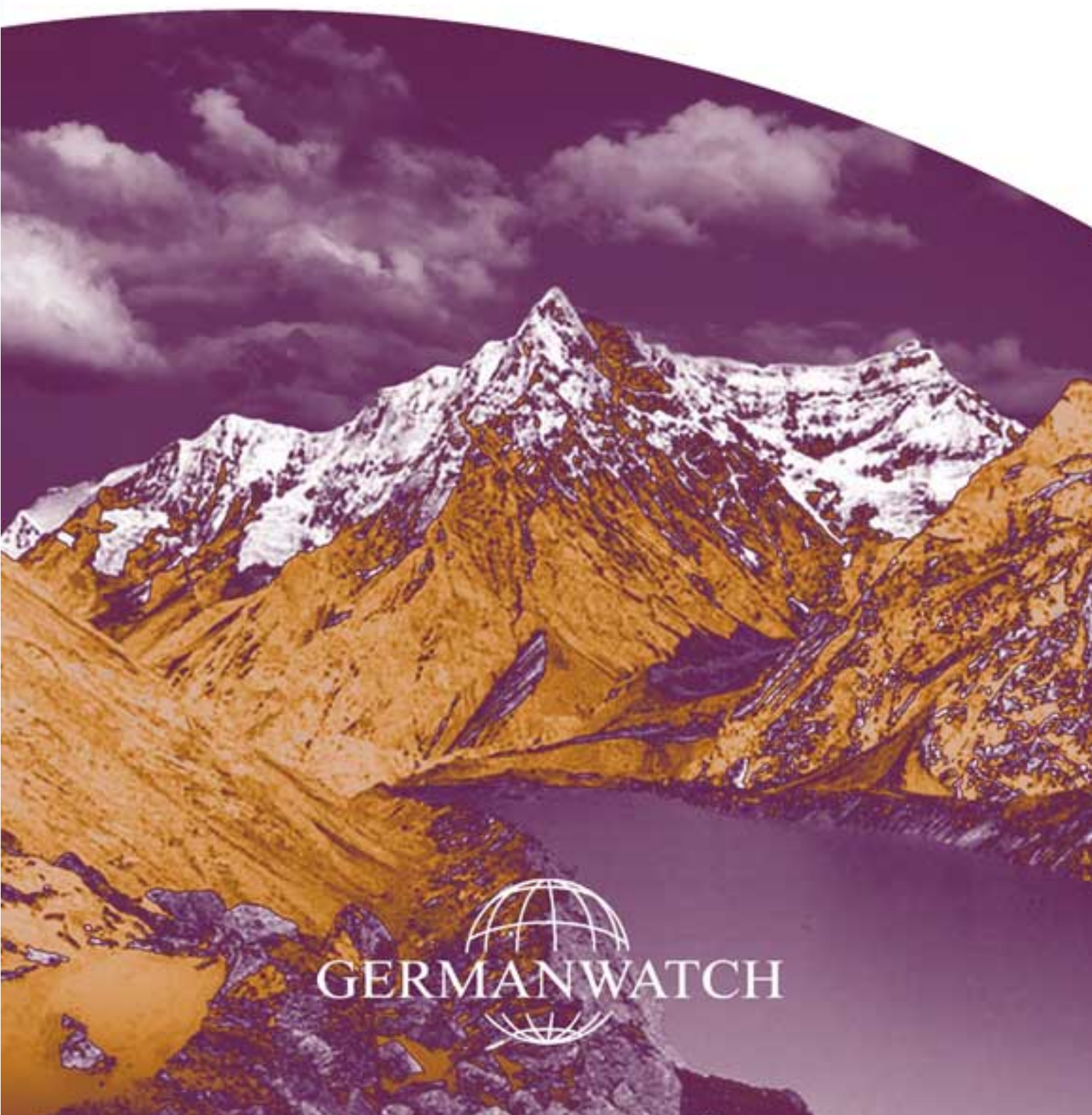


# GLETSCHERSEE-AUSBRÜCHE IN NEPAL UND DER SCHWEIZ

NEUE GEFAHREN DURCH  
DEN KLIMAWANDEL



  
GERMANWATCH

## Gletschersee-Ausbrüche in Nepal und der Schweiz – Neue Gefahren durch den Klimawandel

Der spektakuläre weltweite Rückgang von Gebirgsgletschern ist eines der sichersten Anzeichen für den globalen Klimawandel, der seit Mitte des 19. Jahrhunderts zu beobachten ist. Gebirgsgletscher gelten deshalb als Schlüsselindikatoren für Klimaänderungen und dienen als eine Art „globales Fieberthermometer“ (Haeberli et al. 1998, IPCC 2001, OcCC 2002). Und obwohl der Temperaturanstieg von 0,6°C im letzten Jahrhundert auf den ersten Blick gering erscheinen mag, sind seine Auswirkungen gewaltig. Alleine die Alpengletscher haben bis in die 1970er Jahre etwa ein Drittel ihrer Fläche und die Hälfte ihrer Masse eingebüßt. Von den geschätzten 130 km<sup>3</sup> Eisreserven sind seit den 1980er Jahren nochmals 10-20% verloren gegangen (Maisch/ Haeberli 2003).

In Ländern mit Hochgebirgsregionen liefert eine solche Entwicklung Grund zur Sorge, weil mit dem Abschmelzen von Gletschern das Risiko durch glazial bedingte Gefahren steigt. Eines dieser Risiken stellen Gletschersee-Ausbrüche (Glacial Lake Outburst Floods) dar. Durch das Abschmelzen von Gletschern bilden sich glaziale Seen hinter Moränen oder Eisdämmen. Diese Dämme sind vergleichsweise instabil und können plötzlich durchbrechen, wodurch oftmals riesige Wasser- und Schuttmengen abfließen. Innerhalb weniger Stunden können Millionen Kubikmeter Wasser freigesetzt werden und katastrophale Überflutungen talabwärts hervorrufen, mit schwerwiegenden Schäden für Men-

schen, Besitztümer, Wald, Landwirtschaft und Infrastruktur. Die Schäden können sogar hunderte von Kilometern entfernt auftreten.

Das Phänomen der Gletschersee-Ausbrüche veranschaulicht auf dramatische Weise die möglichen Folgen der globalen Klimaänderung auf lokaler Ebene. Zugleich wird anhand dieses Indizes des anthropogen verursachten Treibhauseffektes deutlich, wie verschieden die Ausgangslagen in Industrie- und Entwicklungsländern sind, auf derartige Folgen zu reagieren, wie die Beispiele aus der Schweiz und Nepal zeigen. Beide Länder werden in zunehmendem Maße mit glazialen Gefahren konfrontiert, ihre Möglichkeiten darauf zu reagieren, unterscheiden sich jedoch erheblich.



**Gletschersee-Ausbrüche können gewaltige Massen transportieren, wie diesen Fels in Nepal, der ca. 200 Tonnen wiegt (Foto: Richardson / Reynolds).**

### Gletschersee-Ausbrüche - Glacial Lake Outburst Floods (GLOFs)

Die Abkürzung GLOFs steht für Fluten, die durch den Ausbruch von Gletscherseen entstehen, welche hinter natürlichen Dämmen innerhalb, auf, oder am Rande von Gletschern aufgestaut werden. GLOFs sind kein neues Phänomen, jedoch hat sich mit dem weltweiten Rückzug der Gletscher und den steigenden Temperaturen die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens in vielen Gebirgsregionen erhöht.

„Fluten von Gletschern stellen generell das größte und weitreichendste glaziale Risiko mit dem höchsten Katastrophen- und Schadenspotential dar“ (Richard / Gay 2003).

Glaziale Seen sind wie natürliche Wasserreservoirs, die durch Eis oder Moränen gestaut werden.

Ein Ausbruch eines solchen Sees kann durch verschiedene Faktoren ausgelöst werden: Eis- oder Steinlawinen, das Brechen des Moränendamms aufgrund des Abschmelzens von eingelagertem Eis, das Auswaschen von Feinmaterial durch Quellen, die durch den Damm fließen (piping), Erdbeben oder plötzlichen Zufluss von Wasser in den See, beispielsweise durch starken Regen oder das Abfließen von Wasser aus höherliegenden Gletscherseen.

„Die höchste Konzentration von Ausbrüchen aus Moränen-gestauten Seen ist im mittleren Himalaya um Mount Everest zu beobachten“ (Singh/ Singh 2001).



## Der Fall Nepal

Nepal hat in seiner Geschichte mehrere Gletschersee-Ausbrüche aus einer Vielzahl von Gletscherseen erlebt, von denen einige sogar außerhalb des eigenen Territoriums liegen. Obwohl andere Naturkatastrophen wie Überflutungen in Folge von Regenfällen, Erdbeben, Erdrutschen oder Flächenbränden in den letzten Jahrzehnten das Leben tausender Nepalesen gefordert haben, werden Gletschersee-Ausbrüche aufgrund ihres Zerstörungspotenzials, das einem einzigen Ereignis innewohnt, gefürchtet (Kattelman 2003).

Besonders der Ausbruch des Dig Tsho Gletschersees am 4. August 1985, in einem Tal in der Nähe des Mount Everest, erregte sowohl national als auch international Aufsehen und richtete die Aufmerksamkeit auf potenziell gefährliche Gletscherseen im Hoch-Himalaya. Eine Eislawine war in den See gestürzt und erzeugte eine fünf Meter hohe Flutwelle, die den Moränendamm überflutete. Der etwa 1500m lange, 300m breite und 18m tiefe See floss innerhalb von 4-6 Stunden fast vollständig aus. Die Flut zerstörte Brücken, Häuser, landwirtschaftliche Nutzflächen sowie das fast fertiggestellte Namche Kleinwasserkraftwerk, das zwei Wochen vor seiner Einweihung stand und verursachte einen geschätzten Schaden von 1,5 Mio. US\$. Bemerkenswerterweise kamen nur 4-5 Menschen in den Fluten ums Leben, weil gleichzeitig ein Sherpa-Festival stattfand und deshalb nur wenige Menschen auf den Wegen unterwegs waren (ICIMOD/ UNEP 2002; Kattelman 2003).

Durch die ansteigenden Temperaturen sind viele große Gletscher rapide geschmolzen, was zum Entstehen einer großen Anzahl von Gletscherseen führte. Im Durchschnitt ist die Lufttemperatur im Himalaya heute um ein Grad Celsius höher als in den 1970er Jahren und steigt pro Jahr um 0,06°C an (Shrestha et al. 1999). Vor zwei Jahren haben Wissenschaftler des Umweltprogramms der Vereinten Nationen (UNEP) und des International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) in Nepal 3.252 Gletscher und 2.323 Gletscherseen identifiziert, von denen etwa 20 als potenziell gefährlich eingestuft wurden.

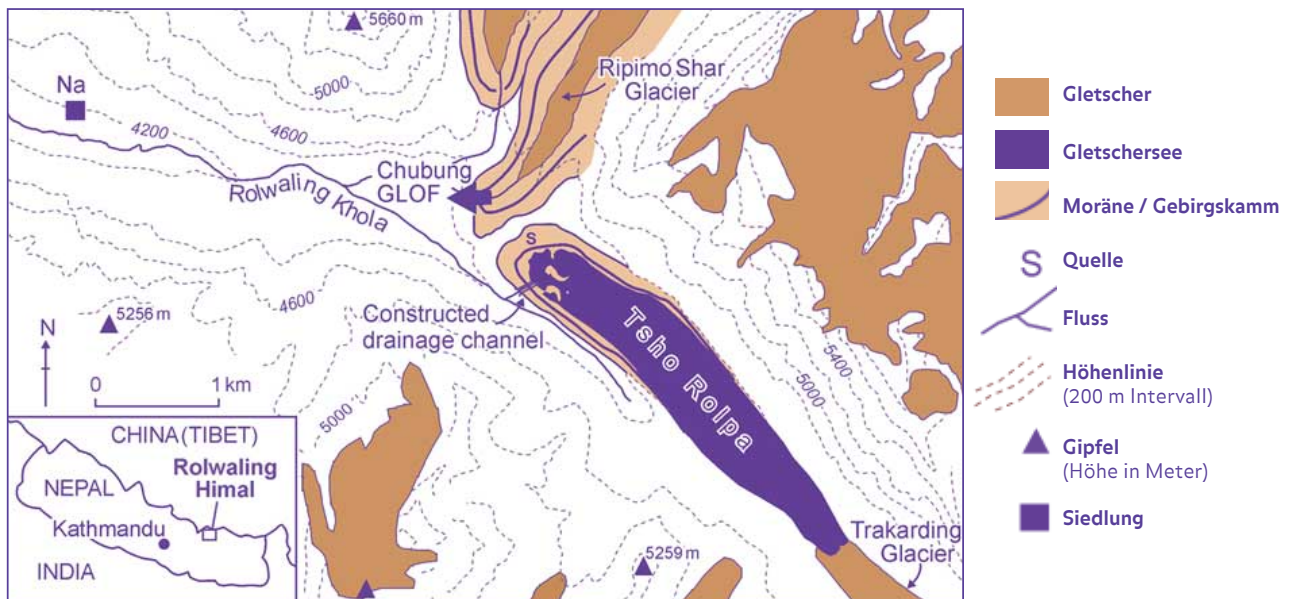
Einer der als kritisch eingestuften Seen ist der Tsho Rolpa-See. Tsho Rolpa ist der See der Superlative: auf dem Gebiet Nepals ist er der größte proglaziale Moränen-gestaute See, der am besten erforschte und bekannt als der gefährlichste Gletschersee. Er liegt auf einer Höhe von 4.580 m über dem Meeres-

spiegel und wird durch den Tradkarding-Gletscher gespeist, der sich mit einer Geschwindigkeit von über 20 m jährlich zurückzieht, in einigen Jahren der letzten Dekade sogar mit 100m pro Jahr (Rana et al. 2000; UNEP 2002). Untersuchungen haben gezeigt, dass der See aufgrund des Abschmelzens des Gletschers auf das sechsfache seiner ursprünglichen Größe angewachsen ist – von 0,23 km<sup>2</sup> in den späten 1950er Jahren auf ca. 1,5 km<sup>2</sup> heute. Diese Entwicklung stellt ein hohes Risiko für die talabwärts lebende Bevölkerung dar. Die Wassermenge, die bei einem Ausbruch freigesetzt würde, beliefe sich auf rund 30 Mio. m<sup>3</sup> (Rana et al. 2000). „Eine Flut aus diesem See könnte schwere Schäden im 108 km

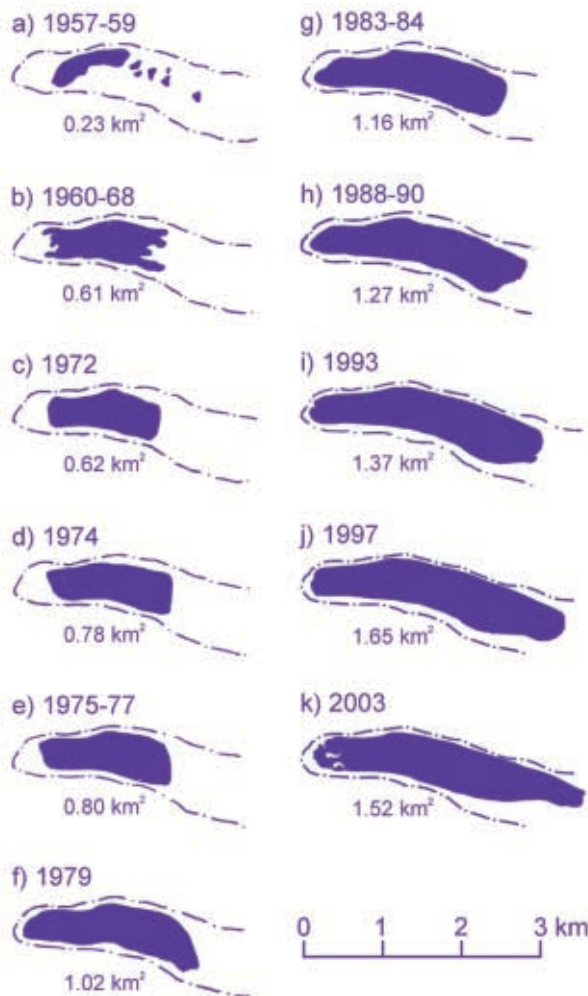


**Tsho Rolpa ist bekannt als der gefährlichste Gletschersee in Nepal. Er liegt auf einer Höhe von 4.580 m über NN an der Quelle des Rolwaling Khola Flusses im Tama Koshi Becken. Im Moment ist er 3,3 km lang und 0,5 km breit, bedeckt eine Fläche von ca. 1,5 km<sup>2</sup> und fasst nahezu 100 Millionen m<sup>3</sup> Wasser. Er ist im Durchschnitt 55m tief, an seiner tiefsten Stelle ca. 132m (Quelle: Rana et al.2000, RGSL 2003; Foto: RGSL)**

flussabwärts liegenden Dorf Tribeni anrichten. Etwa 10.000 Menschenleben, tausende von Viehbeständen, landwirtschaftliche Nutzflächen, Brücken und andere Infrastrukturobjekte sind hierdurch bedroht“, so Pradeep Mool, Fernerkundungs-Spezialist bei ICIMOD. Ähnlich wie der Dig Tsho Ausbruch von 1985 bedroht der Tsho Rolpa auch ein großes Wasserkraft-Projekt, das Khimti Wasserkraftwerk, einen 60 Megawatt-Komplex, der etwa 80 km unterhalb des Sees liegt. Seine Zerstörung würde Wiederaufbaukosten von rund 22 Mio. US\$ zuzüglich der Verluste in der Stromerzeugung verursachen (Richardson 2004).



Übersichtskarte des Tsho Rolpa Gletschersees und des Rolwaling Himal (Grafik: Richardson, 2004)



Aufgrund des Abschmelzens des angrenzenden Gletschers ist der Tsho Rolpa See auf mehr als das sechsfache angewachsen, von einer Fläche von 0,23 km<sup>2</sup> in den späten 1950er Jahren auf auf ca. 1,5km<sup>2</sup> im Jahr 2003 (Grafik: RGSL)

## Kostspielige Anpassungs-Maßnahmen am Tsho Rolpa See

Um das Risiko zu mindern, wurde im Mai 1998 das erste Flut-Frühwarnsystem in Nepal installiert, das die Menschen flussabwärts vom Tsho Rolpa See bei einem Ausbruch warnt. Zusätzlich ist seit dem Jahr 2000 ein offen liegender Kanal in Betrieb, wodurch der Wasserspiegel um 3m abgesenkt wurde. Man geht davon aus, dass sich hierdurch die Wahrscheinlichkeit eines Ausbruchs um rund 20% verringert (Rana et al. 2000). Allerdings ist dies keine dauerhafte Lösung. „Es gibt Befürchtungen, dass der See nach wie vor den Moränen-Damm durchbrechen könnte, weil das darin eingelagerte Eis schmilzt, wodurch die Stabilität des Damms weiter abnimmt“, erklärt Dr. Shaun Richardson, leitender Geologe von Reynolds Geo-Sciences Ltd (RGSL). Die Firma war an der Beurteilung und den Absicherungsmaßnahmen des Tsho Rolpa Sees seit 1994 im Auftrag der nepalesischen Regierung beteiligt. Vorläufige Einschätzungen ergaben, dass eine weitere Absenkung des Sees um 17m notwendig ist, um dauerhaft einen Ausbruch zu verhindern (s. Rana et al. 2000).

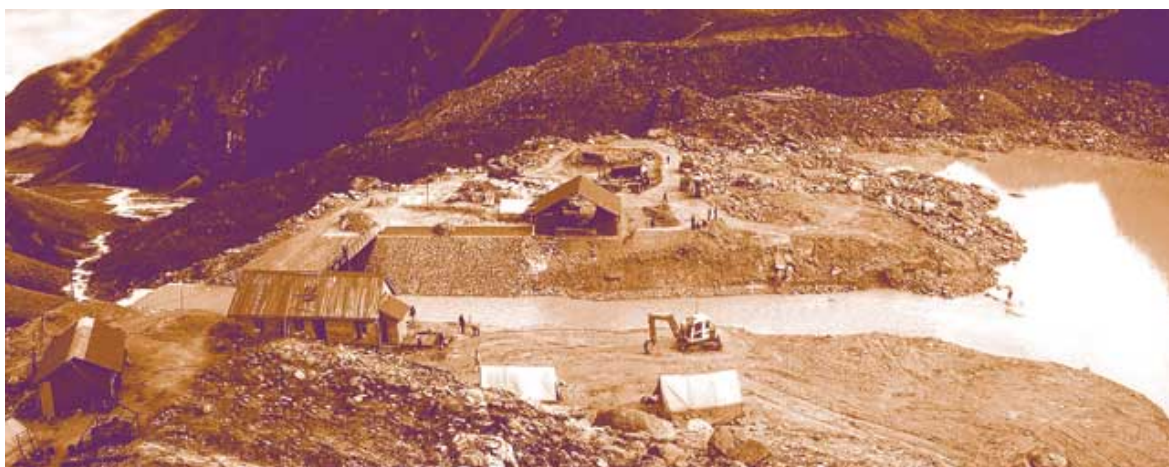
Die zuständige Regierungsbehörde, das Ministerium für Hydrologie und Meteorologie (DHM), erarbeitet momentan entsprechende Pläne für eine nächste Phase aus. Für deren Umsetzung ist Nepal allerdings auf finanzielle Unterstützung der internationalen Gebergemeinschaft angewiesen, wie es be-

reits in früheren Phasen der Fall gewesen ist. Das Flut-Frühwarnsystem für Tsho Rolpa kostete etwa eine Million US\$, die von der Weltbank finanziert wurden. Zur Absenkung des Wasserspiegels stellte die niederländische Regierung Mittel von fast 3 Mio. US\$ zur Verfügung. Nepal konnte einen kleinen Anteil von 231.000 US\$ zum Projekt beisteuern.

Tsho Rolpa ist nur ein Beispiel eines wachsenden Risikos. Es werden dringend Finanzmittel benötigt, um Beobachtungs- und Frühwarnsysteme auch für andere Gletscherseen zu entwickeln, wenn weitere Katastrophen verhindert werden sollen. „Was Nepal betrifft, so wird sein Gefahrenpotenzial weiter an-

fiziert, die einen erheblichen Einfluss auf die Wasserkraft, die Existenzgrundlagen der ländlichen Bevölkerung und die Landwirtschaft haben (Agrawala et al. 2003). Betrachtet man z.B. Nepals Elektrizitätssektor, so stammen 91% der Kraftwerksleistung aus Wasserkraft. „Ein verringertes Wasserkraftpotenzial könnte bedeuten, dass Nepal nach alternativen Energiequellen suchen muss, die auch fossile Brennstoffe einschließen“ erklärt Agrawala, Hauptautor eines 2004 erschienenen OECD-Berichtes.

Die Erfassung von Gletschersee-Ausbrüchen in Nepal umfasst nur einen kleinen Ausschnitt eines allgemeinen Problems in der Hindukush-Himalaya-



**Bau des Kanals am Tsho Rolpa See, 2000 (Foto: RGSL).**

steigen“, warnt Shaun Richardson. „Die langen flachen Gletscher, die sich bis in die Talsohlen erstrecken, sind meistens mit Gesteinsschutt bedeckt. Dieser Schutt dient als Puffer zwischen dem Gletscher und den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gletscherzunge. Deshalb nimmt man als Folge an, dass die Gletscher dem Klimawandel mit einem Zeitabstand hinterher hinken. Dies bedeutet, dass, wenn die Gletscher wärmeren Bedingungen ausgesetzt werden und sich auf ihnen Teiche bilden, die Geschwindigkeit, mit der Gletscher schmelzen und die Teiche anwachsen, sehr hoch und irreversibel sein kann. Viele Gletscher befinden sich in einem solchen Zustand.“

Für ein armes Land wie Nepal, das nicht einmal in der Lage ist, die Präventionskosten zu übernehmen, sind dies schlechte Aussichten, ganz zu schweigen von den potenziellen Verlusten, die mit einem weiteren Ausbruch verbunden wären. Eingehende Analysen der Wasserressourcen Nepals haben zudem Gletschersee-Ausbrüche und Schwankungen der Wassermengen in Flüssen als die beiden entscheidenden Auswirkungen des Klimawandels identi-

Region. Viele Fluten in Nepal finden ihren Ausgangspunkt in Tibet so wie andererseits Fluten aus Nepal Auswirkungen in Indien oder sogar Bangladesch haben können. Trotz der wachsenden Gefahr gibt es immer noch keine detaillierte Bestandsaufnahme der Gletscher und Gletscherseen in der Region, geschweige denn der Auswirkungen auf die flussabwärts lebende Bevölkerung und getätigte Investitionen.

Abgesehen von der Minderung der Risiken auf lokaler Ebene kann nur die Reduktion der Treibhausgase die globale Erwärmung und damit den Rückzug der Gletscher auf lange Sicht verhindern. Dies ist zentral, weil die Folgen nicht nur die direkten Gefahren durch See-Ausbrüche für die Bevölkerung Nepals umfassen. Die Wasserreserven für fast 500 Millionen Menschen flussabwärts sind durch den Rückzug der Gletscher gefährdet. Die Gletscher des Hindukush-Himalaya dienen als erneuerbarer Süßwasser-Speicher und als ganzjährige Wasserquelle der Flüsse Indus, Brahmaputra, Mekong und Ganges – gerade dann, wenn es am nötigsten ist – in der heißen Trockenzeit vor dem Monsun (Gustard/ Cole 2002).



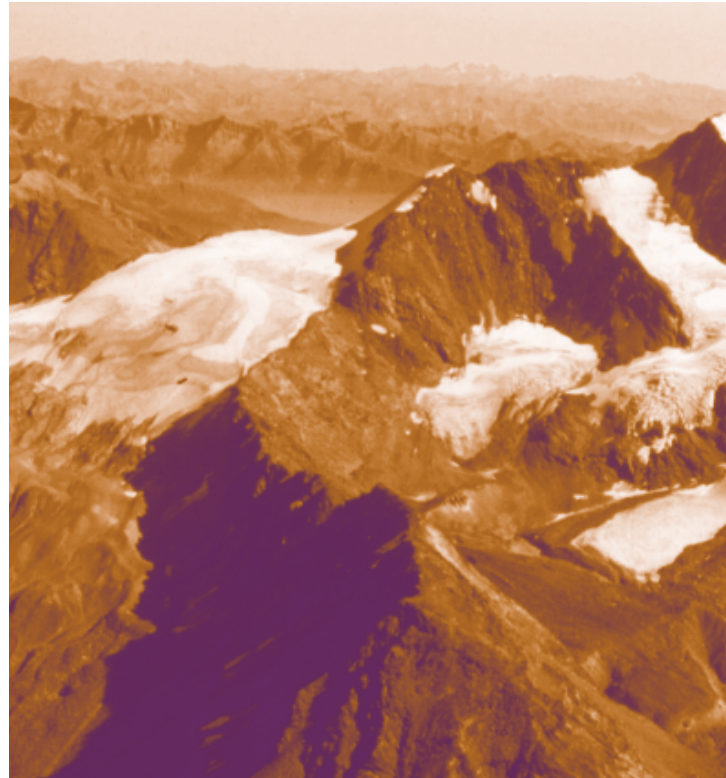
## Der Fall Schweiz

Steht man heute am Rande einer der schönsten Gletscherrandseen der Schweizer Alpen, dem Märjelensee, so erinnert seine bescheidene Ausdehnung kaum an seine einstige Gefährlichkeit und seine zahlreichen Ausbrüche. Mit einem Volumen von ca. 11 Millionen m<sup>3</sup>, ähnlich groß wie der Dig Tsho See in Nepal vor seinem Ausbruch, versetzte er noch im Jahr 1878 die naheliegende Bevölkerung von Fieschertal und Fiesch in Angst und Schrecken. Bei diesem bedrohlichen Hochstand bedurfte es lediglich eines kräftigen Unwetters, um den See ins Fieschertal hinab ausbrechen zu lassen.

Die schwergeprüfte Talbevölkerung ließ sich damals wiederholt zu kaum erfüllbaren Gelübden hinreißen, durch deren Einhaltung die verheerenden Seeausbrüche vermieden werden sollten. Eines der Gelübde sah zum Beispiel den Verzicht der künstlichen Bewässerung der Felder von Samstag bis Sonntagabend vor. Da die Gelübde den Bauern auf die Dauer schadeten, wurden sie auf Gesuch der Bauern im Nachhinein vom Papst umgewandelt. Eines der eigenartigsten Versprechen, mit denen die Fiescher das Wasser des Märjelensees bannen wollten, bestand jeweils in einem Bittgang am 31. Juli in den Ernerwald am Nordosthang des Rhonetals, bei dem die Frauen keine farbige Unterwäsche tragen durften (Bachmann 1978).

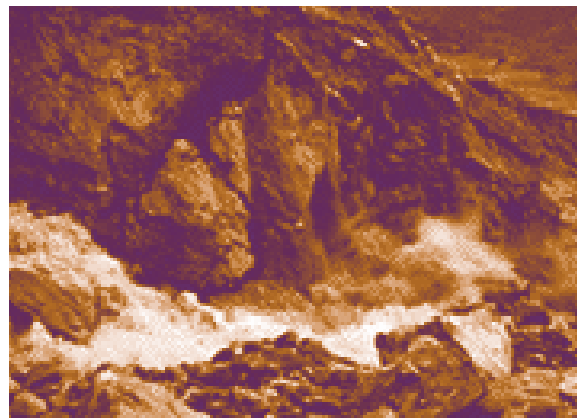
Der Märjelensee ist heutzutage aufgrund des Rückzugs des angrenzenden Aletschgletschers nahezu verschwunden. Mit ihm sind auch die alten 'Techniken' im Umgang mit jenen glazialen Risiken verschwunden – zum Glück, denn die Gefahr von Gletscherseeausbrüchen ist in der Schweiz nach wie vor gegeben. „Der Rückzug der Gletscher durch die Erwärmung der Atmosphäre kann Probleme hinsichtlich Eis-gestauter Seen an einigen Stellen beseitigen, aber auch an anderen Orten neue schaffen“, warnt Professor Wilfried Haeblerli, international anerkannter Glaziologe und Leiter des Bereichs Physische Geographie an der Universität Zürich. „In vielen Fällen ist durch den deutlichen Rückzug der Gletscher während des 20. Jahrhunderts die Situation weniger gefährlich geworden, aber andererseits haben sich neue Seen an Stellen gebildet, an denen nie zuvor Seen gewesen waren“.

Eines dieser relativ neuen Probleme entstand am Grubengletscher, der vom Gipfel des Fletschhorn in 3993m über NN in die südlichen Täler des Kanton Wallis fließt. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts sind



die Tiefsttemperaturen in der Schweiz um 2°C angestiegen (Haeblerli/ Beniston 1998), wobei der Temperaturanstieg von 0,4 bis 0,6°C in den letzten drei Jahrzehnten höher als im globalen Mittel war (0,1- 0,2°C; OcCC 2002). Als Resultat des Gletscher-rückzugs und des Auftauens des Permafrostbodens sind sechs neue Seen entstanden.

Einer dieser Seen brach im Sommer 1968 auf katastrophale Weise und verursachte schwere Schäden im Dorf Saas Balen. Der Seeausbruch erodierte etwa 400.000 m<sup>3</sup> Schutt (Haeblerli et al. 2001), was etwa 1000 Einfamilienhäusern entspricht. Ein weiterer ähnlicher Vorfall ereignete sich nur zwei Jahre später im Sommer 1970, als derselbe See ein zweites Mal ausbrach.



Der Ausbruch des Gletschersees Nummer drei 1968 und 1970 löste eine Gerölllawine aus und verursachte schwere Schäden im Dorf Saas Balen (Foto: Kääb).

Der Gruben Gletscher an seinem höchsten Punkt, dem Fletschhorn (Foto: Kääb).



Arbeitsgruppe Glacier and Permafrost Hazards in Mountains. „Der See war eine wahre Schönheit. Sein Verschwinden hinterließ im Forschungsteam eine Mischung aus Erleichterung und Bedauern.“

Momentan geht keine unmittelbare Gefahr von den verbleibenden Seen für die tieferliegende Bevölkerung aus. Der Wasserstand der Seen wurde durch Kanäle, Gräben und durch regulierbare Schleusentore abgesenkt. Durch eine anhaltende oder sogar beschleunigte Erwärmung jedoch könnte die Zunge des Grubengletschers auf ein bisher nicht bekanntes Maß abschmelzen oder gar komplett verschwinden. Dadurch könnten sich wieder größere Wassermengen ansammeln. „Die Entwicklung einer solchen potenziell gefährlichen Situation wäre ohne

### Gletschersee-Ausbrüche in der Schweiz

Seit dem Beginn der „kleinen Eiszeit“ wurden in den Schweizer Alpen mehr als 100 ungewöhnliche (nicht regelmäßige) Gletscherfluten beobachtet, wobei diese von weniger als 40 Gletschern bzw. 2-3 Prozent aller schweizer Gletscher ausgingen. Gletschersee-Ausbrüche treten vermehrt in den südlichen Tälern des Kanton Wallis auf, am häufigsten nach dem Einsetzen der Schneeschmelze in den Monaten Juni bis August (Haeberli, 1983; [www.glacierhazards.ch](http://www.glacierhazards.ch)).

Generell sind die schweizer Seen kleiner als diejenigen in Nepal und Infrastrukturobjekte und Siedlungen liegen weitaus näher an der Gefahrenzone. Als Folge können selbst kleine Gletschersee-Ausbrüche beträchtliche Schäden verursachen (Huggel 2000). In einer der weltweit am dichtesten besiedelten Gebirgsregionen hängt dies auch damit zusammen, dass sich Infrastruktur und Siedlungen immer weiter in hochalpine Regionen hinein ausbreiten.

## Gefährliche Schönheit

Als Reaktion auf diese katastrophalen Ereignisse wurden Präventionsmaßnahmen eingeführt. Die Maßnahmen erwiesen sich in der Phase des Gletscherwachstums während der 1970er und frühen 1980er Jahre als erfolgreich. Neue Probleme traten jedoch auf, als sich das Abschmelzen der Gletscher wieder beschleunigte. Erneut mussten Präventivmaßnahmen getroffen werden, um das wiederholte Entstehen einer gefährlichen Situation zu verhindern. Ein Gefahrenabwehrplan wurde zusammen mit den verantwortlichen Stellen, der Gemeinde Saas Balen, dem Kanton Wallis und der Schweizer Konföderation erstellt. „Letztendlich mussten wir einen der Seen komplett entleeren, da er zunehmend gefährlich wurde“, erinnert sich Andreas Kääb, Spezialist in der Beobachtung von glazialen Gefahren und Vorsitzender der internationalen

historischen Präzedenzfall, könnte aber durch ein angemessenes Beobachtungssystem in einem frühen Stadium erkannt werden“, sagt Haeberli. „Insgesamt haben die durch den Grubengletscher verursachten Schäden Kosten in Höhe von rund 20 Mio. Schweizer Franken verursacht. Die Kosten hingegen für eine Beobachtung, Felduntersuchungen etc., lägen bei weniger als 10% der Schadenssumme“.

**Die durch den Menschen verursachte Klimaänderung wird mehrere Jahrhunderte andauern. Um die Veränderungen des Klimas zu begrenzen, ist es nötig, weltweit die Emissionen von Treibhausgasen zu senken. Eine Stabilisierung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Atmosphäre erreicht man nur, wenn die globalen Emissionen um mehr als die Hälfte unter den heutigen Wert gesenkt werden.**

## Neue Gefahrenkarten müssen erstellt werden

Die Seeausbrüche beim Grubengletscher verdeutlichen eines der Hauptprobleme, mit denen die Schweiz durch das anhaltende Abtauen der Gletscher und des Permafrostes konfrontiert wird. Das Gefahrenpotenzial bestehender und neu entstandener Seen sowie glaziale Risiken generell können sich innerhalb kurzer Zeit ändern, insbesondere, weil in einigen Gebieten der Alpen Infrastruktur und Siedlungen erst in jüngster Zeit entstanden sind (Richard/Gay 2003). „Die Gefahren übersteigen den Erfahrungshorizont. Alte Chroniken und Aufzeichnungen erweisen sich plötzlich als ungültig und neue Gefahren können plötzlich an Stellen auftreten, die früher als sicher galten. Aufgrund dieser Entwicklung müssen neue Gefahrenkarten erstellt werden, gekoppelt mit einer konstanten Überwachung, da Veränderungen sehr schnell eintreten“, so Haerberli.

Die Vorhersage, wann und wie ein Gletschersee-Ausbruch stattfindet,

**Rhonegletscher,  
Postkarte um das Jahr 1910  
Quelle: Sammlung Gesellschaft für ökologische  
Forschung**



ist schwierig und setzt detaillierte und multi-disziplinäre Untersuchungen der gesamten Umgebung der Seen sowie der umliegenden naturräumlichen Ausstattung voraus. Im Gegensatz zu Nepal hat die Schweiz eines der am intensivsten untersuchten Gebirge der Welt und ist nicht auf auswärtige Hilfe angewiesen, um Maßnahmen ergreifen zu können. Aber ebenso wie in Nepal wird auch hier die Bedrohung durch die globale Erwärmung nicht mit den Gletschern verschwinden.

Mit dem Rückgang der Gletscher geht eine wichtige Grundlage der Bewässerungskulturen z.B. an den Flüssen Rhein, Rhone oder Po verloren. „Bereits im sehr trockenen Jahr 2003 konnten Flüsse und Bäche, die nicht durch Gletscher gespeist wurden, teilweise trockenen Fußes durchquert werden und

### Gletscherschmelze – Spiegel des menschlichen Einflusses auf den Klimawandel

Seit dem Ende des Zweiten Weltkrieges werden alljährlich Massenbilanzen für mehr als 50 Gletscher weltweit ermittelt. „Mittelt man die jährlichen Massenbilanzen der direkt gemessenen Gletscher (...), so erhält man für die Jahre seit 1980 einen mittleren jährlichen Massenverlust von etwa 30 cm. Das jährliche Abschmelzen einer solchen Eisschicht entspricht einer Leistung von

3 Watt/m<sup>2</sup>. Die Gletscherschmelze ist also ein quantitatives Maß für die Geschwindigkeit der Klimaveränderung. Den über die Gletscher-Massenbilanz ermittelten Wert von rund 3 Watt/m<sup>2</sup> kann man mit dem von den Klimatologen auf heute etwa 1 bis 2 Watt/m<sup>2</sup> geschätzten Einfluss des Menschen auf den globalen Treibhauseffekt vergleichen.“ (Maisch/ Haerberli 2003).



der Rhein bestand fast ausschließlich nur noch aus Gletscherwasser“, so Haerberli. Zusätzlich erfolgt die Wiederbedeckung von ehemaligen Gletschergebieten mit Vegetation unter den klimatischen Bedingungen von Hochgebirgen nur sehr langsam. Dies hat zur Folge, dass Gesteinsmaterial zurückbleibt, welches über Jahrzehnte oder Jahrhunderte hinweg ungeschützt gegen Erosion ist (Haerberli/ Beniston 1998).

## „Ein Stück Heimat geht verloren“

„Die Schweizer betrachten den Rückgang der Gletscher mit großer Sorge. Nicht zuletzt geht auch ein

Stück Heimat verloren“ resümiert Haerberli. Die Zeitfenster hierfür sind bereits skizziert: Vor allem kleine Gletscher und schwach vereiste Gletscherregionen sind von der Eiszerfallstendenz zunächst betroffen (Maisch et al. 2000). Die größeren und längeren Gletscher dürften aufgrund ihrer verzögerten Reaktions- und Anpassungszeit der momentanen Klimaentwicklung etliche Jahre oder gar Jahrzehnte hinterherlaufen (Maisch/ Haerberli, 2003).

Insgesamt geht man davon aus, dass bis 2035 etwa die Hälfte und nach Mitte des 21. Jahrhunderts bereits drei Viertel der heutigen schweizer Gletscher verschwunden sein werden. „Von diesem pessimistischen aber nicht extremen Szenario ist als Folge der außerordentlich warmen 1980er und 1990er Jahre bereits ein wesentlicher Teil Tatsache geworden“ (Maisch/ Haerberli 2003). „Die Ausdehnung des alpinen Eises ist heute wahrscheinlich geringer als jemals zuvor in den vergangenen 5000 Jahren“ (Haerberli/ Beniston 1998).



Der Rhonegletscher im Jahr 2003  
Quelle: Gesellschaft für ökologische Forschung, Sylvia Hamberger

Nepal und die Schweiz im Vergleich	Nepal	Schweiz
CO <sub>2</sub> -Emissionen pro Kopf (2000)	0,13 t	5,8 t
BSP (US\$)	5,5 Milliarden	267,4 Milliarden
Öffentl. Entwicklungszusammenarbeit (ODA) (US\$, 2002)	empfangen: 365 Millionen	gegeben: 933 Millionen
Bevölkerung (2002)	24,1 Millionen	7,3 Millionen
Fläche	147.200 km <sup>2</sup>	41.290 km <sup>2</sup>

(Quelle: Weltbank 2004; Deutsche Welthungerhilfe/ terre des hommes Deutschland 2003)

# Literatur

- Agrawala, S.; Raksakulthai, V.; Aalst, M. van; Larsen, P.; Smith, J.; Reynolds, J. (2003): Development and climate change in Nepal: Focus on water resources and hydropower. OECD, non-classified paper (COM/ ENV/EPOC/DCD/DAC(2003)1/Final).
- Bachmann, R.-C. (1978): Gletscher der Alpen. Bern.
- Becker, A.; Bugmann, H. (1997): Predicting global change impacts on mountain hydrology and ecology: integrated catchment hydrology/ altitudinal gradient studies. Stockholm. (IGBP Report Nr. 43, IGBP Sekretariat, Schweden).
- Beniston, M. (Hrsg., 1994). Mountain environments in changing climates. London.
- Braun, M.; Fiener, P. (1995): Report on the GLOF hazard mapping project in the Imja Khola/Dudh Kosi valley, Nepal. Kathmandu. (German Agency for Technical Cooperation).
- Budhathoki, Interview, 20.07.2004
- Deutsche Welthungerhilfe; terre des hommes Deutschland (Hrsg., 2003): Die Wirklichkeit der Entwicklungshilfe. Elfter Bericht 2002/ 2003. Eine kritische Bestandsaufnahme der deutschen Entwicklungspolitik. Bonn, Osnabrück.
- Fushimi, H.; Ikegami, K.; Higuchi, K.; Shankar, K. (1985): Nepal case study: Catastrophic floods. In: AHS Publication, Band 149: 125 – 130.
- Gustard, A.; Cole, G., A. (Hrsg., 2002): FRIEND a global perspective 1998 - 2002. Wallingford, [www.nerc-wallingford.ac.uk/ih/www/research/FRIENDreport/FRIENDvolume.pdf](http://www.nerc-wallingford.ac.uk/ih/www/research/FRIENDreport/FRIENDvolume.pdf)
- Haerberli, W. (1983): Frequency and characteristics of glacier floods in the Swiss Alps. In: *Annals of glaciology*, Band 4, 85 – 90.
- Haerberli, W. (1995): Climate change impacts on glaciers and permafrost. In: Guisan, A., Holten, J.I., Spichiger, R. and Tessier, L. (Hrsg.): Potential ecological impacts of climate change in the Alps and Fennoscandian mountains. In: Ed. *Conserv. Jard. Bot. Geneva*, 97-103.
- Haerberli, W. (1999): Hangstabilitätsprobleme im Zusammenhang mit Gletscherschwund und Permafrostdegradation im Hochgebirge. In: *Relief, Boden, Paläoklima*, Band 14, 11- 30.
- Haerberli, W. et al. (1989): Assessing the risks from glacier hazards in high mountain regions: some experiences in the Swiss Alps. In: *Annals of Glaciology*, Band 13, 77-101.
- Haerberli, W. et al. (1999): Eisschwund und Naturkatastrophen im Hochgebirge. Zürich. (Schlussbericht im Rahmen des nationalen Forschungsprogrammes „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, NFP 31).
- Haerberli, W. et al. (2001): Prevention of outburst floods from periglacial lakes at Gruben Glaciers, Valais, Swiss Alps. In: *Journal of Glaciology*, Band 47, 111-122.
- Haerberli, W., Telefoninterview, 4.5.2004.
- Haerberli, W.; Beniston, M., (1998): Climate change and its impacts on glaciers and permafrost in the Alps. *Ambio*, Band 27, 258-265.
- Haerberli, W.; Hoelzle, M.; Maisch, M.(1998): Gletscher - Schlüsselindikatoren der globalen Klimaerwärmung. In: Lozán, J.L.; Grassl, H.; Hupfer, P. (Hrsg.): *Warnsignal Klima - Wissenschaftliche Fakten*. Wissenschaftliche Auswertungen, S. 213 - 221.
- Haerberli, W.; Burn, C.R. (in Vorb.): Natural hazards in forests: Glacier and permafrost effects as related to climate change.
- Haerberli, W.; Zumbühl, H. (2003): Schwankungen der Alpen-gletscher im Wandel von Klima und Perzeption. In: Jeanneret, F.; Wastl-Walter, U.; Wiesmann, U.: *Welt der Alpen – Gebirge der Welt*. Jahrbuch der Geographischen Gesellschaft Bern, Band 61.
- Huggel, C.; Haerberli, W.; Käab, A. (2000): Compilation of historical data as a basis for analyses of glacier floods and ice avalanches in the Swiss Alps. In: *Proceedings of the European Geophysical Society (EGS) 25th General Assembly, Nice, 24 – 29 April 2000*. Abstracts, Band 2.
- ICIMOD et al. (2001): *State of the environment: Nepal 2001*. Kathmandu.
- ICIMOD, UNEP (2002): *Glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods in Nepal*. Poster Präsentation, [www.rrcap.unep.org/issues/glof/allpostersfor2002april15&16.pdf](http://www.rrcap.unep.org/issues/glof/allpostersfor2002april15&16.pdf)
- Ives, J. (1986): *Glacial lake outburst floods and risk engineering in the Himalaya*. Kathmandu. (ICIMOD, Occasional Paper No. 5).
- Käab, A.; e-mail, 11.06.2004
- Käab A., Wessels R.; Haerberli W., Huggel C.; Kargel J.S.; Khalsa S.J.S (2003): Rapid ASTER imaging facilitates timely assessment of glacier hazards and disasters . *EOS, Transactions, American Geophysical Union*. 84(13). 117, 121.
- Käab, A.; Reynolds, J.M.; Haerberli, W. (in Vorb.): Glacier and permafrost hazards in high mountains. In: Ulli Huber, Harald Bugmann, Mel Reasoner (Hrsg): *Global change and mountain regions: A state of knowledge overview*. Kluwer Academic Publishers. <http://mri.sanwnet.ch/pages/SOKOTOC.html>
- Kattelmann, Richard (2003): *Glacial lake outburst floods in the Nepal Himalaya: A manageable hazard?* In: *Natural hazards*, Band 28, 145 – 154.
- Maisch, M.; Haerberli, W. (2003): Die rezente Erwärmung der Atmosphäre. Folgen für die Schweizer Gletscher. In: *Geographische Rundschau*, Band 55 (2), 4 – 13.



- Maisch, M.; Wipf, A.; Denneler, B.; Battaglia, J.; Benz, C. (2000)<sup>2</sup>: Die Gletscher der Schweizer Alpen: Gletscherhochstand 1850, aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien. Zürich. (Projektschlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, NFP 31).
- Mool, P. K.; Bajracharya, S. R.; Joshi, S. P. (2001): Inventory of glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods: monitoring and early warning systems in the Hindu Kush-Himalayan region - Nepal. Kathmandu. (ICIMOD).
- Mool, P. K.; Wangda, D.; Bajracharya, S. R. (2001): Inventory of glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods: monitoring and early warning systems in the Hindu Kush-Himalayan region - Bhutan. Kathmandu. (ICIMOD).
- OcCC (2002): Das Klima ändert – auch in der Schweiz. Die wichtigsten Ergebnisse des dritten Wissenstandsbericht des IPCC aus der Sicht der Schweiz. Bern.
- OcCC (Hrsg., 2002): Extremereignisse und Klimaänderung, [www.occc.ch](http://www.occc.ch)
- Paul, F.; Huggel, C.; Käab, A.; Salzmann, N.; Maisch, M.; Haeblerli, W. (in Druck): Glacier change and related hazards in Switzerland. The diminished earth – an atlas of global change, UNEP, GRID. Geneva.
- Rana, B.; Shrestha, A.B.; Reynolds, J.M.; Aryal, R.; Pokhrel, A.P.; Budhathoki, K.P. (2000): Hazard assessment of the Tsho Rolpa Glacier Lake and ongoing remediation measures. In: Journal of Nepal Geological Society, Band 22, 563 – 570.
- Raymond, M.; Wegmann, M.; Funk, M. (2003): Inventar gefährlicher Gletscher in der Schweiz. Mitteilung 182, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.
- Reynolds, J.; Richardson, S. (1999): Geological Hazards - Glacial. In: Ingleton, J. (Hrsg.): Natural disaster management. A presentation to commemorate the International Decade for Natural Disaster Reduction (IDNDR), 64 – 65.
- Reynolds, J.M. (1998): High-altitude glacial lake hazard assessment and mitigation: a Himalayan perspective. In: Maund, J.G.; Eddleston, M. (Hrsg.): Geohazards in engineering geology. Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, Band 15, 25 – 34.
- Reynolds, J.M. (1999): Glacial hazard assessment at Tsho Rolpa, Rolwaling, Central Nepal. In: Quarterly Journal of Engineering Geology, Band 32, 209 – 214.
- Richard, D.; Gay, M. (2003): Guidelines for scientific studies about glacial hazards. Survey and prevention of extreme glaciological hazards in European mountainous regions. Glaciorisk Project, Deliverables, <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>
- Richardson, S.; Telefoninterview, 26.04.2004
- Richardson, S.D.; Reynolds, J.M. (2000): An overview of glacial hazards in the Himalayas. Quaternary International, Band 65/ 66, 31 – 47.
- Roth, U. (2000): Climate Risks - The challenge for alpine regions. Zürich.
- Röthlisberger, H. (1979): Glaziologische Arbeiten im Zusammenhang mit den Seeausbrüchen am Grubengletscher, Gemeinde Saas Balen (Wallis). Mitteilung 41, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich.
- Röthlisberger, H. (1981): Eislawinen und Ausbrüche von Gletscherseen. In: Kasser, P. (Hrsg.): Gletscher und Klima – glaciers et climat. Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, wissenschaftlicher Teil, 170 - 212.
- Shrestha, A. B.; Rana, B.; Aryal, R.; Pokhrel, A. P. (2001). Hazard assessment and remediation work at Tsho Rolpa Glacier Lake, Rolwaling Himal, Nepal. In: Journal of Japanese Society of Civil Engineers, Band 86, 72 -75.
- Shrestha, A.; e-mail , 27.07.2004
- Shrestha, A. B.; Wake, C. P.; Mayewski, P. A.; Dibb, J. E. (1999): Maximum temperature trends in the Himalaya and its vicinity: An analysis based on temperature records from Nepal for the period 1971-94. In: Journal of Climate, Band 12, 2775 -2787.
- Singh, P. and V.P. Singh (2001): Snow and Glacier Hydrology. Dordrecht.
- UNEP (2002): Global warming triggers glacial lakes flood threat. Himalayan mountain lakes at high risk of bursting their banks with devastating consequences for people and property. UNEP News Release, Geneva, London, 16. April 2002.
- Upreti, B.N. and Dhital, M.R. (1996): Landslide hazard management and control in Nepal. Kathmandu. (ICIMOD).
- Wanner, H. et al. (2000): Klimawandel im Schweizer Alpenraum. Zürich, <http://www.vdf.ethz.ch/autoren/a.html>
- Watanabe, T.; Rothacher, D. (1996): The 1994 Lugge Tsho glacial lake outburst flood, Bhutan Himalaya. In: Mountain Research and Development, Band 16 (1), 77-81.
- Watanabe, T.; Ives, J.D.; Hammond, J.E. (1994): Rapid growth of a glacier lake in Khumbu Himal, Nepal: Prospects for a catastrophic flood. In: Mountain Research and Development, Band 14, 329 – 340.
- Weltbank (2004): World Development Indicators database, <http://www.worldbank.org/data/countrydata/countrydata.html> – [www.glacierhazards.ch](http://www.glacierhazards.ch)
- Yamada, T. (1998): Glacier lake and its outburst flood in the Nepal Himalaya. Tokyo. (Data Center for Glacier Research, Japanese Society of Snow and Ice, Monograph 1).

## Was macht Germanwatch?

Germanwatch e.V. setzt sich seit 1991 für eine soziale und ökologische Gestaltung der Globalisierung ein. Wir arbeiten u.a. auf folgende Ziele hin:

- ▶ wirkungsvolle, gerechte Instrumente und ökonomische Anreize für den Klimaschutz
- ▶ faire Chancen für Entwicklungsländer durch Abbau von Dumping und Subventionen im Agrarhandel; gerechter Welthandel
- ▶ ökologisches und soziales Investment
- ▶ Einhaltung sozialer und ökologischer Standards durch multinationale Unternehmen

Durch den Dialog mit Politik und Wirtschaft sowie durch Medien- und Öffentlichkeitsarbeit fördert Germanwatch notwendige Denk- und Strukturver-

änderungen. Die ökonomische und ökologische Umorientierung im Norden ist die Voraussetzung dafür, dass die Menschen im Süden unter menschenwürdigen Bedingungen leben und alle Regionen sich nachhaltig entwickeln können.

Auch Sie können sich für diese Ziele engagieren. Werden Sie Germanwatch-Mitglied oder unterstützen Sie uns durch eine Spende.

Germanwatch e.V.  
Kontonr. 32 123 00, BLZ 100 205 00  
Bank für Sozialwirtschaft AG

Vielen Dank!

Weitere Informationen finden Sie unter [www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

Eine englische Version dieser Broschüre kann unter [www.climate-responsibility.org](http://www.climate-responsibility.org) heruntergeladen werden.

**Für weitere Informationen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Entwicklungsländer siehe [www.klimaausbadekampagne.de](http://www.klimaausbadekampagne.de)**

Autorin: Britta Horstmann

Layout:  
ART:BÜRO Dietmar Putscher, Köln

© Germanwatch 2004

Mit finanzieller Unterstützung des



Bundesministerium für  
wirtschaftliche Zusammenarbeit  
und Entwicklung

### Kontakt

Germanwatch  
Büro Bonn  
Dr. Werner-Schuster-Haus  
Kaiserstraße 201  
D-53113 Bonn  
Tel.: +49 (0) 228 - 60492-0

Germanwatch  
Büro Berlin  
Voßstraße 1  
D-10117 Berlin  
Tel.: +49 (0) 30 - 28 88 356-0

E-Mail: [info@germanwatch.org](mailto:info@germanwatch.org)  
[www.germanwatch.org](http://www.germanwatch.org)

