Klimaänderung
und Naturgefahren

Klima gestern und heute

Die menschenverursachte Klimaänderung ist bereits Realität. Im 20. Jahrhundert haben die Temperaturen weltweit um durchschnittlich 0,7 °C zugenommen (IPCC 2007). Die Erdoberfläche erwärmt sich aber nicht gleichmässig, weder räumlich noch zeitlich. So sind die Temperaturen in der Schweiz im selben Zeitraum auf der Alpennordseite um etwa 1,5 °C (Figur 1) und auf der Alpensüdseite um etwa 1 °C angestiegen (Rebetez 2006). Die Erwärmung beschleunigt sich. So gehören die vergangenen 15 Jahre zu den wärmsten in den letzten 500 Jahren. Die vier wärmsten Jahre traten alle nach 1990 auf. Beim Niederschlag sind die gemessenen Veränderungen weniger klar.

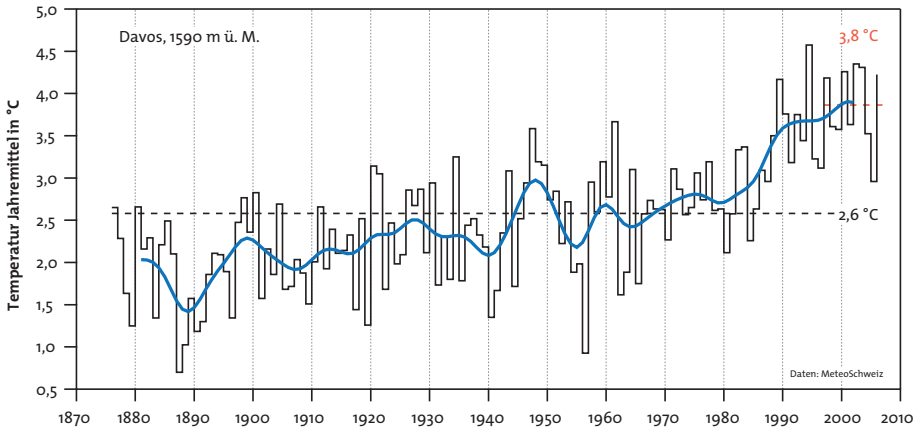
Die Unterschiede von Jahr zu Jahr waren schon immer sehr gross. Einzig die Winterniederschläge in der Nord- und Westschweiz zeigen ein klare Zunahme um etwa 10 bis 30 % im Verlauf des 20. Jahrhunderts (Schmidli et al. 2005). Eindeutiger ist die Zunahme der Anzahl extremer Niederschlagsereignisse und intensiveren Trockenperioden (Della-Marta et al. 2006). Gesichert ist auch eine klare Abnahme der Schneedeck unterhalb 1300 m ü. M. (Laternser et al. 2003). Das Klima war schon immer Schwankungen unterworfen. Die Häufung von Klima-Rekorden in jüngster Zeit ist aber auffällig und kann nur schwer dem Zufall zugeschrieben werden. Dazu eine kleine Auswahl der letzten Monate (Witterungsberichte Meteoschweiz und SLF):

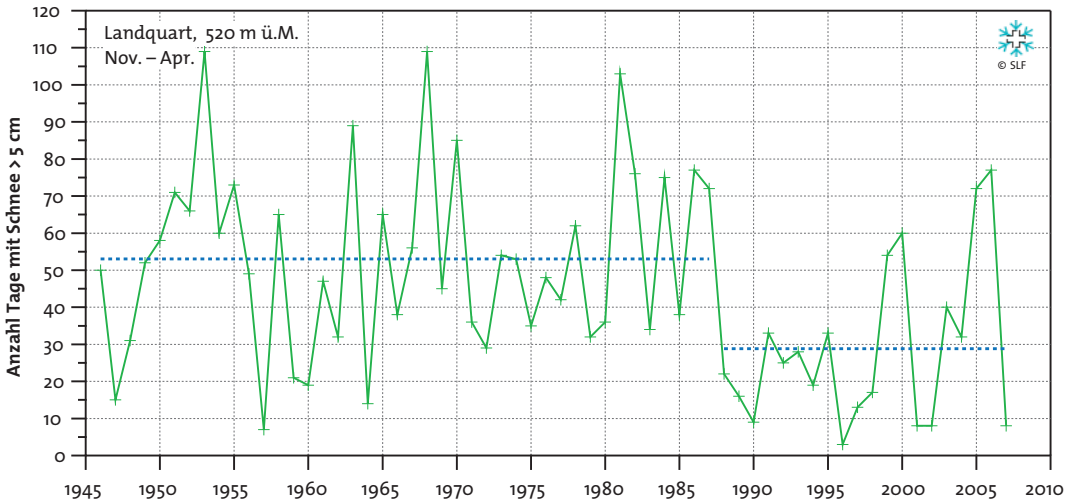
2006: – Heissester Juli seit Messbeginn.
– Wärmster Herbst seit Menschengedenken.

2007: – Wärmster Winter seit Messbeginn.
– Wärmster April seit Messbeginn, Trockenheit und Schnee-Minusrekorde.

In Anbetracht der derzeit kontinuierlich zunehmenden Erwärmung und des weltweit immer noch zu langsam greifenden politischen Prozesses zu Gegenmassnahmen wird das 21. Jahrhundert mit grosser Wahrscheinlichkeit weitere Rekorde setzen.

Jahresmitteltemperatur in Davos während den letzten 130 Jahren. Der Durchschnitt der letzten zehn Jahre (3,8 °C) ist um 1,2 °C höher als die Mitteltemperatur des letzten Jahrhunderts.
(Bild: SLF)





Anzahl Tage mit einer Schneehöhe grösser als fünf Zentimeter in Landquart. Neben den grossen jährlichen Schwankungen ist vor allem der Bruch nach 1987 auffällig. Landquart hat in den letzten 20 Jahren durchschnittlich nur noch gut halb so viele Schneetage erlebt wie in den 40 Jahren vorher. (Bild: SLF)

Klima morgen

Nach heutigem wissenschaftlichen Stand ist bis Ende dieses Jahrhunderts (2100) eine durchschnittliche globale Erwärmung von 1,8 bis 6,4 °C zu erwarten (IPCC 2007). Die grosse Spannweite ist nicht nur den komplexen Wechselwirkungen des Klimasystems zuzuschreiben, sondern hängt ab vor allem auch von der Ungewissheit wie sich die menschliche Gesellschaft auf die Bedrohung reagieren wird. Wie bereits im letzten Jahrhundert gemessen, ist für die Schweiz eine stärkere Temperaturzunahme als global zu erwarten. So rechnet man für unser Land nur schon bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts (2050) mit einer weiteren Erwärmung um 1,0 bis 3,5 °C, einer Zunahme der Winterniederschläge um 20 % und einer Abnahme der Sommerniederschläge um 5 bis 30 % (OcCC 2007). Es gilt dabei zu beachten, dass die Niederschlagsszenarien, im Gegensatz zu den Temperaturszenarien, mit grossen Unsicherheiten behaftet sind. Unabhängig vom Klimawandel gab und gibt es immer wieder extreme Wetterereignisse, welche Naturgefahren auslösen können. Die Klimamodelle zeigen, dass sowohl die Häufigkeit, als auch die Intensität solcher Wetterereignisse durch die erwartete Klimaänderung mit grosser Wahrscheinlichkeit zunehmen werden (Rebetez 2006, Beniston et al. 2007).

Im Folgenden werden die wichtigsten Naturgefahren für Graubünden und deren Rolle in einem zukünftig wärmeren Klima kurz diskutiert.

Schneefall und Lawinen

Ausgangssituation

Für grosse, spontan abgehende und bis weit in die Täler vordringende Lawinen, so genannte Grosslawinen, spielt die allgemeine Witterung während des Winters nur eine

untergeordnete Rolle. Entscheidend für solche Grosslawinen sind die Wetterverhältnisse wenige Tage bis Stunden vor dem Niedergang. Hauptauslöser für spontane Grosslawinen sind entweder intensive, lang anhaltende Schneefälle verbunden mit starken Schneeverfrachtungen (Katastrophenlawinen im Februar 1999 in Nord-, Mittelbünden und Engadin) oder aber eine rasche, markante Erwärmung mit eventuell Regen bis in grosse Höhen.

Einfluss des Klimawandels

Erhöhen sich die Temperaturen im Winter, dann verkürzt sich die Dauer der Schneebedeckung – und damit auch die zeitliche Periode, in der Lawinenniedergänge überhaupt zu erwarten sind. Diese Veränderungen dürfen nicht direkt in Verbindung gebracht werden mit der Zahl an zerstörerischen Lawinen, die im Laufe eines Jahres an einem bestimmten Ort niedergehen können.

Die absehbaren Klimaveränderungen werden nichts daran ändern, dass lawinenauslösende, nur wenige Tage andauernde Wettersituationen auch künftig vorkommen können. Diese kommen vielleicht sogar häufiger als bislang gewohnt vor, weil die intensiveren Niederschläge in den Anrissgebieten von vielen Grosslawinen weiterhin als Schnee fallen.

Fazit

Eindeutige Prognosen zur Veränderung der Lawinenaktivität als Folge der Klimaänderung liegen nicht vor. Trotz allgemeiner Abnahme der Schneemengen wird die Lawinengefahr für Grosslawinen nicht unbedingt abnehmen. Die Gefahr von solchen Lawinenniedergängen wird weniger von den absehbaren klimatischen Veränderungen beeinflusst als vielmehr von meteorologischen Extremsituationen, die möglicherweise häufiger als bisher zu erwarten sind. Diese Extremsituationen könnten dann in den höheren Alpentälern auch intensive und lang anhaltende Schneefallereignisse bisher unbekannten Ausmasses (Schneebeli et al. 1998) verursachen.



Überschwemmungen in Klosters, August 2005. (Bild: C. Wilhelm, Amt für Wald Graubünden)

Hochwasser und Überschwemmungen

Ausgangssituation

Hochwasserschäden werden von drei verschiedenen Ereignistypen verursacht: Lang anhaltende Regenfälle (oft kombiniert mit der Schneeschmelze), grossräumige Starkniederschläge und kurzzeitige, eng begrenzte Starkniederschläge während Gewittern. Diese drei Ereignistypen unterscheiden sich nicht nur räumlich und zeitlich, sondern auch durch die damit einhergehenden Prozesse. Dabei verursacht nicht nur das Wasser die hauptsächlichen Schäden. Entscheidend ist auch das mitgeführte Geschiebe sowie andere Feststoffe (wie etwa Fallholz). So wurden die Schäden während des Hochwassers vom August 2005 in Klosters durch eine Kombination von anhaltenden, intensiven Niederschlägen mit lokalen Extremniederschlägen, grossen Erosionsraten und entsprechendem Geschiebe- und Feststofftransport verursacht.

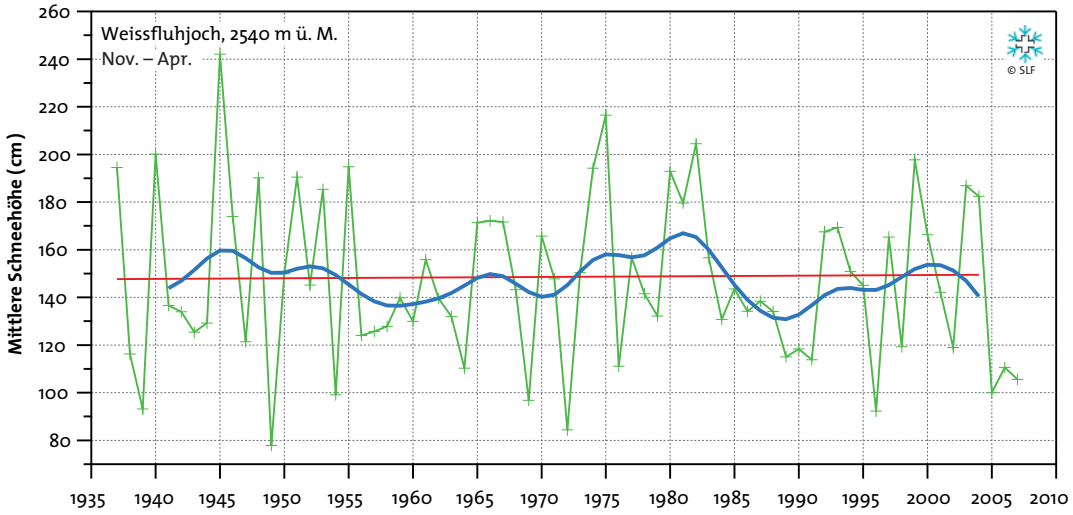
Einfluss des Klimawandels

Die höheren Temperaturen führen zu erheblich grösseren Mengen an Feuchte in der Atmosphäre, wodurch sowohl die Häufigkeit als auch die Stärke lokaler Gewitter und Niederschläge zunehmen können. Die häufig fehlende oder bereits gesättigte Schneedecke vermag intensive Regenfälle nicht mehr zu dämpfen, so dass der Regen eher direkt zum Abfluss beiträgt. Die intensiveren Regenfälle führen auch zu grösseren Erosionsraten, was wiederum einen Einfluss auf den Gerinnefluss und das Auffüllen von Rückhalte- und Staubecken hat. Besonders kritisch könnte sich der Klimawandel auf das Auftreten und die Intensität von lokalen Starkniederschlägen auswirken.

Fazit

Hochwasserereignisse werden häufiger vorkommen, und die Unwettersaison wird sich sowohl in den Spätwinter als auch in den

Mittlere Schneehöhe auf dem Weissfluhjoch. Auf dieser Höhenlage ist praktisch kein Trend ersichtlich (rote Linie). Das Auftreten von drei schneearmen Wintern in Folge (2005 – 2007) ist aber in den 70 Jahren seit Messbeginn einmalig. (Bild: SLF)



Spätherbst ausdehnen (Frei 2006, OcCC 2007). Die möglichen Schadenschwerpunkte und das Spektrum der damit verbundenen Prozesse (Überschwemmungen, Ufererosion, Murgangbildung) werden sich dabei auch noch durch das Schmelzen des Permafrost und der Geltscher teilweise verändern. In hochalpinen Lagen können durch den Gletscherrückgang verursachte Seen eine neue Gefahr darstellen.

Gewitterstürme und Sturmwinde

Ausgangssituation

Drei verschiedene Sturmtypen sind entscheidend: Föhnstürme, Gewitterstürme (Unwetter) und Westwindstürme. Die grössten Schäden werden von Westwindstürmen verursacht.

Ursache sind atlantische Tiefdruckgebiete der Westwindzone, die von starken Randstörungen begleitet werden. Die Schweiz und damit Graubünden gerät vor allem im Winter in ihren Einflussbereich. Dementsprechend wurde der bisher grösste Waldschaden in Graubünden am 27. Februar 1990 durch den Sturm Vivian verursacht.

Einfluss des Klimawandels

Einerseits nehmen durch den Treibhauseffekt der Energie- und der Wassergehalt der Atmosphäre zu. Dadurch steigt das Potenzial für Gewitterstürme (s.o.). Andererseits hat der Klimawandel einen entscheidenden Einfluss auf die Zugbahnen winterlicher Westwindstürme. Modellrechnungen deuten darauf hin, dass sich die Zugbahnen atlantischer Tiefdruckgebiete mehr und mehr nach Norden verschieben – und damit von Graubünden weg. Da die Erwärmung in den Polargebieten stärker ausfällt als am Äquator und der Wärmeaustausch zwischen den kalten Polen und den heissen äquatorialen Luftmassen das ganze Wettergeschehen in den mittleren Breiten antreibt, ist nicht davon auszugehen, dass die Stärke der Sturmtiefs zunimmt. Auch die Anzahl der Ereignisse sollte sich nicht verändern (OcCC 2003).

Fazit

Wetterextreme wie Gewitterstürme werden in den kommenden Jahrzehnten häufiger vorkommen und können schwerwiegendere Folgen haben. Etwas anders sieht die Situation bei den winterlichen Westwindstürmen aus.

Falls sich ihre Zugbahnen tatsächlich, wie es die gegenwärtig vorliegenden Modellrechnungen ankündigen, gegen Norden verschieben, ist in Graubünden eher mit weniger winterlichen Westwindstürmen zu rechnen. Regionale Klimamodelle zeigen zudem, dass nördliche Alpenvorland weiterhin stärker betroffen sein wird als die Alpen selber und die Alpensüdseite (Beniston et al. 2007).

Hangrutschungen und Bergstürze

Ausgangssituation

Massenbewegungen können unter anderem aus Lockergesteinen oder aus Felsen bestehen und 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.

Doch die treibende oder unmittelbar auslösende Kraft von Massenbewegungen ist praktisch immer das vorhandene Wasser oder Eis. Es erzeugt in den betroffenen Gesteinen Poren- und Kluftwasserdrücke, die enorme Ausmasse annehmen können (NAGUF 2002).

Einfluss des Klimawandels

Da Wasser bei Hang- und Felsinstabilitäten ein entscheidender, kausaler und auslösender Faktor ist, wirken sich vor allem die zu erwartenden wärmeren und niederschlagsreicheren Winter destabilisierend aus. Im Mittelland und in den Voralpen dringt während der verdunstungsarmen Jahreszeit viel Wasser in den Boden. Dadurch sättigt sich der Untergrund bereits zur Zeit der Schneeschmelze mit Wasser – und wird somit vielerorts instabiler (OcCC 2003). In hochalpinen Lagen verursacht die intensivere Schmelze von Gletschern und Permafrost neue rutsch- oder sturzgefährdete Zonen, weil die seitliche Stützung durch den Gletscher oder der Zusammenhalt durch den Permafrost fehlt.

Fazit

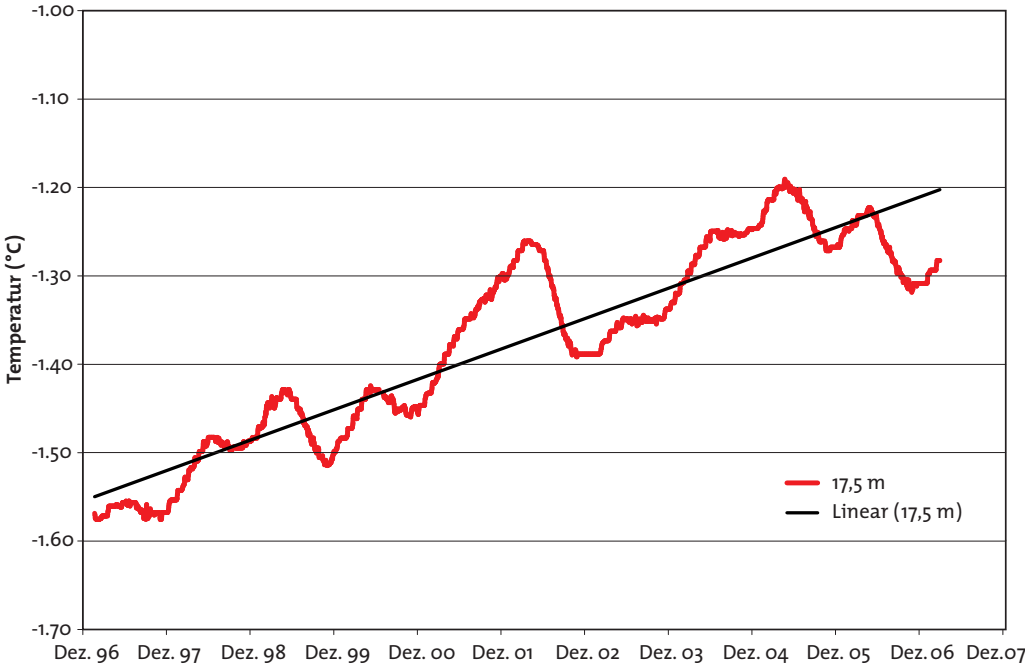
Besonders betroffen sind geologisch ungünstig disponierte Gebiete, in denen Flyschgesteine, Molassegesteine, alpine Schiefer oder feinkörniger Gehängeschutt dominieren. Zudem können Hanginstabilitäten, die bereits seit langer Zeit bestehen, durch den erhöhten Wasserdruck wieder reaktiviert werden. Im Hochgebirge verursacht der Schwund der Gletscher und das Auftauen des Permafrostes lokal neue Problemzonen, die sich in Form von Hangmuren, Fels- oder Eisstürzen offenbaren können (OcCC 2007).

Auftauender Permafrost

Ausgangssituation

Permafrost oder ständig gefrorener Boden ist ein rein thermisches Phänomen und an

Entwicklung der Bodentemperatur in 17,5 Meter Tiefe in einem Bohrloch im Permafrost auf 2960 Meter über Meer. (Muot da Barba Peider, oberhalb Pontresina) zwischen 1997 und 2007.
(Bild: SLF)



sich keine Naturgefahr. Da Permafrostböden jedoch oft Eis enthalten, können Stabilitätsverluste eintreten, falls das Permafrosteis sich erwärmt oder gar schmilzt. Somit können im schlimmsten Fall im Zusammenhang mit andauernd warmen Lufttemperaturen oder intensiven Niederschlägen Naturgefahren wie Steinschlag oder Murgänge in Permafrostgebieten entstehen. Am häufigsten treten in eishaltigen Böden jedoch bei warmen Temperaturen langsamere Ereignisse wie Kriechbewegungen oder Setzungen ein. Diese sind hauptsächlich eine technische Herausforderung für Bauten, die direkt im Permafrost verankert sind, wie zum Beispiel die vom SLF betreuten experimentellen Lawinenverbauungen am Muot da Barba Peider, oberhalb Pontresina (Phillips 2006).

Einfluss des Klimawandels

Permafrostböden reagieren unterschiedlich schnell auf eine äusserliche Erwärmung, je nach Hangneigung, Schneebedeckung, Eisgehalt und Oberflächenbeschaffenheit. Die räumliche und zeitliche Verteilung der Schneedecke spielt hier eine sehr wichtige Rolle, da der Schnee je nach Jahreszeit und Mächtigkeit entweder eine isolierende oder eine kühlende Wirkung haben kann (Luetschg et al. 2003). In Lagen mit Permafrost (oberhalb von etwa 2500 Meter) kann der Boden mehr als neun Monate des Jahres mit Schnee bedeckt sein.

In diesen Höhen können aus den langen Messreihen noch keine Trends in der Schneehöhe erkannt werden, obwohl die Permafrosttemperaturen in den letzten zehn Jahren dort bereits zunehmen. Die Hangneigung hat jedoch einen starken Einfluss auf die lokale Verteilung der Schneedecke: Hänge steiler als 50 ° (Felswände) haben wenig bis keine Schneebedeckung und werden deshalb stark durch die Lufttemperatur und Strahlung beeinflusst und reagieren entsprechend rasch. Permafrosteis in Felsklüften und -rissen kann sich somit schnell erwärmen, womit eine stabile Verbindung zwischen Fels und Eis nicht mehr gegeben ist.

Dies hat die Folge, dass in langen, warmen und trockenen Perioden die Steinschlagaktivität in gefrorenen Felswänden intensiver ist (zum Beispiel Sommer 2003, Juli 2006), was besonders problematisch für Bergsteiger sein kann. Schnelle Massenbewegungen wie Murgänge können in Schutthalden entstehen, wenn die oberflächlich aufgetaute Schicht durch intensive, andauernde Regenfälle zusätzlich geschwächt wird (Rist and Phillips 2005). Grobblockiges Lockermaterial (zum Beispiel Schutthalden, Blockgletscher) kann nur steiler als 38 ° gelagert werden, wenn es durch grosse Eismengen zusammengehalten wird. Dies ist zum Beispiel der Fall in der Val Giandains Runse oberhalb Pontresina, wo sich eine steile, eisreiche Blockgletscherzunge befindet, die langsam talwärts kriecht (etwa ein Zentimeter pro Jahr). Da der Einfluss einer Erwärmung und intensive, anhaltende Niederschläge zur Bildung eines Murgangs führen könnte, wurde 2003 ein Schutzdamm in Pontresina gebaut.

Fazit

Lang andauernde, warme Lufttemperaturen führen zu einer Zunahme der Steinschlagaktivität in steilen Permafrostfelsen. In weniger steilen Hängen wird die Bodentemperatur stark von der Schneedecke beeinflusst, die oberhalb 2100 Meter noch keine klaren Trends aufweist. Bei intensiven Niederschlägen können Murgänge in auftauenden Schutthalden und Blockgletscherzungen ausgelöst werden.

Zukünftige Warnsysteme und Schlussfolgerungen

Vor dem Hintergrund der sich schnell ändernden Umwelt, muss man auch die Frage beantworten, wie wir mit der sich ändernden Gefährdung durch Naturgefahren umgehen sollen. Es ist einleuchtend, dass in Zukunft vermehrt temporäre Schutzmassnahmen zum Tragen kommen werden, weil temporäre Massnahmen sich viel flexibler an sich ändernde Gefährdungen und Extremereignisse anpassen können.

Zudem ist das Potential von temporären Massnahmen noch nicht ausgeschöpft. Ein guter Ansatz ist die Interventionskarte, die vom Amt für Wald Graubünden und der Gebäudeversicherung Graubünden nach den Unwettern in Klosters entwickelt wurde (www.wald.gr.ch/aktuell/docs/1-1-1-9_interventionskarte.pdf). In diesem Zusammenhang wird einer immer besseren Prognose von meteorologischen Extremereignissen eine grosse Bedeutung zukommen (Lehning und Wilhelm, 2005).

Mit neuartigen Messsystemen wie kostengünstigen drahtlosen und mobilen Meteostationen und mit immer besseren Modellen besteht die Erwartung, dass insbesondere meteorologisch bedingte Naturgefahren besser vorhersagbar in Ort, Zeit und Ausmass werden.

Das Swiss Experiment (www.swiss-experiment.ch), eine Zusammenarbeit der WSL/SLF mit allen anderen Institutionen des ETH Bereichs, hat sich zur Aufgabe gemacht, die Grundlagen für solche Warnsysteme zu entwickeln, die die lokale Vorhersage von Naturgefahren verbessern sollen. Ein wichtiges Untersuchungsgebiet des Swiss Experiment befindet sich in der Region Strelapass-Chörbschhorn oberhalb Davos. In dem Gebiet werden Wetter und Schneedecke mit einem dichten Netz von Messstationen genau verfolgt, um einerseits die Lawinenbildung und andererseits die lokale Hydrologie und die Wechselwirkung mit der Pflanzendecke zu verstehen. Eine Zunahme der Häufigkeit gewisser Naturgefahren (zum Beispiel Starkniederschläge) ergibt sich sowohl aus den Prognosen von Klimamodellen als auch aus dem physikalischen Prozessverständnis. Einzelne Extremereignisse können aber nicht ursächlich der Klimaänderung zugeschrieben werden. Es bestehen nämlich noch beträchtliche Unsicherheiten bezüglich den genauen Zusammenhängen von Klimaänderung und den einzelnen Naturgefahren. Bereits heute ist aber eine ausreichende Wissensgrundlage vorhanden, um Massnahmen gegen die Klimaänderung und zum Schutz vor Naturgefahren zu ergreifen.

Literaturliste unter:
www.wsl.ch/personal_homepages/phillips/veroeffentlichungen_DE

Christoph Marty



Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf

Marcia Phillips



Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf

Michael Lehning



Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF, Flüelastrasse 11, 7260 Davos Dorf