

Gletschersee-Ausbrüche in Nepal - Neue Gefahren durch den Klimawandel

Von Britta Horstmann und Sven Anemüller

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 „globales Fieberthermometer“ (Haeberli et al. 1998, OcCC 2002). Auch wenn der Temperaturanstieg von 0,6 Grad Celsius seit Mitte des 19. Jahrhunderts auf den ersten Blick gering erscheinen mag, sind seine Auswirkungen gewaltig. Alleine die Alpengletscher haben bis in die 1970er Jahren etwa ein Drittel ihrer Fläche und die Hälfte ihrer Masse eingebüßt. Von den geschätzten 130 Kubikkilometern Eisreserven sind seit den 1980er Jahren nochmals zehn bis zwanzig Prozent verloren gegangen. Im Himalaya befinden sich schätzungsweise drei Viertel der Gletscher mit alarmierendem Tempo auf dem Rückzug.

„Wir kämpfen auch für Eure Zukunft“
Südasiens Beitrag im Ersten und Zweiten Weltkrieg

In Ländern mit Hochgebirgsregionen wie Nepal liefert diese Entwicklung der Gletscherschmelze Grund zur Sorge, weil damit auch 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 hinter Moränen oder Eisdämmen glaziale Seen. Diese Dämme sind vergleichsweise instabil und können plötzlich durchbrechen, wodurch oftmals riesige Wasser- und Schuttmengen abfließen und talabwärts katastrophale Überflutungen hervorrufen. Die schwerwiegenden Schäden für Menschen, Besitztümer, Wald, Landwirtschaft und Infrastruktur 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 lässt sich anhand dieses Indizes des

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 Schadenspotenzial dar“ (Richard/Gay 2003).

Glaziale Seen sind natürliche Wasserreservoirs, die durch Eis oder Mo-

ränen gestaut werden. Der 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, Erdbeben oder den plötzlichen Zufluss von Wasser in den See, beispielsweise durch Starkregen oder das Abfließen von Wasser aus höher liegenden Gletscherseen. „Die höchste Konzentration von Ausbrüchen aus von Moränen gestauten Seen ist im mittleren Himalaya um den Mount Everest zu beobachten“ (Singh/Singh 2001).

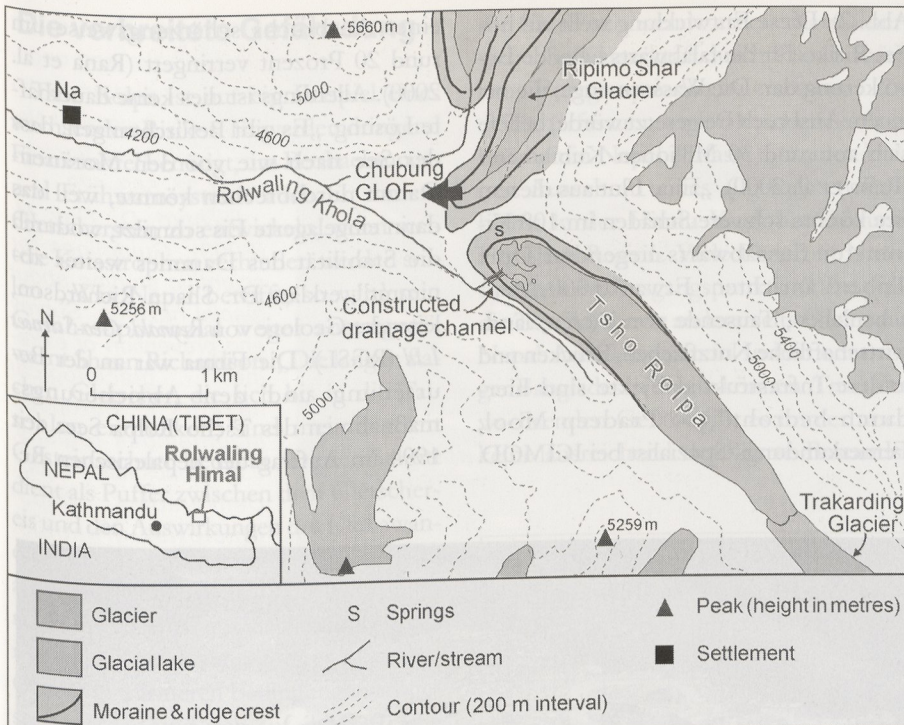


Abb. 1: Übersichtskarte des Tsho Rolpa Gletschersees und des Rolwaling Himal. (Grafik: Richardson/ RGSL)

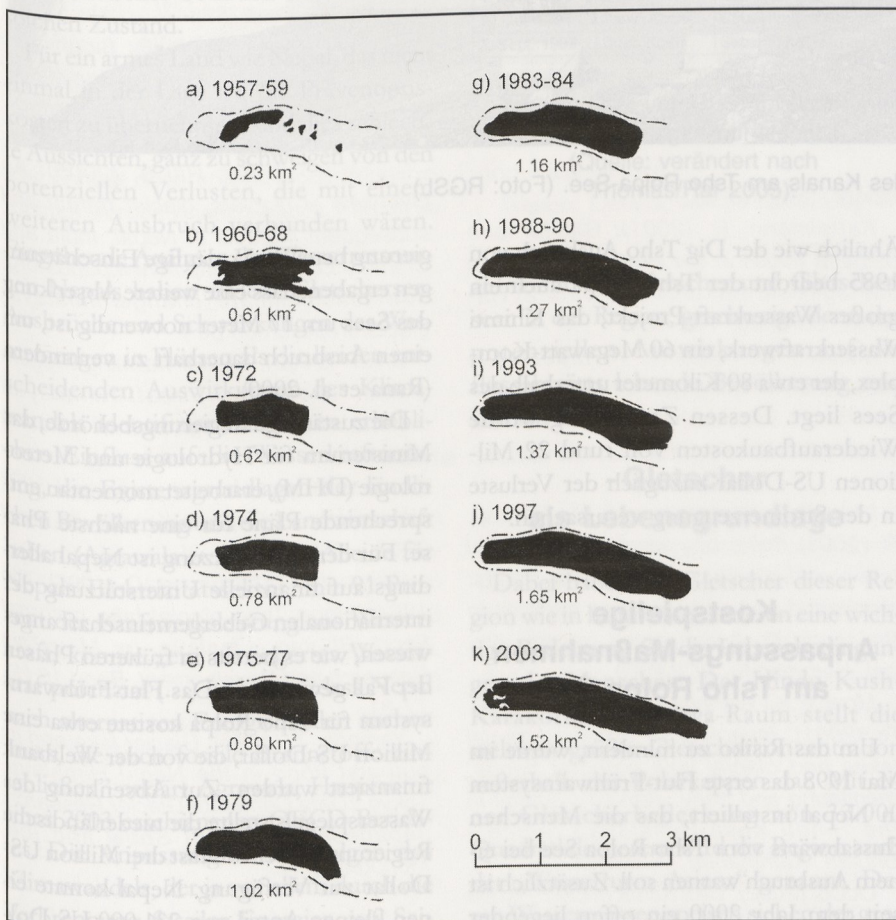


Abb. 2: Aufgrund des Abschmelzens des angrenzenden Gletschers ist der Tsho Rolpa See auf mehr als das sechsfache angewachsen. (Grafik: RGSL)

anthropogen verursachten Treibhauseffekts auch der Frage nachgehen, wie die betroffenen Länder im Rahmen ihrer natürlichen Gegebenheiten und sozio-ökonomischen Möglichkeiten auf derartige potenzielle und faktische Gefahren zu reagieren vermögen. Gerade für ein armes Land wie Nepal stellt die Konfrontation mit steigenden glazialen Gefahren eine größere Herausforderung dar als etwa für die Schweiz (Horstmann 2004).

Risikogebiet Nepal

Nepal hat in seiner Geschichte mehrere Gletschersee-Ausbrüche aus einer Vielzahl von Gletscherseen erlebt. Obwohl andere Naturkatastrophen wie Überflutungen in Folge von Regenfällen, Erdbeben, Erdbeben, Erdbeben oder Flächenbrände in den letzten Jahrzehnten das Leben Tausender Nepalesen gefordert haben, werden Gletschersee-Ausbrüche aufgrund ihres Zerstörungspotenzials, das einem einzigen Ereignis innewohnt, gefürchtet (Kattelmann 2003).

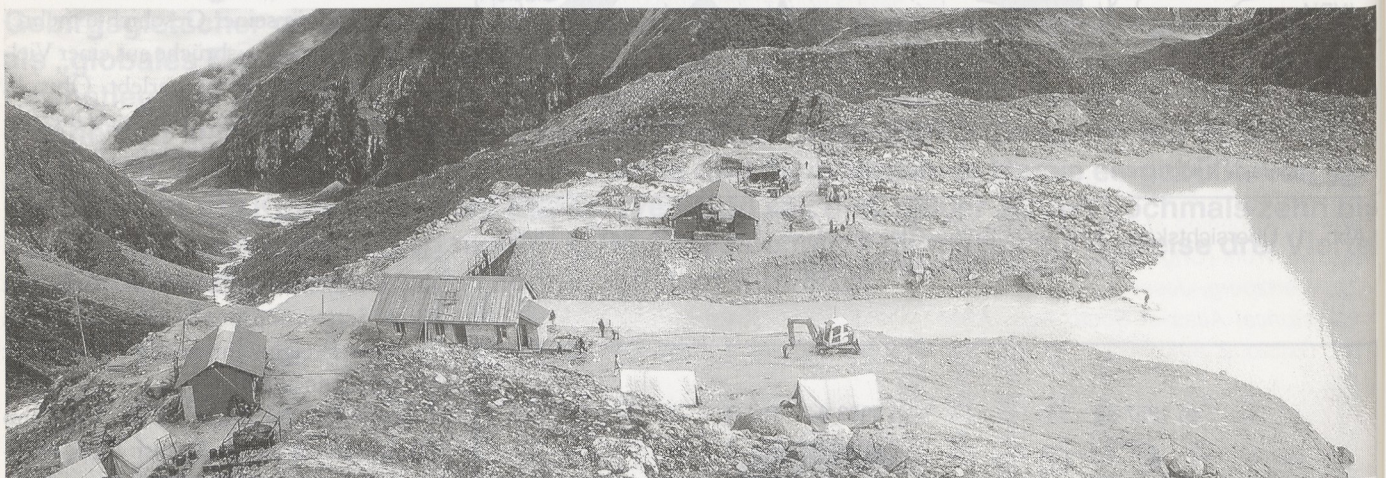
Besonders der Ausbruch des Dig Tsho Gletschersees am 4. August 1985, in einem Tal in der Nähe des Mount Everest, erregte sowohl national als auch international Aufmerksamkeit und richtete die Aufmerksamkeit auf potenziell gefährliche Gletscherseen im Hoch-Himalaya. Eine Eislawine war in den See gestürzt und erzeugte eine fünf Meter hohe Flutwelle, die den Moränenendamm überflutete. Der etwa 1.500 Meter lange, 300 Meter breite und 18 Meter tiefe See floss innerhalb von vier bis sechs Stunden fast vollständig aus. Die Flut zerstörte Brücken, Häuser, landwirtschaftliche Nutzflächen sowie das fast fertig gestellte Namche Kleinwasserkraftwerk, das zwei Wochen vor seiner Einweihung stand, und verursachte einen geschätzten Schaden von 1,5 Millionen US-Dollar. Bemerkenswerterweise kamen nur vier oder fünf 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; Kattelmann 2003).

Durch die ansteigenden Temperaturen sind viele große Gletscher rapide geschmolzen und zahlreiche Gletscherstau-

seen entstanden. 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 Grad Celsius an (Shrestha et al. 1999). Vor wenigen 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.

Abb. 2). Diese Entwicklung stellt ein hohes Risiko für die talabwärts lebende Bevölkerung dar. Die Wassermenge, die bei einem Ausbruch freigesetzt würde, belief sich auf rund 30 Millionen Kubikmeter (Rana et al. 2000). „Eine Flut aus diesem See könnte schwere Schäden im 108 Kilometer flussabwärts liegenden Dorf Tribeni anrichten. Etwa 10.000 Menschenleben, Tausende von Tieren, landwirtschaftliche Nutzflächen, Brücken und andere Infrastrukturobjekte sind hierdurch bedroht“, so Pradeep Mool, Fernerkundungs-Spezialist bei ICIMOD.

eines Ausbruchs schätzungsweise um rund 20 Prozent 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 Re-



Bau des Kanals am Tsho Rolpa-See. (Foto: RGSL)

Tsho Rolpa See - der gefährlichste Gletschersee Nepals

Einer der als kritisch eingestuften Seen ist der Tsho Rolpa-See. Tsho Rolpa ist ein See der Superlative: auf dem Gebiet Nepals ist er der größte proglaziale, von Moränen gestaute See, der am besten erforschte und bekannt als der gefährlichste Gletschersee. Er liegt auf einer Höhe von 4.580m über dem Meeresspiegel und wird durch den Tradkarding Gletscher gespeist, der sich mit einer Geschwindigkeit von jährlich mehr als 20 Metern zurückzieht, in einigen Jahren der letzten Dekade sogar mit 100 Metern pro Jahr (Rana et al. 2000; UNEP 2002). Untersuchungen zeigten, dass der See aufgrund des Abschmelzens des Gletschers auf das sechsfache seiner ursprünglichen Größe angewachsen ist – von 0,23 Quadratkilometern in den späten 1950er Jahren auf rund 1,5 Quadratkilometer heute (vgl.

Ähnlich wie der Dig Tsho Ausbruch von 1985 bedroht der Tsho Rolpa auch ein großes Wasserkraft-Projekt, das Khimti Wasserkraftwerk, ein 60 Megawatt-Komplex, der etwa 80 Kilometer unterhalb des Sees liegt. Dessen Zerstörung würde Wiederaufbaukosten von rund 22 Millionen US-Dollar zuzüglich der Verluste in der Stromerzeugung verursachen.

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 warnen soll. Zusätzlich ist seit dem Jahr 2000 ein offen liegender Kanal in Betrieb, wodurch der Wasserspiegel um 3 Meter abgesenkt wurde. Hierdurch wird die Wahrscheinlichkeit

gierung beteiligt. Vorläufige Einschätzungen ergaben, dass eine weitere Absenkung des Sees um 17 Meter notwendig ist, um einen Ausbruch dauerhaft zu verhindern (Rana et al. 2000).

Die zuständige Regierungsbehörde, das Ministerium für Hydrologie und Meteorologie (DHM), erarbeitet momentan entsprechende Pläne für eine nächste Phase. Für deren Umsetzung ist Nepal allerdings auf finanzielle Unterstützung der internationalen Gebergemeinschaft angewiesen, wie es bereits in früheren Phasen der Fall gewesen ist. Das Flut-Frühwarnsystem für Tsho Rolpa kostete etwa eine Million US-Dollar, die von der Weltbank finanziert wurden. Zur Absenkung des Wasserspiegels stellte die niederländische Regierung Mittel von fast drei Millionen US-Dollar zur Verfügung. Nepal konnte einen kleinen Anteil von 231.000 US-Dollar zum Projekt beisteuern.

Die verbreitete Gefährdung -

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 ansteigen“, 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 Gletschereis und den Auswirkungen des Klimawandels auf die Gletscherzunge. Deshalb wird angenommen, dass die Gletscher mit einem Zeitabstand auf den Klimawandel reagieren. 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 identifiziert, die einen erheblichen Einfluss auf die Wasserkraftnutzung, die Existenzgrundlagen der ländlichen Bevölkerung und die Landwirtschaft haben (Agrawala et al. 2003). Alleine für Nepals Elektrizitätssektor, mit 91 Prozent der Kraftwerksleistung aus Wasserkraft, könnte „ein verringertes Wasserkraftpotenzial (...) bedeuten, dass Nepal nach alternativen Energiequellen suchen muss, die auch fossile Brennstoffe einschließen“ erklärt Agrawala, Hauptautor eines 2003 erschienenen OECD-Berichtes. Die Anpassung an die Folgen des Klimawandels, der ja vor allem durch die Verbrennung fossiler Energien auf Seiten der Industrieländer in den letzten 100 Jahren zurückzuführen ist, könnte so paradoxerweise das Land dazu zwingen,

die Klima schonende erneuerbare Energiequelle Wasserkraft durch Klima schädliche Energieoptionen zu ersetzen.

Die Erfassung von Gletschersee-Ausbrüchen in Nepal umfasst nur einen kleinen Ausschnitt eines allgemeinen Problems in der Hindu Kush-Karakorum-Himalaya-Region. Viele Fluten in Nepal finden ihren Ausgangspunkt in Tibet (vgl. die Tabelle) so wie andererseits Fluten aus Nepal Auswirkungen in Indien oder sogar Bangladesch haben können. Trotz der wachsenden Gefahr gibt es immer noch keine ausreichend detaillierte Bestands-

Datum	Flussbett	Name des Sees, Land
vor 450 Jahren	Seti Khola	Machhapuchhare
August 1935	Sun Koshi	Taraco, Tibet
21. Sept. 1964	Arun	Gelapico, Tibet
1964	Sun Koshi	Zhangzangbo, Tibet
1964	Trishuli	Longda, Tibet
1968	Arun	Ayaco, Tibet
1969	Arun	Ayaco, Tibet
1970	Arun	Ayaco, Tibet
3. Sept. 1977	Dudh Koshi	Nare, Tibet
23. Juni 1980	Tamur	Nagmapokhri, Nepal
1. Juli 1981	Sun Koshi	Zhangzagbo, Tibet
27. Aug. 1982	Arun	Jinco, Tibet
4. Aug. 1985	Dudh Koshi	Dig Tsho, Nepal
12. Juli 1991	Tamo Koshi	Chubung, Nepal
3. Sept. 1998	Dudh Koshi	Sabai Tsho, Nepal

Tabelle: Liste von GLOFs in oder mit Auswirkungen auf Nepal.
(Quelle: verändert nach Thomas/Rai 2005).

aufnahme der Gletscher und Gletscherseen in der Region, geschweige denn der potenziellen Auswirkungen auf die flussabwärts lebende Bevölkerung und Infrastruktur.

- Gletscher als Lebensgrundlage

Dabei haben die Gletscher dieser Region wie in kaum einer anderen eine wichtige Bedeutung für die Lebensbedingungen der Menschen. Der Hindu Kush-Karakorum-Himalaya-Raum stellt die weltweit größte Gletscherkonzentration außerhalb der Polarkappen dar. Mit einer Gletscherbedeckung von 33.000 Quadratkilometern wird die Region auch der „Wasserturm Asiens“ genannt. Deren Wassermassen speisen sieben der großen Flüsse Asiens: Indus, Ganges, Tsangpo/Brahmaputra, Salween, Mekong, Yangtze und Huang He/„Gelber

Fluss“ (Dyurgerov/Maier 1997; Thomas/Rai 2005).

Durch den Rückzug der Gletscher gingen ein wertvoller Süßwasserspeicher verloren. So werden beispielsweise die Flüsse Indus, Ganges, Brahmaputra und Mekong durch die Gletscherschmelze gerade dann mit Wasser gespeist, wenn es am nötigsten ist - in der heißen Trockenzeit vor dem Sommermonsun. Schätzungsweise 500 Millionen Menschen sind auf diese Versorgung angewiesen (Gustard/Cole 2002). Eine derartige Entwicklung könnte auch durch lokale Anpassungsmaßnahmen nicht ausgeglichen werden. Nur die Reduktion der Treibhausgase und somit die Minderung der globalen Erwärmung kann auf lange Sicht den Rückzug der Gletscher verhindern.

► **Zu den Autoren:** Britta Horstmann studierte Geographie und Englisch an der Universität Bonn. Zurzeit lebt sie in Bolivien und arbeitet freiberuflich u.a. für das Öko-Institut in Berlin. Britta. Horstmann@gmx.de

Sven Anemüller ist Geograph und als Referent für Klima und Entwicklung bei der Nord-Süd-Organisation Germanwatch tätig. anemueller@germanwatch.org

Anmerkung: Der vorliegende Beitrag basiert auf der von Germanwatch 2004 veröffentlichten Publikation *Gletschersee-Ausbrüche in Nepal und der Schweiz - Neue Gefahren durch den Klimawandel* (Horstmann 2004). Wir danken Shaun Richardson von Reynolds Geo-Sciences Ltd. für die Bereitstellung der Abbildungen und Fotos sowie von Detailinformationen.

► **Literatur:** Agrawala, S. et al. (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).

Braun, M.; Fiener, P. (1995): *Report on the GLOF hazard mapping project in the Imja Khola/Dudh Kosi valley, Nepal*. Kathmandu. (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit, GTZ).

Fushimi, H. et al. (1985): *Nepal case study: catastrophic floods*. In: AHS Publication, Band 149: 125 - 130.

Gustard, A.; Cole, G., A. (Hrsg., 2002):

Gletscherschmelze – Spiegel des menschlichen Einflusses auf den Klima- wandel

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



Minapin-Gletscher im Karakorum.
(Foto: Jürgen Clemens)

FRIEND a global perspective 1998 - 2002. Wallingford (www.nerc-wallingford.ac.uk/ih/www/research/FRIENDreport/FRIENDvolume.pdf).

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.

Horstmann, B. (2004): Gletschersee-Ausbrüche in Nepal und der Schweiz - Neue Gefahren durch den Klimawandel. Bonn. (Germanwatch, <http://www.germanwatch-ev.de/download/klak/fb-gl-d.pdf>).

ICIMOD et al. (2001): State of the environment: Nepal 2001. Kathmandu.

ICIMOD; UNEP (2002): Glaciers, glacial lakes and glacial lake outburst floods in Nepal. Kathmandu (Poster Präsentation, www.rrcap.unep.org/issues/glof/allpostersfor2002 pril15&16.pdf).

Ives, J. (1986): Glacial lake outburst floods and risk engineering in the Himalaya. Kathmandu. (ICIMOD, Occa-

sional Paper No. 5).

Kattmann, R. (2001): 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.

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 Wissensstandsbericht des IPCC aus der Sicht der Schweiz. Bern.

Rana, B. et al. (2000): Hazard assess-

ment of the Tsho Rolpa Glacier Lake and ongoing remediation measures. In: Journal of Nepal Geological Society, Band 22, 563-570.

Riĉard, D.; Gay, M. (2003): Guidelines for scientific studies about glacial hazards. Survey and prevention of extreme glaciological hazards in European mountainous regions. o.O. (Glaciorisk Project, Deliverables, <http://glaciorisk.grenoble.cemagref.fr>).

Shrestha, A. B. et al. (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.; Singh, V.P. (2001): Snow and glacier hydrology. Dordrecht.

Thomas K.J.; Chamling Rai S. (2005): An

Overview of glaciers, glacier retreat and subsequent impacts in Nepal, India and China. o.O. (WWF, http://www.panda.org/downloads/climate_change/himalaya-glaciersreport2005.pdf).

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.

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.

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).