare Unsicherheitsbereich. Gleichzeitig werden die Winterniederschläge um bis zu 20% zunehmen und die Sommerniederschläge um 5 bis 30% abnehmen (OcCC 2007). Wie sich diese prognostizierten Veränderungen auf Naturereignisse auswirken, hängt unter anderem davon ab, wie stark die Klimaerwärmung ausfallen wird. Beim Schmelzen von Permafrost zum Beispiel

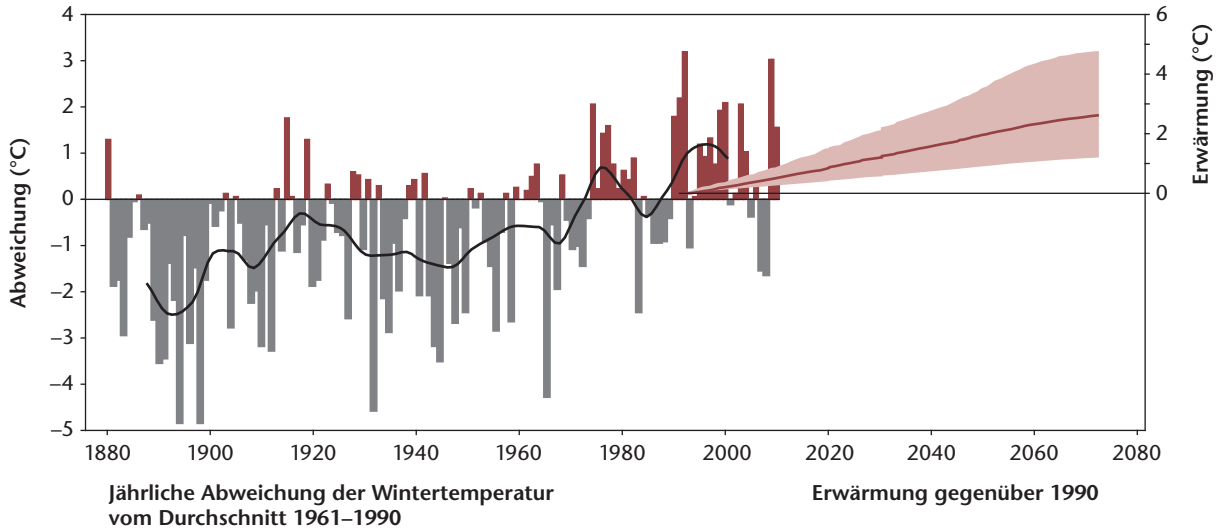


Abb 1 *Entwicklung der mittleren Temperatur im Winter (Dezember bis Februar) in Davos. Graue und rote Säulen: Abweichung der gemessenen Temperaturen in den Wintern 1877–2008 vom Durchschnitt der Jahre 1961–1990 (linke Skala). Schwarze Kurve: Gauss-Filter über 20 Jahre. Rote Linie: erwartete Erwärmung bis 2070 gegenüber 1990 (rechte Skala) gemäss OcCC (2007). Die hellrote Fläche zeigt den 95%-Unsicherheitsbereich der künftigen Erwärmung, unter anderm für den Fall, dass keine rasch wirksamen Massnahmen zur Einschränkung der Treibhausgasemissionen umgesetzt werden.*

ist die Dauer einer Wärmeperiode viel entscheidender als der Temperaturmaximalwert. Das Verhalten der Gletscher wird über die Schneefallmengen über das Jahr sowie die Dauer und Intensität der Schnee- und Eisschmelze im Sommer gesteuert. Beim Gerinneabfluss hingegen ist die maximale Höhe des Abflusses massgebend.

Als Alpenkanton ist Graubünden speziell von den erwarteten Veränderungen betroffen. Im Folgenden werden am Beispiel der wichtigsten Prozesse, wie Grosslawinen, Überschwemmungen, Murgänge, Hangrutschungen und Felsstürze sowie des auftauenden Permafrosts und schmelzender Gletscher, die möglichen Folgen dieser Veränderungen diskutiert. Nicht eingegangen wird auf die Gefahren durch Stürme, Trockenheit, Eislawinen und Waldbrände. Viele Beispiele stammen aus dem Kanton Graubünden. Die allgemeinen Aussagen gelten aber auch für andere Kantone. Zum Schluss wird aufgezeigt, welche Massnahmen der Kanton Graubünden ergreift, um die Naturgefahren einzudämmen.

Grosslawinen

Ohne Schnee keine Lawinen. Schneemächtigkeit, Schneefallintensität, Schneefalldauer, Schneebeschaffenheit, aber auch meteorologische Parameter wie Windstärke, Temperatur und Regen sind massgebende Faktoren für spontan abgehende, bis weit in die Täler vordringende Lawinen. Für solche Grosslawinen spielt die allgemeine Witterung während des Winters nur eine untergeordnete Rolle. Entscheidend sind vor allem die Wetterverhältnisse wenige Tage bis Stunden vor dem Niedergang. Hauptauslöser für spontane Grosslawinen sind entweder intensive, lang anhaltende Schneefälle, verbunden mit starken Schneeverfrachtungen (Beispiel Februar 1999 mit zahlreichen Schadenlawinen auch in Graubünden), oder eine rasche, markante Erwärmung mit Regen bis in grosse Höhen (Abbildung 2).



Abb 2 *Usser-Chinn-Lawine vom Gatschiefer ins Schwaderloch (Klosters, Graubünden) vom 22. April 2008. Die Gebäude im Talboden blieben verschont – wahrscheinlich dank dem nach dem Lawinenwinter 1999 gebauten Ablenkdamm. Eine Wärmeperiode im April 2008 mit Regen bis in grosse Höhen verursachte innerhalb von zwei Tagen viele solcher Nassschneelawinen.* Foto: Christian Wilhelm

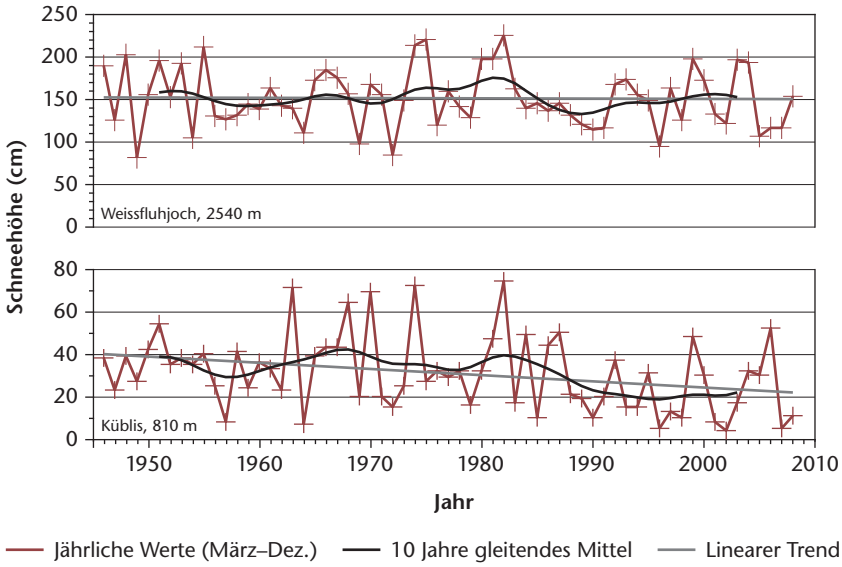


Abb 3 *Während die mittlere Schneehöhe von Dezember bis März in Küblis (810 m ü. M.) in den letzten 60 Jahren von rund 40 auf 20 cm klar abgenommen hat, beträgt die mittlere Schneehöhe auf dem Weissfluhjoch (2540 m ü.M.) unverändert rund 150 cm.*

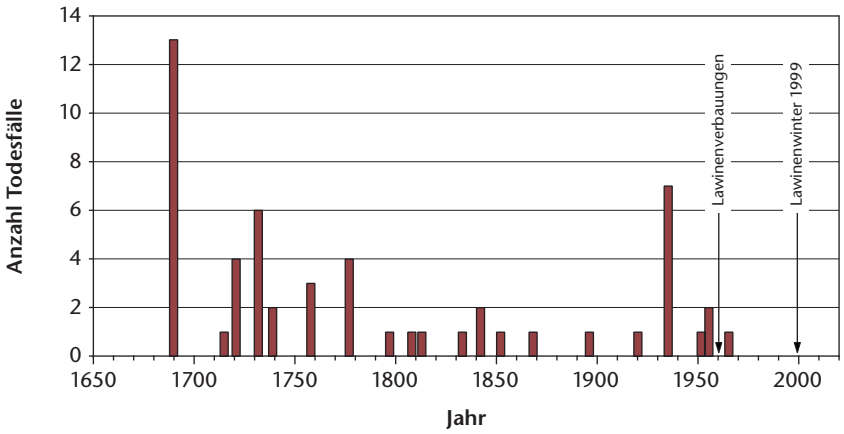


Abb 4 *In der Talschaft St. Antönien ereigneten sich über die Jahrhunderte immer wieder Todesfälle infolge von Lawinen. Seit der Erstellung von ausgedehnten Lawinenverbauungen um 1960 gab es nur noch ein Todesopfer. Im Lawinenwinter 1999 waren trotz sehr grosser Lawinenaktivität keine Todesopfer zu beklagen. Das Risiko konnte also dank den Verbauungen stark reduziert werden (Darstellung verändert nach Wilhelm 1999a).*

Während die Zahl der Tage mit Schneebedeckung in tieferen Lagen in den letzten Jahrzehnten massiv abgenommen hat (Marty 2008), ist in höheren Lagen bis jetzt kein Trend ersichtlich (Abbildung 3). Wenn die Temperaturen im Winter aufgrund der Klimaerwärmung weiter zunehmen, verkürzt sich die Dauer der Schneebedeckung und damit die zeitliche Periode, in der Lawinenniedergänge zu erwarten sind, auch in höheren Lagen. Diese Veränderungen dürfen aber nicht direkt in Verbindung gebracht werden mit der Zahl von Schadenlawinen, die im Laufe eines Jahres an einem bestimmten Ort niedergehen können. Die absehbare Klimaänderung wird nichts daran ändern, dass Lawinen auslösende, nur wenige Tage andauernde Wettersituationen auch künftig vorkommen werden. Vielleicht wird die Lawinentätigkeit sogar zunehmen, weil die intensiveren Niederschläge in den höher gelegenen Anrissgebieten von Grosslawinen weiterhin als Schnee fallen und die vermehrten Winterstürme eventuell mehr Schnee verfrachten werden.

Eindeutige Prognosen zur Veränderung der Lawinenaktivität als Folge der Klimaänderung liegen also nicht vor. Trotz allgemeiner Abnahme der Schneemengen wird die Gefahr für Grosslawinen nicht unbedingt abnehmen. Die positive Wirkung der Lawinenverbauungen zur Verhinderung von Grosslawinen, wie zum Beispiel in St. Antönien, Vals, Davos und Pontresina, ist eindrücklich nachweisbar (Abbildung 4). Dieser Effekt ist im Vergleich zu den unsicheren Auswirkungen der Klimaänderung auf Lawinen absolut dominierend.

Überschwemmungen und Murgänge

Hochwasser wirken je nach Art des Gewässers unterschiedlich. In Wildbachsystemen wird Erd- und Geröllmaterial mitgerissen, wodurch es zu Erosion und Murgängen kommen kann. Bei Gewässern weiter unten im Tal hingegen führen Hochwasser vor allem zu Überschwemmungen, aber auch hier können Ufer und Sohlen von Gewässern erodieren oder unterspült werden. Bei eingedämmten Flüssen können die Dämme brechen, was zu weiträumigen Überschwemmungen führen kann. Hochwasserschäden werden vor allem von drei Wetterereignissen verursacht: lang anhaltenden Regenfällen (oft kombiniert mit der Schneeschmelze), grossräumigen Starkniederschlägen oder kurzzeitigen, örtlichen Starkniederschlägen während Gewittern. Diese drei Ereignistypen beeinflussen auch die damit einhergehenden Prozesse. Neben dem Wasser selbst sind vor allem Geschiebe und andere Feststoffe, wie beispielsweise Schwemmholz, für Schäden verantwortlich. Das Hochwasser vom August 2005 in Klosters wurde beispielsweise durch eine Kombination von anhaltenden, intensiven Niederschlägen, verstärktem Abschmelzen von Schnee und massiven Geschiebe- und Feststofftransporten verursacht (Abbildung 5).

Die Klimaänderung wird zu höheren Niederschlagsintensitäten führen. Die erwartete Zunahme der Niederschläge im Winter wird zu regionalen und saisonalen Verschiebungen der Abflüsse führen (OcCC 2003). Bei fehlender oder bereits wassergesättigter Schneedecke werden intensive Regenfälle unmittelbarer abfliessen. Die intensiveren Regenfälle werden zudem zu verstärkter Erosion führen, was wiederum einen Einfluss auf den Geschiebetransport hat und die Murgangbildung begünstigt.

Winterliche Hochwasserereignisse werden mit grosser Wahrscheinlichkeit häufiger vorkommen, und die Unwettersaison wird sich sowohl in den Spätwinter als auch in den Spätherbst ausdehnen (Frei et al 2006, OcCC 2007). Als konkretes Beispiel werden in Abbildung 6 aktuelle und für die zweite



Abb 5 *Grossflächige Überschwemmungen in Klosters im August 2005 mit ausserordentlichen Erosionen und Geschiebeverfrachtungen.* Foto: Christian Wilhelm

Hälfte des 21. Jahrhunderts erwartete Abflusskurven für das Einzugsgebiet des Inn in Graubünden mit einer Fläche von 1945 km² gezeigt (Bavay et al 2009). Die zukünftige Abflussganglinie basiert auf dem B2-Szenario des UNO-Klimarates (IPCC WG III 2000), welches von einem gemässigten CO_2-Anstieg ausgeht. Dabei werden zwei Haupteffekte deutlich: Erstens wird sich die Schneeschmelze auf einen kurzen Zeitraum im Frühjahr konzentrieren, was sich am ausgeprägten Spitzenabfluss im Mai/Juni in der Abflusskurve zeigt. Zusätzliche Niederschläge während dieser Zeit werden die Gefahr für Hochwasser erhöhen. Zweitens wird in Zukunft im Herbst viel mehr Niederschlag in Form von Regen anstelle von Schnee fallen, was ebenfalls zu Spitzenabflüssen und der Gefahr von Hochwasser führen wird. Ebenfalls sichtbar sind die trockeneren Sommer. Trotzdem muss auch in dieser Jahreszeit weiterhin (eventuell sogar vermehrt) mit konvektiven Starkniederschlägen gerechnet werden. Diese werden vor allem auf stark ausgetrockneten Böden schnell zu grösseren Wasserabflüssen führen, da die Wasseraufnahmefähigkeit solcher Böden kurzfristig stark begrenzt ist. Überschwemmungen aufgrund von Starkniederschlägen werden vor allem in kleineren Einzugsgebieten zunehmen. Möglicherweise kommt es auch zu vermehrten Murgängen, auch an Orten, welche bis anhin unbehelligt waren. Prozesse wie Überschwemmungen, Ufererosion und Murgangbildung können vor allem im Sommer auch durch das Schmelzen von Permafrost und Gletschern häufiger werden (siehe Kapitel «Auftauender Permafrost und schmelzende Gletscher»).

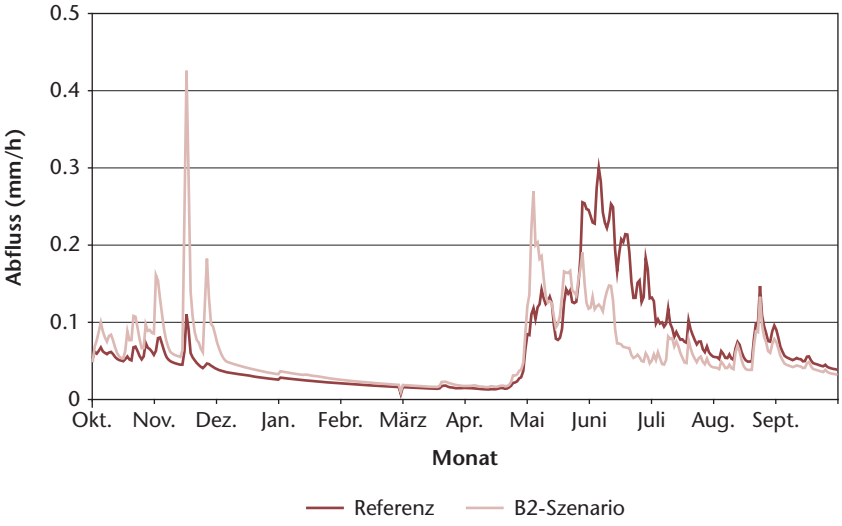


Abb 6 *Aktuelle Abflusskurve (Referenz 2002–2006) und prognostizierte Abflusskurve für die Jahre 2071–2100 für das Einzugsgebiet des Inn in Graubünden. Die zukünftige Abflussganglinie basiert auf dem B2-Szenario (IPCC WG III 2000), welches von einem gemässigten CO_2-Anstieg ausgeht.*

Hangrutschungen und Felsstürze

Hangrutschungen und Felsstürze sind hangabwärts gerichtete Massebewegungen aus Locker- oder Felsmaterial. Sie treten in ganz verschiedenen Formen auf: entweder als kontinuierliche, über Jahre bis Jahrzehnte andauernde Kriechbewegungen oder als spontane Abbrüche. Entscheidend sind die topografischen, geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse eines Gebietes. Bereits kleinere Hangrutschungen können lokal verheerende Auswirkungen haben, weil sie wie im Fall von Schlans (Graubünden) im November 2002 zu einem Murgang führen können (Hefti 2009, in diesem Heft). Wasser oder Eis sind in der Regel die treibende oder unmittelbar auslösende Kraft von Felsstürzen. Poren- und Kluftwasserdrücke, die enorme Ausmasse annehmen können, sprengen die betroffenen Gesteine ab. Nachdem beispielsweise im April 2008 doppelt so viel Niederschlag gemessen wurde wie im Durchschnitt, sind Anfang Juni 2008 in Brusio im Puschlav grosse Felsblöcke abgestürzt und haben die Linie der Rhätischen Bahn (RhB), die Kantonsstrasse und eine Liegenschaft beschädigt (Abbildung 7).

Da Wasser bei Hanginstabilitäten ein entscheidender kausaler und auslösender Faktor ist, wirken sich vor allem die aufgrund der Klimaänderung zu erwartenden wärmeren und niederschlagsreicheren Winter destabilisierend aus. Unterhalb von 1000 m ü. M. wird während der verdunstungsarmen Jahreszeit viel Wasser in den Boden eindringen. Dadurch sättigt sich der Untergrund bereits vor der Zeit der Schneeschmelze mit Wasser und wird vielerorts instabiler (OcCC 2003). In hochalpinen Lagen wird



***Abb 7** Eindrückliche Folgen von Blockschlag in Brusio im Juni 2008 nach einem niederschlagsreichen Frühjahr.* Foto: Gilbert Berchier



***Abb 8** Felsabbruch an der Nordostflanke des Piz Balzet, 2869 m ü. M., im Bergell. Ein Ereignis, wie es im heissen Sommer 2003 auch an anderen Alpengipfeln beobachtet werden konnte. Ob in diesem Fall schmelzender Permafrost der auslösende Faktor war, ist unbekannt.* Foto: Felix Keller

das intensivere Schmelzen von Gletschern und Permafrost zu neuen rutsch- oder sturzgefährdeten Zonen führen, weil die Stützung der Hänge durch Gletscher oder der Zusammenhalt durch Permafrost fehlen (OcCC 2007). Besonders betroffen sind vor allem geologisch ungünstig disponierte Gebiete, in denen Flysch- und Molassegesteine, alpine Schiefer oder feinkörniger Gehängeschutt dominieren. Zudem können Hanginstabilitäten, die bereits seit langer Zeit bestehen, durch den erhöhten Wasserdruck reaktiviert werden.

Auftauender Permafrost und schmelzende Gletscher

Permafrost und Gletscher sind an sich keine Naturgefahren, werden hier aber miteinbezogen, weil das Auftauen von Permafrost und das Schmelzen von Gletschern zum Entstehen der oben beschriebenen Prozesse beitragen können. Da Permafrostböden oft Eis enthalten, können Stabilitätsverluste eintreten, falls sich das Permafrosteis erwärmt oder gar schmilzt. Somit können bei andauernd hohen Lufttemperaturen oder intensiven Niederschlägen in Permafrostgebieten Naturereignisse wie Steinschlag oder Murgänge entstehen. Der extrem warme Sommer 2003 verursachte eine Häufung von Steinschlagereignissen in höheren Lagen (Abbildung 8), die zum Teil auf auftauenden Fels-Permafrost zurückzuführen waren. Am häufigsten jedoch treten aufgrund solcher Wärmeperioden in eishaltigen Böden langsamere Ereignisse, wie Kriechbewegungen oder Setzungen, auf. Diese bedeuten eine technische Herausforderung für Bauten, die direkt im Permafrost verankert sind.

Permafrostböden reagieren unterschiedlich schnell auf eine äusserliche Veränderung wie beispielsweise höhere Lufttemperaturen durch die Klimaerwärmung. Hangneigung, Strahlung, Schneebedeckung, Eisgehalt und Oberflächenbeschaffenheit sind mitentscheidend. In Abbildung 9 sind die Temperaturverläufe in zehn Metern Tiefe in verschiedenen Bohrlöchern in Graubünden dargestellt. In dieser Tiefe sind oberflächennahe Einflüsse, wie beispielsweise tägliche Temperaturschwankungen, ausgeschlossen. Die Reaktionszeit auf die saisonalen Einflüsse an der Bodenoberfläche beträgt etwa sechs Monate. Das heisst, dass das Signal vom Sommer erst im Laufe des nächsten Winters registriert wird. Die Bodentemperaturen werden durch die Lufttemperatur und die Schneedecke entscheidend beeinflusst. Beide Parameter variieren von Jahr zu Jahr stark. Die räumliche und zeitliche Verteilung der Schneedecke spielt eine sehr wichtige Rolle, da der Schnee je nach Jahreszeit und Mächtigkeit entweder eine isolierende oder eine kühlende Wirkung haben kann (Luetschg et al 2008). In Lagen mit Permafrost kann der Boden mehr als neun Monate des Jahres mit Schnee bedeckt sein. In diesen Höhen können aus den langjährigen Schneemessreihen des WSL-Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) bis heute keine Trends betreffend Winterschneedecke erkannt werden (Abbildung 3).

Die höheren Temperaturen verursachen aber eine intensivere Schmelze der hochalpinen Schneedecke im Frühsommer. Der Rückgang dieses Schutzmantels beschleunigt den Gletscherrückzug, was sich

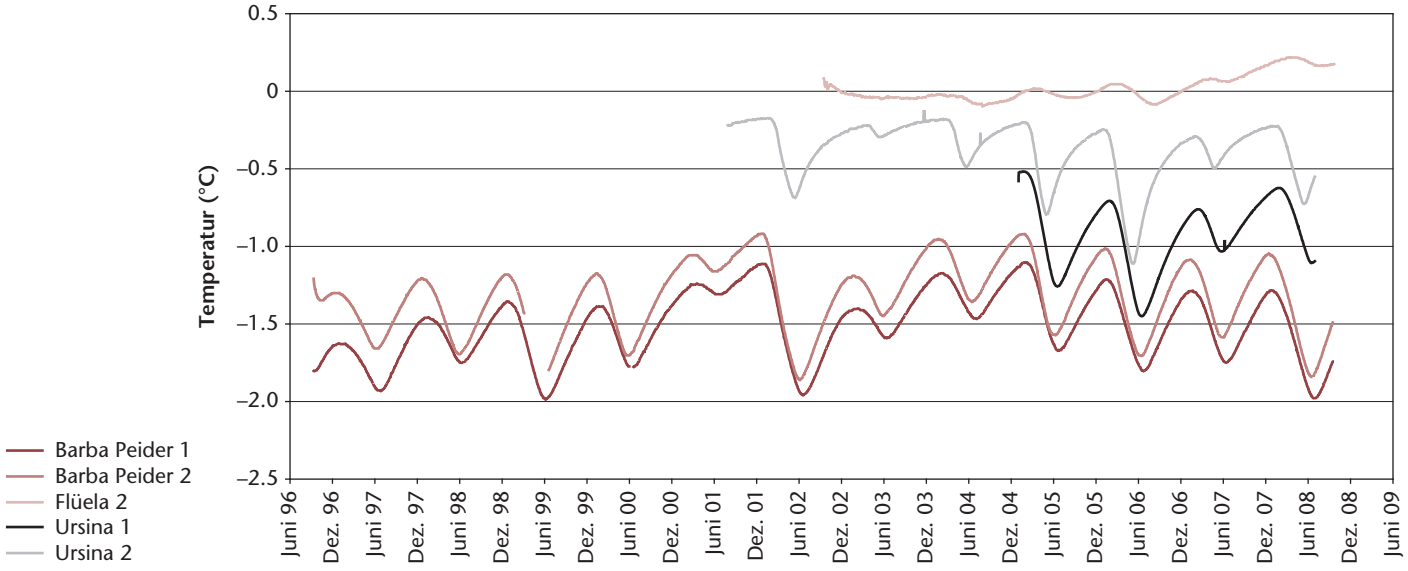


Abb 9 Permafrosttemperaturen in zehn Metern Tiefe in fünf Bohrlöchern im Kanton Graubünden (in einer Schutthalde am Flüelapass sowie oberhalb von Pontresina in einem Blockgletscher [Foura da l'amd Ursina] und in einer Schutthalde [Muot da Barba Peider]).

wiederum negativ auf die Stabilität von Moränen und Felswänden auswirken kann. Da 90% der Gletscher in Graubünden kleiner als ein Quadratkilometer sind, wird dieser Rückzug besonders augenfällig (Abbildung 10). Viele kleine Gletscher werden in den nächsten Jahrzehnten verschwinden (Bauder & Funk-Salami 2009). Dieser Vorgang führt manchmal auch zur Bildung von neuen Seen im Gletschervorfeld. Diese Seen stellen aufgrund der häufig instabilen Ufer und grossen Wasserstandsschwankungen eine neue Gefahr dar, weil ausbrechende Wassermassen mit grosser Wahrscheinlichkeit zu Murgängen und Überschwemmungen führen. Durch Eisschmelze kann sich Wasser aber auch im Gletscher stauen und abrupt ausbrechen, wie das etwa im heissen Juli 2006 beim Vadret da L'Alp Ota im Val Roseg oberhalb von Pontresina geschehen ist. In der Folge erodierte das ausbrechende Wasser viel Geröll vom Gletscherumfeld und führte an einem schönen Sommertag zu einem gewaltigen Murgang, der eine Person auf einem Wanderweg erfasste und tödlich verletzte.

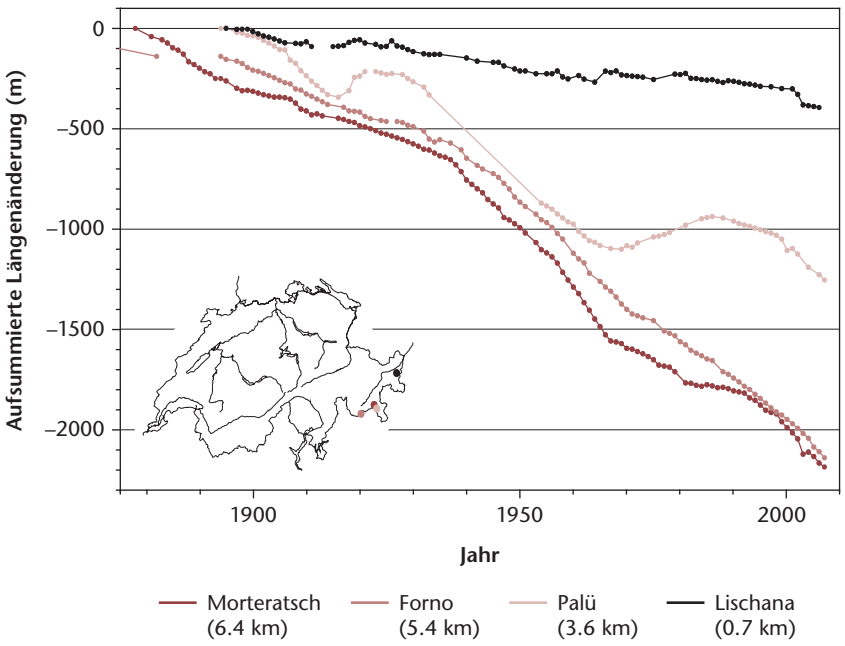


Abb 10 Vier Bündner Gletscher mit unterschiedlichem Anpassungsverhalten der Gletscherzunge. Der mittelgrosse Vadret da Palü verzeichnete Vorstösse um 1890, 1920 und 1980. Die grösseren und trägeren Vadret del Forno und Vadret da Morteratsch reagierten dagegen wenig auf das schwankende Klima: Seit 1880 haben sie sich ausschliesslich zurückgezogen. Die Zunge des kleinen Vadret da Lischana zeigt aufgrund fehlender Fliessdynamik keine ausgeprägte Reaktion auf Klimaeinflüsse. Kleine Gletscher passen sich ohne Verzögerung und grössere Schwankungen den klimatischen Verhältnissen an. Viele werden in den nächsten Jahrzehnten verschwinden.

Weiter ist zu beachten, dass grobblockiges Lockermaterial (z.B. in Schutthalden oder Blockgletschern) an Steilhängen mit einer Neigung von mehr als 38 Grad nur stabil ist, solange die Hohlräume mit Eis durchsetzt sind. Diese Stabilität ist zum Beispiel in der Runse Val Giandains oberhalb von Pontresina nicht unbedingt gewährleistet. Dort befindet sich eine steile, eisreiche Blockgletscherzunge, die etwa einen Zentimeter pro Jahr talwärts kriecht (Phillips et al 2006). Da der Einfluss der Erwärmung und intensive, anhaltende Niederschläge zur Bildung eines Murgangs führen könnten, wurde 2003 unterhalb dieser Runse ein Schutzdamm gebaut (Keller et al 2002; Abbildung 11).

Beobachtung von Naturgefahren und Risikomanagement

Um die Schäden durch Naturgefahren zu begrenzen, betreibt das Amt für Wald des Kantons Graubünden seit Jahren ein integrales Risikomanagement. Dazu gehören die Umweltbeobachtung und die Ereigniserfassung. Der kantonale Forstdienst ist nicht nur im Wald, sondern im Zusammenhang mit Lawinen- und Steinschlagverbauungen auch im alpinen Gelände tätig. Deshalb ist es naheliegend,



Abb 11 *Schutzdämme gegen Murgänge und Lawinen aus einem permafrostdurchsetzten Einzugsgebiet oberhalb von Pontresina.*
Foto: Marcia Phillips

dass er auch mit der Erfassung von Lawinen, Steinschlag, Rutschungen und Murgängen betraut wurde. Da Informationen über Ereignisse und Veränderungen in der Umwelt äusserst wertvoll für die Ausarbeitung von Schutzkonzepten sind, erfassen und beschreiben die Revierförster seit 2002 jährlich rund hundert Ereignisse vor Ort. Sicherungsdienste des Tiefbauamtes und der Rhätischen Bahn (RhB) erfassen zusätzliche Ereignisse, welche in einer gemeinsamen Datenbank (StorMe) gespeichert werden. Via Internet können die Daten von Sachverständigen eingesehen und für Entscheidungen bezüglich Sperrung von Verkehrsträgern oder die Beurteilung von akuten Gefahren- und Unwettersituationen sowie für die Erstellung von Gefahrenkarten verwendet werden. Der Erfassungszeitraum ist jedoch noch zu kurz, als dass ein Trend bei den Naturgefahrenereignissen in Graubünden nachzuweisen wäre.

Seit 125 Jahren erfasst der Forstdienst die Längenänderung von 22 Gletschern auf Kantonsgebiet. Diese Aufzeichnungen sind Teil der jeweils Ende Sommer schweizweit durchgeführten Erhebungen.[1] Rückzüge oder Vorstösse der Eismassen werden vermessen und mit Fotos dokumentiert. Bei manchen Gletschern ist die Vermessung schwierig geworden, da ihre Zungen zunehmend mit Geröll bedeckt sind oder sich in Steilstufen zurückgezogen haben.

Zum Umweltmonitoring und damit zur Schadensbegrenzung gehört auch das Engagement des Kantons im Interkantonalen Mess- und Informationssystem IMIS. In Zusammenarbeit mit dem SLF wurden auf dem Kantonsgebiet seit 1996 20 automatische Schnee- und Wettermessstationen errichtet (Abbildung 12). Die Daten zu Schneehöhe, Niederschlag, Wind, Strahlung und Temperatur werden online übertragen und benutzerfreundlich aufbereitet. Sie dienen unter anderem den Gemeinden und Tiefbauämtern als Entscheidungsgrundlage, um in Gefahrensituationen Siedlungsgebiete zu evakuieren und Verkehrswege zu sperren. Für das SLF sind die Daten eine wichtige Grundlage für die Lawinenwarnung, und dem Amt für Wald dienen sie für die Planung von Schutzbauten. Mittel- und längerfristig sind diese Daten auch sehr wertvoll, um die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schnee- und Wettersituation im regionalen Kontext zu beurteilen. Das Unwetter von 2005 hat allerdings gezeigt, dass weitere Stationen und Messungen zu Niederschlag und Abfluss dringend benötigt werden.

Verschiedene Forschungsinstitutionen analysieren Bodentemperaturen und Hangdeformationen in Permafrostgebieten. Viele dieser Messungen sind Teil des Messnetzes «Permafrost Monitoring Schweiz» (Permos)[2]. Um die komplexen Zusammenhänge zwischen Klima und Untergrund zu verfolgen, ist es wichtig, dass lange Messreihen mit einer hohen Datenqualität gesichert werden. Der Kanton unterstützt dieses Permafrostmonitoring in Graubünden.

Die Antwort auf Veränderungen der Gefahrensituation

Um für die beschriebenen Veränderungen noch besser gerüstet zu sein, beinhaltet das Bündner Regierungsprogramm 2009–2012 einen Entwick-

1 Schweizerisches Gletschermessnetz: http://glaciology.ethz.ch/swiss-glaciers/ (26.4.2009).
2 www.permos.ch (26.4.2009).



Abb 12 *Im Herbst 2008 wurde am Fuss des Piz Ela oberhalb Bergüns, auf 2725 m ü. M., eine neue IMIS-Station in Betrieb genommen. Solche automatischen Messstationen werden im gesamten schweizerischen Alpenraum eingesetzt.* Foto: Daniel Lussi

lungsschwerpunkt «Klimawandel und Naturgefahren» mit folgenden vier Massnahmen:

1) Aufbau eines umfassenden Mess-, Informations- und Warnsystems,
2) Ausarbeitung von Interventionskarten,
3) Gefahrenbeurteilung für exponiertes Schadenpotenzial,
4) Instandhandhaltung von Schutzbauten mittels Schutzbautenkataster.

Die Massnahmen werden im Artikel von Reto Hefti (2009, in diesem Heft) kurz beschrieben. Hier wird nur auf das Mess-, Informations- und Warnsystem näher eingegangen.

Trotz Schutzwald, Schutzbauten und Gefahrenzonenplan verbleiben Restrisiken. Der Umgang mit diesen erfordert, dass ein Ereignis antizipiert oder ein eingetretenes – meist nicht erwartetes – Ereignis möglichst schwadenmindernd bewältigt wird. Die sach- und zeitgerechte Intervention im Ereignisfall stellt eine grosse Herausforderung dar. Entscheide von möglicherweise grosser Tragweite müssen rasch und häufig anhand von unvollständigen und unter Umständen auch widersprüchlichen Informationen gefällt werden. Gerade in alpinen Gebieten sind die Reaktionszeiten kurz und demzufolge die temporären präventiven Massnahmen sehr rasch zu ergreifen. Hinzu kommt, dass Prozesse wie Murgänge meist lebensbedrohend ablaufen und schadenmindernde Interventionen nur sehr gezielt an bestimmten Orten sinnvoll sind.

Schnell verfügbare Messdaten und Informationen sind wichtig, um rechtzeitig entscheiden und angemessen reagieren zu können. Deshalb werden ausgehend von den erwähnten IMIS-Messstationen möglichst auch alle anderen auf Kantonsgebiet bestehenden Messstellen von Kraftwerken, Meteodiensten oder Bergbahnen geprüft und soweit sinnvoll in ein flächendeckendes Netz integriert. Die Messwerte werden auf der einheitlichen und interaktiven Informationsplattform «Naturgefahren Graubünden» für verschiedene Entscheidungsträger bereitgestellt. Hinzukommen sollen aber auch aufbereitete Informationen aus verschiedenen Quellen wie Prognosen, Warnungen und Entscheidungsgrundlagen von MeteoSchweiz, dem Bundesamt für Umwelt (Bafu) und dem SLF.[3]

Wie sich ein Niederschlagsereignis auswirkt, hängt auch von der Vorgeschichte ab. War es bereits seit längerer Zeit nass oder sehr trocken? Auch Geologie, Boden, Topografie und Vegetation beeinflussen den Abfluss. Viele dieser Faktoren lassen sich zumindest grob erfassen und mit moderner Informationstechnologie zeitlich und räumlich beliebig abrufen. Sie sollen ebenfalls auf der Informationsplattform in einer Art Ampelsystem (grün, orange, rot) darstellt werden können. Doch auch wenn die neue Informationsplattform hilft, wird jedes Einzelereignis weiterhin von vielen Zufälligkeiten bestimmt (Geschiebe und Totholz im Gerinne, seitliche Rutschungen, Verklausungen). Gefragt sind deshalb immer Leute mit Lokalkenntnissen, welche die spezifische Situation vor Ort beurteilen, die lokale Gefahr einschätzen und letztlich angepasst reagieren.

Daten und Informationen sind auch wichtig zur Analyse von Unwetterereignissen im Nachhinein. Dazu sind die bestehenden Messnetze unzureichend. Langfristige Messreihen und Beobachtungen sind unabdingbar, wenn die Forschung zum Beispiel die Wirkung der Klimaänderung auf Naturgefahren genauer vorhersagen soll. Was die ersten Schneeforscher 1936 in einer Holzbaracke auf dem Weissfluhjoch Davos gemessen und initiiert haben, ist heute nützlich für die Beurteilung von langfristigen Entwicklungen. Dies ist Ansporn genug, nicht nur für uns, sondern auch für zukünftige Generationen, zu messen, zu beobachten und zu dokumentieren.

Die Forschung reagiert auf die neuen Herausforderungen. So hat beispielsweise die ETH Zürich das SLF mit der Leitung des «Swiss Experiment»[4] betraut. Dieses grosse Projekt will mit neuer und günstiger Sensortechnik, zukunftsweisender Datenverarbeitung und -speicherung sowie dank einer einfachen und ansprechenden Datennutzung eine bessere und detailliertere Beobachtung von Umweltprozessen ermöglichen (Lehning et al 2007). Das nützt zunächst dem besseren Prozessverständnis. Die neuen Technologien werden aber auch der Langfristbeobachtung dienen und dadurch helfen, die durch den Klimawandel veränderte Naturgefahrensituation besser beurteilen zu können. ■

Eingereicht: 13. Januar 2009, akzeptiert (mit Review): 26. April 2009

3 Gemeinsame Informationsplattform Naturgefahren (GIN) von MeteoSchweiz, Bafu und SLF: www.gin-info.ch (26.4.2009).
4 Swiss Experiment – Interdisciplinary Environmental Research: www.swiss-experiment.ch (26.4.2009).

Literatur

BAUDER A, FUNK-SALAMI F (2009) Gletscher und Klimawandel in Graubünden. Chur: Amt Wald Graubünden, Faktenblatt 14. 12 p.

BAVAY M, LEHNING M, JONAS T, HENNING L (2009) Simulations of future snow cover and discharge in Alpine headwater catchments. Hydrol Process 23: 95–108.

BENISTON M ET AL (2007) Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. Clim Chang 81: 71–95.

FREI C, SCHÄR C (2001) Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. J Clim 14: 1568–1584.

FREI C, SCHÖLL R, FUKUTONE S, SCHMIDLI J, VIDALE PL (2006) Future Changes of precipitation extremes in Europe. J Geophys Res 111: D06105. doi: 10.1029/2005JD005965

HEFTI (2009) Graubündens Wald im Fokus. Schweiz Z Forstwes 162: 195–200. doi: 10.3188/szf.2009.0189

IPCC WG III (2000) Emission Scenarios: Summary for Policymakers. Geneva: Intergovernmental Panel Climate Change, Special Report. 20 p.

KELLER F, HAEBERLI W, RICKENMANN D, RIGENDINGER H (2002) Dämme gegen Naturgefahren. Bau von Schutzdämmen gegen Rüfen und Lawinen in Pontresina. tec21 128 (17): 13–17.

MARTY C (2008) Regime shift of snow days in Switzerland. Geophys Res Lett 35: L12501. doi: 10.1029/2008GL033998

NAGEF (2002) Fakten und Szenarien zu Klimawandel und Naturgefahren im Kanton Bern. Bern: Arbeitsgruppe Naturgefahren Kanton Bern. 2 p.

LEHNING M, BAVAY M, LÖWE H, PARLANGE M, ABERER K (2007) Das Swiss Experiment und die Zukunft der Vorhersage von alpinen Naturgefahren. In: Hegg C, Rhyner J, editors. Warnung bei aussergewöhnlichen Naturereignissen. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 39–46.

LUETSCHG M, LEHNING M, HAEBERLI W (2008) A sensitivity study of factors influencing warm/thin permafrost in the Swiss Alps. J Glaciol 54: 696–704.

OCCC (2003) Extremereignisse und Klimaänderung. Bern: ProClim. 88 p.

OCCC (2007) Klimaänderung und die Schweiz 2050. Bern: ProClim. 172 p.

PHILLIPS M (2006) Avalanche defence strategies and monitoring of two sites in mountain permafrost terrain, Pontresina, Eastern Swiss Alps. Nat Hazards 39: 353–379.

WILHELM C (1999) Naturgefahren und Sicherheit der Bevölkerung im Gebirge – oder: Von der Schicksalsgemeinschaft zur Risikogesellschaft. Fünf Thesen zum Umgang mit Naturgefahren, dargestellt am Beispiel des Lawinenschutzes in der Schweiz. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 47–55.

Klimaänderung und Naturgefahren in Graubünden

Die Klimaforschung warnt, dass aufgrund der globalen Erwärmung künftig mit einer Zunahme der Häufigkeit und des Ausmasses von extremen Wetterereignissen gerechnet werden muss. Als Alpenkanton ist Graubünden speziell von solchen Veränderungen betroffen. Im Artikel werden die Auswirkungen der Klimaänderung in Bezug auf Grosslawinen, Überschwemmungen, Murgänge, Hangrutschungen und Felsstürze sowie auftauenden Permafrost und schmelzende Gletscher diskutiert. Bei den Grosslawinen ist dank dem heutigen Wissensstand und der Schutzbauten in Zukunft nicht unbedingt mit einer Zunahme der Gefährdung zu rechnen. Anders sieht die Situation bei Überschwemmungen und Murgängen aus, wo die Wahrscheinlichkeit für stärkere und häufigere Ereignisse in Zukunft grösser sein wird. Gleichzeitig sind die möglichen Gefahrengebiete grösser und schwieriger zu schützen. Entsprechend gross ist das Potenzial für Prävention und für Schadensverminderung im Ereignisfall. Schwieriger zu beurteilen ist die künftige Gefährdung durch Hangrutschungen und Felsstürze. Diese Prozesse sind stark von der Geologie abhängig. Auch ist das Prozessverständnis im nötigen Skalenbereich noch unvollständig. Das Schmelzen des Permafrosts und das Verschwinden vieler kleiner Gletscher werden neue Gefahrenherde schaffen und dadurch das Risiko von Hochwasser, Murgängen und Felsstürzen zusätzlich erhöhen. Die verantwortlichen Stellen im Kanton Graubünden sind sich dieser Gefahren bewusst und setzen auf die Dokumentation von Ereignissen, auf ein Mess-, Informations- und Warnsystem sowie auf schadensvermindernde Interventionen vor Ort.

Changements climatiques et dangers naturels aux Grisons

Les climatologues avertissent que l'actuelle tendance au réchauffement climatique entraînera une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements météorologiques extrêmes. Canton alpin, les Grisons sont particulièrement exposés à ces changements. L'article discute les répercussions des changements climatiques sur les avalanches, les inondations, les laves torrentielles, les glissements de terrains et les éboulements, ainsi que la fonte du pergélisol et des glaciers. En ce qui concerne les avalanches, il ne faut pas nécessairement s'attendre à une augmentation du danger au vu des connaissances actuelles et des ouvrages de protection. Il en va autrement des inondations et des laves torrentielles pour lesquelles un accroissement de la fréquence et de la gravité des événements est probable. En outre, les zones de danger sont plus étendues et plus difficiles à protéger. La prévention et la réduction des dégâts en cas d'événement présentent donc un potentiel plus élevé. La menace posée à l'avenir par les glissements de terrains et les éboulements est plus difficile à évaluer. En effet, ces processus dépendent fortement de la géologie et leur compréhension est encore insuffisante. La fonte du pergélisol et la disparition de nombreux petits glaciers vont causer de nouvelles sources de danger et accroître le risque d'inondations, de laves torrentielles et d'éboulements. Les services responsables du canton des Grisons sont conscients de ces risques et accordent une grande importance à la documentation des événements, à l'établissement d'un système de mesures, d'information et d'alerte, ainsi qu'à la réalisation de dispositions visant à réduire les dégâts.