



## Klimaveränderung und Naturkatastrophen in der Schweiz

Bruno Schädler  
Bundesamt für Wasser und Geologie, CH-3003 Bern

### Zusammenfassung

In den Jahren 1992 – 1998 wurde in der Schweiz ein umfassendes „Nationales Forschungsprogramm“ zum Thema „Klimaveränderung und Naturkatastrophen“ durchgeführt. Dieser Beitrag berichtet über die wichtigsten generellen Ergebnisse und Schlussfolgerungen des Forschungsprogrammes und erläutert vertieft die Ergebnisse von wasserwirtschaftlich relevanten Teilprojekten. Der Ausblick stellt dar, welche Konsequenzen aus dem Programm gezogen worden sind und welche Maßnahmen von der Politik eingeleitet worden sind.

### 1. Einleitung

Naturgefahren können sich in Abhängigkeit von Klimaänderungen insbesondere in sensiblen Regionen, wie sie die Alpen darstellen, besonders markant verändern. Gebirgsräume sind deshalb besonders sensitiv, weil sie auf kleinstem Raum verschiedenste Klimaregionen vereinen und weil sie durch das ausgeprägte Relief verbunden mit unterschiedlichsten Vegetationsbedeckungen und enormen Lockergesteinsmassen ein großes zerstörerisches Potential vereinen. Deshalb hat die schweizerische Regierung schon 1992 ein rund sechsjähriges Nationales Forschungsprogramm „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“ beschlossen, an dem rund 55 Forschergruppen teilnahmen. Neben zahlreichen Studien in den Bereichen Klimatologie, Meteorologie, Hydrologie, Glaziologie und Wirtschaft (Tourismus, Landwirtschaft, Banken, Versicherungswesen) wurden insbesondere auch umfangreiche Projekte im Bereich Naturgefahren durchgeführt, nämlich zu den Themen Stürme, Hagel, Waldbrand, Lawinen, Murgänge, Rutschungen und Hochwasser. Ausgehend von einer Analyse der beobachteten Entwicklung der Naturgefahren und einem vorgegebenen Szenario zur zukünftigen Klimaänderung wurde versucht, Projektionen in die Zukunft zu entwerfen.

Für die Belange der Wasserwirtschaft interessant waren insbesondere die Projekte, welche in Tabelle 1 aufgeführt sind. Die Ergebnisse des gesamten Forschungsprogrammes wurden in mehreren Syntheseprodukten zusammengefasst. Die beiden wichtigsten sind diejenigen von Bader et al. (1998) und Bloetzer et al. (1998).

### 2. Generelle Ergebnisse und Schlussfolgerungen des NFP 31

Nach Abschluss des Forschungsprogrammes und nach Sichtung und Würdigung der Ergebnisse hat das „Beratende Organ für Klimaforschungsfragen der Eidgenössischen Departemente des Inneren (EDI) und für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), OcCC“ eine Standortbestimmung zum Thema 'Klimaänderung in der Schweiz' formuliert (siehe vollständigen Bericht unter <http://www.proclim.unibe.ch/OcCC/reports/OcCCReport03D.html>). Darin wird u.a. folgendes festgehalten

„Die Forschungsergebnisse ergeben, dass als Folge der erwarteten Klimaänderung in der Schweiz spürbare wirtschaftliche Auswirkungen, zunehmende Gefährdungen durch Naturereignisse und Veränderungen der alpinen Ökosysteme zu erwarten sind. Auch die Veränderungen in anderen Regionen der Erde können sich bei uns ungünstig auswirken. (...)“

Für die Schweiz zeigen die Ergebnisse des NFP31, dass sich die witterungsbedingte Naturgefahrensituation in den letzten Jahren nicht außergewöhnlich entwickelt hat. Deutlich erkennbar ist jedoch die zunehmende zivilisatorische Nutzung von Gefahrengebieten, welche

das mögliche Schadenausmaß von Naturgefahren erhöht. Bei zunehmender Erwärmung sind spürbare Veränderungen in folgenden Bereichen zu erwarten:

- Eine stark reduzierte winterliche Schneedecke in mittleren und tiefen Lagen mit Einnahmeausfällen im Wintertourismus und einer Zunahme der winterlichen Hochwasser als Folgen.
- Eine erhöhte Bedrohung durch Hanginstabilitäten (Rutsche, Muren, Felsstürze u.s.w.).
- Negative Auswirkungen auf die Stabilität alpiner Ökosysteme.

Neben dem Wintertourismus werden auch für die Landwirtschaft, die Energiewirtschaft und die von Naturgefahren betroffenen Infrastrukturen negative Auswirkungen erwartet. Ein im Auftrag des OcCC erstellter Wissensstandsbericht zu den Auswirkungen von extremen Niederschlagsereignissen zeigt auch, dass künftig die Schäden infolge Hochwasser zunehmen dürften (OcCC, 1998). Insgesamt werden aber die direkten wirtschaftlichen Auswirkungen der erwarteten Klimaänderungen auf die Schweiz in absehbarer Zukunft als noch nicht allzu gravierend angesehen. (...)

### **Handlungsbedarf**

Auch wenn die direkten wirtschaftlichen Auswirkungen von Klimaänderungen zum heutigen Zeitpunkt für die Schweiz nicht als dramatisch angesehen werden, ist die Bandbreite der Unsicherheit über die künftigen Auswirkungen derart, dass eine Abwarte-strategie die Wirtschaft künftig wesentlich stärker belasten könnte als eine Strategie des vorsichtigen Handelns. Das OcCC sieht aus diesem Grund nach wie vor einen dringenden Handlungsbedarf auf verschiedenen Ebenen, um die negativen Auswirkungen von Klimaänderungen auch in Zukunft möglichst gering zu halten.

### **Forschung**

(...) Das OcCC hat mögliche Perspektiven für die Klimaforschung der Schweiz in einem Positionspapier zusammengestellt.

*Grundlagenforschung:* Verschiedene elementare Zusammenhänge und Prozesse innerhalb des Atmosphärensystems und der Biosphäre sowie deren Beitrag zur Entstehung von Naturgefahren sind noch immer ungenügend verstanden. Das Prozessverständnis muss in internationaler Zusammenarbeit weiter vertieft werden.

*Monitoring:* Weitere Förderung verdient die Erhaltung, Verdichtung und Standardisierung des Beobachtungsnetzes zur Früherkennung von Naturgefahren und zur Erkennung der sozioökonomischen, umwelthygienischen und gesundheitlichen Faktoren, die mit einer Klimaänderung einhergehen können.

*Problemorientierte Forschung* zu fokussierten Querschnitts-Themen ist verstärkt zu fördern mit der Aufgabe, Erkenntnisse verschiedener Forschungsdisziplinen zu nutzen und die Zusammenhänge transdisziplinär vertieft sowie bezüglich ihrer gesamtgesellschaftlichen Bedeutung zu erforschen. Fragen des Erkennens, der Bewertung und der Bewältigung von Risiken stehen dabei im Vordergrund.

### **Politik**

Um auf die erwarteten globalen Umweltveränderungen auf nationaler und internationaler Ebene vorbereitet zu sein, sollten folgende Aspekte in diesem Themenbereich prioritär behandelt werden:

- Erarbeitung von volkswirtschaftlich verträglichen Reduktionsstrategien für fossile Energieträger und die Förderung erneuerbarer Energiequellen und die Steigerung der Energieeffizienz.
- Förderung von innovativen Techniken und deren Anwendung zugunsten einer nachhaltigen Klimapolitik.
- Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen von Naturgefahren, welche die gefährlichsten Auswirkungen einer Klimaänderung in der Schweiz darstellen:



- Verhinderung der Besiedlung von Gefahrenzonen, z.B. durch risikoabhängige Prämien der Gebäudeversicherungen und/oder durch raumplanerische Maßnahmen.
- Unterhalt und - in Einzelfällen - Erstellung von zusätzlichen Schutzbauwerken.
- Verbesserung des landesweiten Katastrophenmanagements.
- Schaffung von Anreizen und Förderung der Motivation zur Treibhausgas-Reduktion. Dazu zählen z.B. die Evaluierung von 'secondary benefits' oder die Prüfung der marktwirtschaftlichen Mechanismen zur Treibhausgasreduktion (Energienkungsabgaben, Joint Implementation, Clean Development Mechanism, Emission Trading) .
- Verstärkung der internationalen Vorreiterrolle der Schweiz bezüglich Reduktionsstrategien.
- Sicherstellung, dass externe Effekte bei Verkehr und Energie auch bei einer Liberalisierung der Märkte internalisiert werden“.

### **3. Ausgewählte Ergebnisse**

#### **3.1 Starkniederschläge**

Analysen der täglichen Niederschlagsmengen in der Schweiz haben gezeigt, dass im Winter die Niederschlagsmengen in den letzten hundert Jahren um bis zu 30% zugenommen haben (Widmann und Schär, 1997). Die Zunahme kam ohne nennenswerte Vermehrung der Anzahl Niederschlagstage zu Stande, sondern sie ist primär durch intensivere Niederschläge bedingt. Im Herbst und im Winter konnte ein Trend zu intensiveren Niederschlagsereignissen vor allem auf der Alpennordseite festgestellt werden (Figur 1; Courvoisier 1998). Es wird vermutet, dass diese Zunahme auf eine Intensivierung des Wasserkreislaufes, welche mit der beobachteten Temperaturerhöhung verbunden ist, zurückzuführen ist. Im Sommerhalbjahr konnte keine Veränderung des Niederschlagsklimas nachgewiesen werden.

Resultate von Modellrechnungen bestätigen diese in der Vergangenheit beobachteten Zusammenhänge auch für eine zukünftige Temperaturerhöhung. Im Winterhalbjahr muss demnach mit einer weiteren Zunahme der Niederschläge und der Niederschlagsintensitäten gerechnet werden. (Frei et al., 1998). Figur 2 zeigt, wie sich diese Zunahme bei einer Temperaturerhöhung von 2 Grad in den verschiedenen Regionen Europas auswirken könnte. Der jeweilige prozentuale Anstieg ist um so bedeutender, je höher die Intensität ist. Allerdings sind heute noch keine Aussagen über die für Hochwasser wirklich entscheidenden Intensitäten von über 60 mm pro Tag möglich. Für die Beurteilung der Gefahr von häufigeren Hochwassern wären zudem Angaben über Veränderungen des Aufeinanderfolgens von Tagen mit intensiven Niederschlägen, mit der Abfolge der Niederschläge ganz allgemein (Vorfeuchte der Böden) oder auch der die intensiven Niederschlagstage begleitende Temperaturverhältnisse (Schneefallgrenze) notwendig.

#### **3.2 Hochwasser**

Die Analyse der langjährigen Zeitreihen von gemessenen Hochwassern erweist sich immer wieder als sehr schwierig. Einerseits finden sich kaum lange homogene Messreihen, da insbesondere seit dem 19. Jahrhundert an beinahe allen Fließgewässern oft tiefgreifende flussbauliche Arbeiten durchgeführt worden sind, sodass sich die Wasserstandsdaten nicht mehr vergleichen lassen. Abflussmessreihen reichen kaum ins 19. Jahrhundert zurück und sind auch anthropogen verfälscht, sei es durch die flussbaulichen Maßnahmen, sei es durch Eingriffe ins Einzugsgebiet (Landnutzungsänderungen, Landwirtschaftspolitik, Besiedlungen, Bevölkerungsdruck etc.) oder sei es durch wasserwirtschaftliche Eingriffe (Speicher, Wassernutzungen etc.). Ein zusätzliches Problem ist, dass – wie bei den Niederschlägen – die Extremereignisse interessieren, also beispielsweise Ereignisse mit einer Auftretenswahrscheinlichkeit von 0.01. Man müsste also tausend Jahre messen, um mit Hilfe von zehn Ereignissen eine Trendabschätzung durchführen zu können. Hinweise zu langfristigen Veränderungen können deshalb nur Angaben geben, wie sie beispielsweise Pfister (1999) aus

historischen Dokumenten ableitet. Figur 3 zeigt, wann im schweizerischen Alpenraum Hochwasser aufgetreten sind. Das historisch mehrfach belegte absolut größte Ereignis muss sich 1342 ereignet haben. Im Verlaufe der Jahrhunderte sind immer wieder Häufungen von Hochwassern zu beobachten, so letztmals im 19. Jahrhundert. Unklar sind die Gründe dazu, jedoch scheinen Übergänge von Warm- zu Kaltperioden und umgekehrt einen Einfluss zu haben. Im Lichte dieser sehr langen Reihen scheinen die Ereignisse in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts den Rahmen der natürlichen Variabilität noch nicht verlassen zu haben.

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf das Hochwassergeschehen sind differenziert zu betrachten. Generell ist mit einer Umverteilung des Abflusses vom Sommer in den Winter, das heisst mit einer Regimeänderung zu rechnen. In den höheren Gebieten der Alpen ist zwar mit einer Verkürzung der hochwasserfreien Winterzeit zu rechnen. Dies dürfte zu häufigeren (kleineren) Hochwasser in diesen Regionen führen. Da jedoch die ausgeprägten Hochwasser in der Sommersaison auftreten, dürfte sich – aufgrund der bisher vorliegenden Klimaszenarien – die Hochwasserwahrscheinlichkeit von großen Hochwassern dort kaum ändern. In den Einzugsgebieten am Alpenrand, wo große Teile des Einzugsgebietes zunehmend schneefrei sein könnten, dürften die Winter- und Frühjahrshochwasser an Bedeutung zunehmen. Über die wirkliche Höhe der seltenen Hochwasser lässt sich jedoch bisher wenig aussagen. Wichtig können diese Erkenntnisse jedoch für die weiter unten liegenden Gewässerabschnitte werden, da bisher während der Wintersaison von oben her wenig Wasser zu den unten entstehenden Hochwassern beigetragen worden ist. Es muss daher heute davon ausgegangen werden, dass insbesondere in den untenliegenden Abschnitten der den Alpen entspringenden Flüsse mit einer Verschärfung der Hochwassergefahr im Winter und Frühjahr und umgekehrt mit längeren und ausgeprägteren Niederwasserperioden im Herbst gerechnet werden muss (Grabs et al., 1997). Für die Abschätzung der seltenen Hochwasserereignisse und der damit verbundenen Schutzmassnahmen muss die Klimaänderung als eine zusätzliche Unsicherheit zu den vielen anderen schon bestehenden Unsicherheiten einfließen.

### 3.3 Feststofftransport

Für die grossen mit Hochwassern verbundenen Schäden im Bereich der Alpen und des Alpenvorlandes ist sehr oft nicht das Wasser an sich, sondern die mit dem Wasser verbundenen Feststoffverlagerungen verantwortlich. Verschiedene Formen werden dabei beobachtet:

- (1) vertikale und seitliche Erosion der Ufer mit anschließendem Nachbrechen der Ufer und der sich darauf befindenden Bauten.
- (2) Überschwemmung mit Deposition von großen Mengen von Geröll, Geschiebe und Sand.
- (3) Erosion und anschließende Auflandung des Gewässerbettes mit der Folge, dass der Fluss sein Bett verlässt und an völlig unerwarteten Orten sein neues Bett aushebt.
- (4) Murgänge in steilen Gerinnen, die enorme Feststoffmengen transportieren und bei der Deposition im unteren Teil hohe Schäden verursachen.

Murgänge wurden in der Vergangenheit wenig systematisch beobachtet. Sie entstehen in steilen, mit viel Schutt bedeckten Gebieten und werden ausgelöst durch lang andauernde Starkniederschläge oder aus Gewittern mit Regensummen von mindestens 40 bis 70 mm. Nach dem Abgang eines Murganges ist die Gefahr oft für viele Jahre gering, da zuerst wieder das notwendige Geschiebe durch Nachrutschen und Verwitterung bereitgestellt werden muss.

Mit der Klimaänderung erwartete zunehmend häufigere und intensivere flüssige Niederschläge sind zwar ein Potential für Murgänge, jedoch muss auch das entsprechende Geschiebepotential vorhanden sein. Zusätzliches Geschiebe kann dort mobilisiert werden, wo



bisher der Niederschlag (in größerer Höhe) eher in fester Form gefallen ist oder dort, wo das Gestein durch Permafrostboden stabilisiert oder von Gletschern zugedeckt war. Mit der Erwärmung muss damit gerechnet werden, dass sich die Permafrostgebiete langsam in größere Höhen zurückziehen. Diese neu permafrostfreien Gebiete sind allerdings – verglichen mit den Murganggebieten in den randalpinen Zonen – eher klein und deshalb, insbesondere auch für die besiedelten Gebiete, von weniger großer Bedeutung.

#### 4. Ausblick

Die Resultate des abgeschlossenen Nationalen Forschungsprogrammes und zahlreicher weiterer im nationalen und internationalen Rahmen laufender Forschungsprojekte sollen jetzt in verschiedensten Bereichen umgesetzt werden. Deshalb hat beispielsweise die Schweizerische Regierung als Expertengremium ein „Beratendes Organ für Klimaforschungsfragen (OcCC)“ eingesetzt, das zu ausgesuchten Themenbereichen laufend Wissensstandsberichte und Empfehlungen herausgibt. Auf dem Gebiet des Monitorings wurde insbesondere bei der Beobachtung des Permafrost eine Lücke identifiziert. Das mögliche Auftauen der hochalpinen Permafrostböden kann nicht nur Auswirkungen auf die Stabilität der steilen Hänge (Murgang- und Rutschgefahr) haben, sondern auch die Stabilität von technischen Einrichtungen und Bauten in diesen Gebieten haben. Es wurde deshalb jetzt ein Pilotmessnetz PERMOS zur Beobachtung des Permafrostes eingerichtet, das von verschiedenen Forschungsinstituten betrieben und von der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften getragen wird.

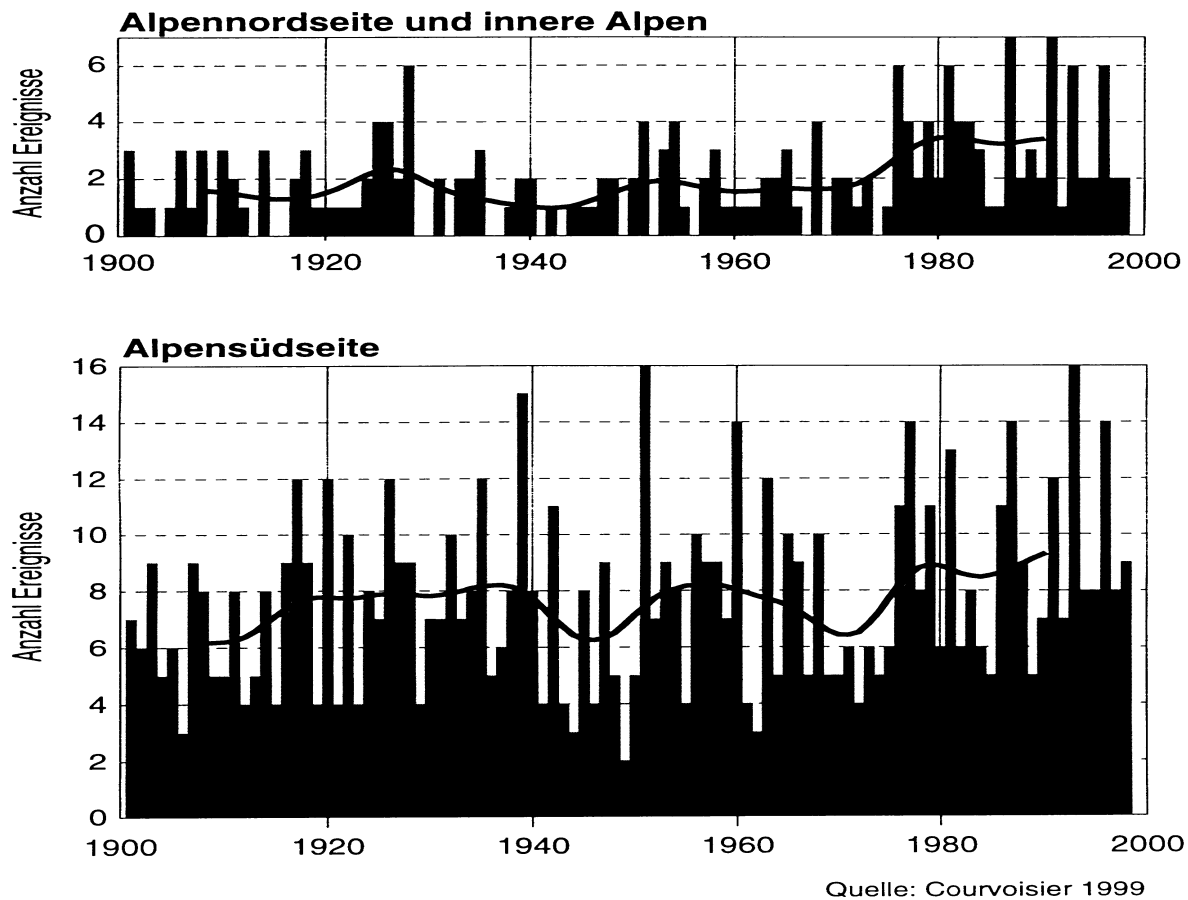
Insbesondere wurde jedoch auch von der Politik erkannt, dass das Thema Klimaänderung äußerst aktuell und gleichzeitig noch lange nicht vollständig erforscht ist. Deshalb hat das schweizerische Parlament im Dezember 2000 als einen von zehn neuen Nationalen Forschungsschwerpunkten (NFS) für einen Zeitraum von 10 Jahren den NFS-Klima „Klimavariabilität, Klimavorhersagbarkeit und Klimarisiken“ der Universität Bern als „leading house“ anvertraut. Damit kann die Forschung gesamtschweizerisch fokussiert in diesem Themenbereich mit bedeutenden Ressourcen und mit einer gewissen Kontinuität einen hoffentlich großen Schritt weitergebracht werden.

#### 5. Literatur

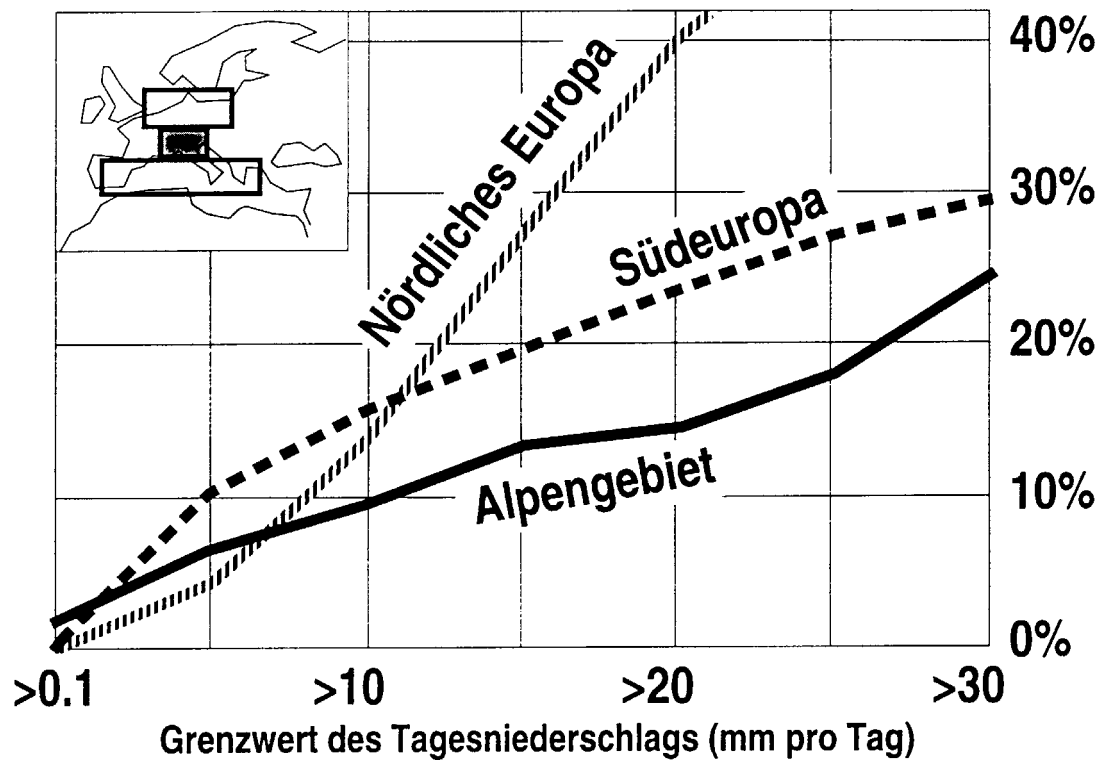
- Bader Stefan und Pierre Kunz (1998): Klimarisiken - Herausforderung für die Schweiz. Wissenschaftlicher Schlussbericht NFP 31. Hochschulverlag vdf ETH Zürich.
- Bloetzer Werner, Thomas Egli, Armin Petrascheck, Joseph Sauter, Markus Stoffel (1998): Klimaänderungen und Naturgefahren in der Raumplanung. Hochschulverlag vdf ETH Zürich.
- Courvoisier H.W. (1998): Statistik der 24-stündigen Starkniederschläge in der Schweiz 1901-1996. Arbeitsbericht der Schweizerischen meteorologischen Anstalt SMA, Nr. 194, 20 pp.
- Frei, C., Schär C., Lüthi D. and Davies H.C., (1998): Heavy precipitation processes in a warmer climate. Geophys. Res. Lett., 25, 1431-1434.
- Grabs Wolfgang, Karl Daamen, Daniel Gellens, Jaap Kwadijk, Herbert Lang, Hans Middelkoop, Bart Parmet, Bruno Schädler, Jörg Schulla, Klaus Wilke (1997): Impact of Climate Change on Hydrological Regimes and Water Resources Management in the Rhine Basin. International Commission for the Hydrology of the Rhine Basin (CHR), CHR-Report, No. I-16, 1997, Lelystad.
- OcCC (1998): Klimaänderung Schweiz: Auswirkungen von extremen Niederschlagsereignissen. Wissensstandsbericht. 32 p., Sekretariat OcCC, ProClim, Bern.
- Pfister, C. (1999): Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen (1496-1995), 304 p., Paul Haupt Verlag Bern
- Widmann, M. und Ch. Schär (1997): A principle component and long term trend analysis of daily precipitation

- Homogenisierung schweizerischer klimatologischer Messreihen des 19. und 20. Jahrhunderts  
Othmar Gisler, Mathias Baudenbacher, Walter Bosshard
- Klimatologie der Stürme und Sturmsysteme anhand von Radar- und Schadendaten  
Hans-Heinrich Schiesser et al.
- Simulation of Climate trends over the Alpine Region  
Atsumu Ohmura, Martin Beniston et al.
- Flächen-Mengen-Dauer-Beziehungen von Starkniederschlägen und mögliche Niederschlagsgrenzwerte im Raum Schweiz  
Dietmar Grebner, Thomas Roesch
- Analyse der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Hochwasser in der Schweiz  
Ein Beitrag zur Hochwasserabschätzung  
Rolf Weingartner
- Die Auswirkungen des Rückhaltevermögens natürlicher Einzugsgebiete bei extremen Niederschlagsereignissen auf die Grösse extremer Hochwasser  
Felix Naef, Simon Scherrer, Andrew Faeh
- Auswirkungen von klimatischen Variationen auf Wasserhaushalt und Abfluss im Flussgebiet des Rheins  
Joachim Gurtz et al.
- Influence des changements climatiques sur le régime hydrologique et hydraulique des cours d'eau  
Olivier Overney, David Consuegra, André Musy et al.
- Klimaänderungen und alpine Schneedecke  
Auswirkungen auf das Abflussregime am Beispiel des Einzugsgebiets "Rhein-Felsberg"  
Cornel Ehrler
- Hydrologische Prozesse im subalpinen Wald im Winter  
Daniel Stadler et al.
- Die Gletscher der Schweizer Alpen  
Gletscherhochstand 1850 - Aktuelle Vergletscherung - Gletscherschwund-Szenarien  
Max Maisch, Andreas Wipf, Bernhard Denneler, Julius Battaglia, Christoph Benz
- Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge  
Wilfried Haeblerli et al.
- Zur Sensitivität von Wildbachsystemen  
Hans Kienholz, Hans Martin Keller, Walter Ammann, Rolf Weingartner, Peter F. Germann, Christoph Hegg, Peter Mani, Dieter Rickenbach
- Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz  
Markus Zimmermann, Peter Mani, Patrick Gamma
- Massenbewegungen im Flysch und Klimaänderungen  
Olivier Lateltin, Christoph Beer, Hugo Raetzo, Christian Caron
- Stabilité des terrains meubles en zone de pergélisol et changements climatiques  
Deux études de cas en Valais: le Ritigraben (Mattertal) et la moraine du Dolent (Val Ferret)  
Ralph Lugon, Michel Monbaron
- Wie reagieren aquatische und terrestrische Ökosysteme auf rasche Klimaänderungen?  
Brigitta Ammann et al.
- Sozioökonomische Aspekte von Klimaänderungen und Naturkatastrophen in der Schweiz  
Ruedi Meier
- Katastrophen als Herausforderung für Verwaltung und Politik  
Ueli Müller, Willi Zimmermann et al.

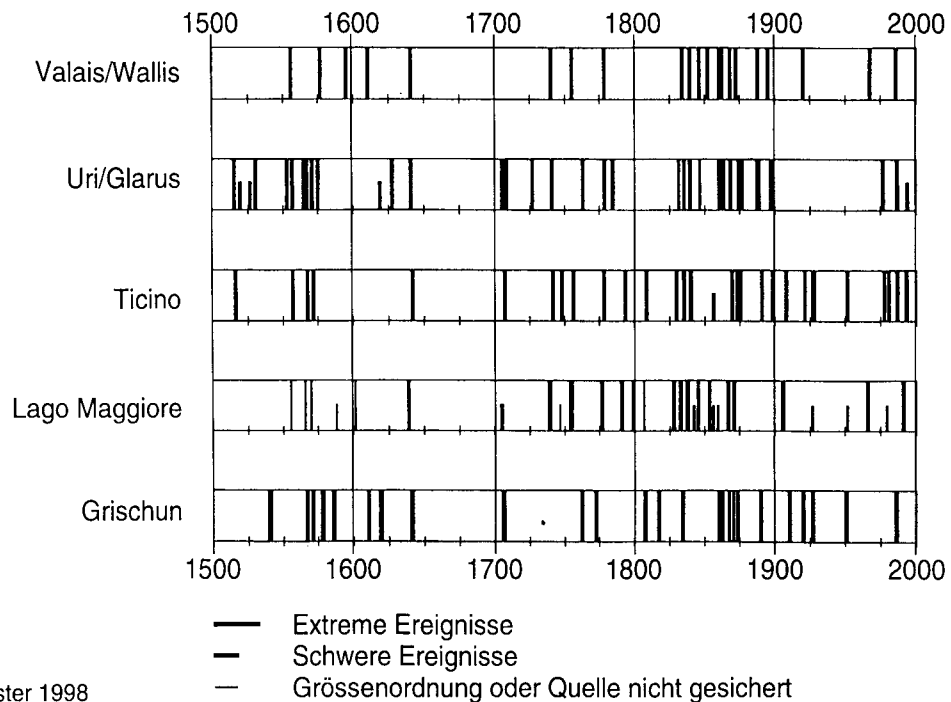
Tabelle 1



Figur 1: Starkniederschläge in der Schweiz zwischen 1901 und 1998 auf der Nordseite und im Inneren der Alpen sowie auf der Südseite der Alpen. Dargestellt ist die Anzahl der Ereignisse mit einer täglichen Niederschlagssumme von mehr als 70 mm gefallen auf ein Gebiet von mindestens 500 km<sup>2</sup> Größe (Courvoisier 1998).



Figur 2: Modellerte prozentuale Zunahme der täglichen Niederschlagssummen im Winterhalbjahr für drei Zonen in Europa bei einem wärmeren (+ 2 Grad) und feuchteren (+ 15 Prozent Luftfeuchtigkeit) Klima. (Frei et al. 1998).



Quelle: Pfister 1998

Figur 3: Extreme Überschwemmungen im schweizerischen Alpenraum seit 1500. (Pfister, 1999).