

# DAS EWIGIGE?

E

I

S

DAS EWIGE? EIS

# VOM STERBEN DER GLETSCHER

MARCUS NÜSSER

**Der Klimawandel lässt das Ende des „Ewigen Eises“ in den Hochgebirgen immer näher rücken. Das Sterben der Gletscher hat weitreichende Folgen: für die Landschaft und für die Menschen. In einem integrativen Ansatz analysiert die Forschung am Südasien-Institut der Universität Heidelberg die Veränderungen von Gletschern, um die Folgen für die lokale Landnutzung zu erkennen.**

# S

Schwindende Gletscher sind wirkmächtige Symbole der Erderwärmung. Bei nahezu allen zeigt sich der gleiche Trend, sei es in den Alpen oder in den Anden, im Himalaya oder auf den Gipfeln afrikanischer Vulkane: Vormalig von Eis bedeckte Gipfel verwandeln sich in „Darkening Peaks“. Es ist offensichtlich – das „Ewige Eis“ der Hochgebirge kann im Zuge des globalen Klimawandels nicht mehr als ewig bezeichnet werden – Gebirgsgletscher sind eine aussterbende Art.

Gletscher, eine große Masse von Eis, die sich aus Schnee gebildet hat, gehören zur „Kryosphäre“, zur Gesamtheit des auf der Erde in gefrorenem Zustand vorkommenden Wassers. Ihre Klimasensitivität und die damit verbundenen Dokumentationsmöglichkeiten machen Gletscher zu bevor-

zugten Objekten der Forschung. Am Südasien-Institut der Universität Heidelberg gehen wir einem integrativen Forschungsansatz nach, um die Veränderungen von Gletschern zu analysieren und die Folgen für die lokale Landnutzung zu erkennen.

## Die Anfänge

Die Anfänge der Gebirgsgletscherforschung reichen zurück bis in die frühen 1840er-Jahre. Damals lösten die Arbeiten des schweizerisch-amerikanischen Naturforschers Louis Agassiz und des deutschen Geologen Johann von Charpentier in den Alpen ein ausgesprochenes Gletscherfieber unter europäischen Geowissenschaftlern aus. Das beginnende glaziologische Forschungsinteresse fiel zeitlich eng zusammen mit dem Ende der „Kleinen Eiszeit“, einer mehrere Jahrhunderte andauernden kühlen und feuchten Klimaphase, die im alpinen Raum bis in die 1870er-Jahre hinein reichte. Während der Kleinen Eiszeit erreichten die Gletscher ihre Hochstände, Gletschervorstöße zerstörten Gehöfte, Ackerfluren und Teile von Dörfern. Aus diesem Grund wurden Hochgebirgsräume seinerzeit vor allem als bedrohliche Landschaften wahrgenommen. Nach 1840 erweiterte sich das Interesse an Gletschern auf alle Hochgebirge der Erde. Der „Ewige

# „Das Ende des ‚Ewigen Eises‘ in den Hochgebirgen der Erde rückt immer näher.“

Schnee“ auf den Tropenbergen Kilimanjaro, Mount Kenya und Chimborazo, die großen Gletscher im Himalaya, Karakorum und Kaukasus wurden zu prominenten Zielen explorativer Forschungsarbeiten. Bis heute bildet die Faszination für vergletscherte Hochgebirgsräume ein durchgängiges Motiv von Forschern und Bergsteigern. Im Kontext der Debatten um Klimawandel und Nachhaltigkeit aber hat sich die Sichtweise auf Gletscher mittlerweile deutlich verändert: Sie gelten nicht mehr als bedrohlich, sondern als fragile Landschaftstypen, die

es zu schützen und zu bewahren gilt. In den europäischen Alpen geschieht dies an vielen Gletschern mit Folien und Planen, die auf den Eisoberflächen ausgelegt werden, um weiteres Abschmelzen zu verhindern oder zu verzögern.

Die Entstehung von Gletschern in Gebirgsräumen ist an eine Reihe von klimatischen und topographischen Voraussetzungen geknüpft. Bei ausreichend niedrigen Temperaturen, in denen die Niederschläge in fester Form fallen und die Mengen an Neuschnee

über mehrere Jahre hinweg die Verluste durch die Schmelze übertreffen, findet eine allmähliche Akkumulation von Schnee statt. Über die Zwischenstufe der Firnbildung, bei der die einzelnen Schneekristalle immer stärker zusammenwachsen, erfolgt die Metamorphose von Neuschnee zu Gletschereis, wobei einzelne Luftblasen eingeschlossen bleiben. Unter dem Einfluss der Schwerkraft fließen die sich bildenden Gletscher talwärts. Dabei wird das höher gelegene Akkumulations- oder Nährgebiet durch die

Gleichgewichtslinie vom tiefer gelegenen Ablations- oder Zehrgebiet getrennt.

In Gletschern findet ein permanenter Massenumsatz statt, in dem Schmelz- und Wiedergefrorenprozesse eine bedeutende Rolle spielen. Das Gletschereis bewegt sich abhängig von Größe, Mächtigkeit und Reliefenergie hangabwärts und gelangt nach einer entsprechenden Zeit ins Ablationsgebiet, in dem der Massenhaushalt generell negativ ist. Durch Klimaänderungen wird die Gleichgewichtslinie beziehungsweise die klimatische Schneegrenze vertikal verschoben, wobei kleinere Gletscher schneller auf klimatische Veränderungen reagieren als große Eisströme. Infolge von Änderungen der Temperatur und der Niederschläge nehmen die Längen und Mächtigkeiten von Gletschern entweder ab oder zu.

#### Wassertürme der Erde

Gletscher sind die Wasserspeicher der Hochgebirge und deshalb von fundamentaler Bedeutung für die angrenzenden Tiefländer. Der weltweite Rückgang der Gletscher lässt für die Wasserversorgung der häufig dicht besiedelten Gebirgsvorländer schwerwiegende Folgen befürchten. Zunächst wird es zu einem Anstieg der Abflüsse von Schmelzwasser aus Gletschern, Schneedecken und Permafrost kommen. Nachdem ein „Peak“, das Maximum der Schmelzwassermenge, erreicht ist, werden die Abflüsse aus der Kryosphäre dauerhaft zurückgehen. Das ist unstrittig. Offen ist derzeit noch, wann „Peak Water“ erreicht sein wird: Der konkrete Zeitpunkt ist für die verschiedenen Hochgebirgsräume weitgehend ungeklärt.

Ein Grund dafür ist, dass die räumlichen Maßstabebenen der Betrachtung nicht allgemeingültig definiert sind. Hier divergieren Studien und Ergebnisse, die sich auf subkontinentale Gebirgsbögen wie Anden, Himalaya oder Hindukusch beziehen gegenüber kleinräumigen Untersuchungen aus einzelnen vergletscherten Talschlüssen. Unabhängig von den regionalen Besonderheiten und Unterschieden – die langfristigen Konsequenzen von Peak Water werden immer einschneidend sein. Sie betreffen die elementare Funktion der Hochgebirgs-

räume als globale Wassertürme. Nicht nur die absoluten Abflussmengen aus den Gebirgsräumen werden sich verändern, sondern auch deren saisonaler Verlauf. All das lässt künftig größere Herausforderungen hinsichtlich der Verfügbarkeit und der Verteilung von Wasser erwarten.

#### Die Zusammenhänge erkennen

Als gesichertes glaziologisches Wissen gilt das Entstehen von Gletschereis durch die Metamorphose von Schnee, die Gliederung von Gletschern in Zonen der Akkumulation (Massengewinn) und Ablation (Massenverlust), ihre Unterteilung in schuttbedeckte Bereiche und Blankeisflächen sowie die Typisierung ihres Bewegungsverhaltens. Standardisierte geodätische und glaziologische Verfahren können jährliche Massenbilanzen erfassen, und sie können den Rückgang von Gletschern und von (heute seltener vorkommenden) Eisvorstößen erklären. Gegenüber diesen klassischen Bereichen glaziologischer Forschung trat die Erforschung der Zusammenhänge und der Wechselwirkungen von Gletscheränderungen, Schmelzwasserabflüssen und sozioökonomischen Entwicklungsprozessen bislang zurück. Genau diese Interaktionen aber sind durch den Klimawandel Forschungsfelder von hoher Aktualität und großer gesellschaftlicher Relevanz.

In der Abteilung Geographie des Südasiens-Instituts der Universität Heidelberg untersuchen wir diese dynamischen Zusammenhänge im Rahmen soziohydrologischer Studien. Unser integrativer Forschungszugang reicht von der Untersuchung zum Bewässerungsfeldbau über Anpassungsstrategien in trockenen Gebirgsregionen bis hin zur Trinkwasserversorgung in Gebirgsstädten und zwischenstaatlichen Konflikten bei der Nutzung grenzüberschreitender Flüsse aus vergletscherten Gebirgsräumen.

Bei der Untersuchung des schmelzwassergespeisten Feldbaus bilden traditionelle Wissenssysteme einen anwendungsorientierten Forschungsschwerpunkt: Wie wird Wasser traditionell genutzt, wie wird es verteilt, und was geschieht, um saisonalem Wassermangel zu begegnen? Im



**PROF. DR. MARCUS NÜSSER** leitet seit dem Jahr 2006 die Abteilung Geographie am Südasiens-Institut (SAI) der Universität Heidelberg. Zuvor war er nach einem Studium der Geographie, Geologie und Entwicklungssoziologie und der Promotion an der Freien Universität Berlin (FU) an den Geographischen Instituten der FU und der Universität Bonn tätig. Sein Forschungsschwerpunkt ist die vergleichende Hochgebirgsforschung mit einem regionalen Fokus auf dem Himalaya. Dabei beschäftigt er sich vor allem mit Zusammenhängen zwischen naturräumlichen Veränderungen, differenzierten Nutzungsdynamiken, Anpassungsstrategien und multiplen Risiken, die in einem soziohydrologischen Kontext integrativ bearbeitet werden.

Kontakt: [marcus.nuesser@uni-heidelberg.de](mailto:marcus.nuesser@uni-heidelberg.de)

# „Die glaziohydrologischen Veränderungen und Prognosen lassen vergletscherte Hochgebirgsräume heute zugleich als gefährliche und als gefährdete Landschaften erscheinen.“

trockenen Transhimalaya von Ladakh im Norden Indiens etwa wurden lokale Strategien entwickelt, um sich an regelmäßig wiederkehrende Phasen der Wasserknappheit anzupassen. Den winterlichen Abfluss speichern dort sogenannte künstliche Gletscher. Dabei handelt es sich jedoch nicht um Gletscher im Sinne sich bewegender Eiskörper mit separaten Akkumulations- und Ablationszonen, sondern lediglich um saisonale Eiskörper während des Winters, deren Schmelzwasser im Frühjahr genutzt wird, um Anbauflächen zu bewässern. Der vorrangige Zweck dieser wasserbaulichen Maßnahme ist es, saisonale Wasserknappheit zu überbrücken – so lange, bis die Eisschmelze der hoch gelegenen Gletscher einsetzt. Eine weitere wasserbauliche Maßnahme sind „Eis-Stupas“, künstlich geschaffene Eiskegel zum Speichern von Schmelzwasser. Derartige Reser-

voire werden im Zuge des Klimawandels mittlerweile nicht nur im Transhimalaya, sondern auch in den Alpen und in den Anden errichtet. Dort sollen sie sowohl zur Wasserversorgung als auch zur Regeneration der Gletscher dienen.

Eine andere Form der künstlichen Gletscherentstehung ist aus den benachbarten Gebirgsregionen des Karakorum und des Hindukusch im Norden von Pakistan bekannt. Dort werden weiße oder bläulich erscheinende Blankeisgletscher als „weiblich“, schuttbedeckte graue Gletscher hingegen als „männlich“ interpretiert. Durch das Zusammenlegen von männlichem und weiblichem Eis und das Überdecken mit Steinen und Bodenmaterial über mehrere Jahre hinweg sollen sich neue Gletscher bilden, deren Schmelzwasser für die Landwirtschaft benötigt wird. Diese traditionelle Praktik wird vor allem aus Tälern mit geringen Vergletscherungsanteilen beschrieben. In Einzelfällen hat dies durchaus zum positiven Ergebnis einer höheren Wasserverfügbarkeit geführt.

## **Vielfältige Risiken und Gefahrenszenarien**

Zu unseren soziohydrologischen Studien gehört es auch, die vielfältigen Risiken zu untersuchen, die sich aus einer hohen naturräumlichen Dynamik und zunehmender Nutzungsintensität ergeben. Ein Beispiel: In der Forschungsliteratur werden derzeit vor allem „GLOFs“ (Glacial Lake Outburst Flood) als ein zunehmendes Problem genannt. Dabei handelt es sich um Ausbruchfluten, zu denen es kommt, wenn infolge eines plötzlichen Anstiegs des Seespiegels durch Hangrutschungen oder Lawinen ein Moränenendamm bricht, der einen Gletschersee aufstaut. Bei der Flutkatastrophe von Kedarnath im indischen Himalaya kamen im Jahr 2013 mehr als 6.000 Menschen ums Leben, als es neben Starkniederschlägen zu einem Gletscherseeausbruch kam. Zahlreiche Studien belegen das schleichende Gefahrenpotenzial, das sich aus dem Zusammenspiel erhöhter Schmelzwasserabflüsse, zunehmender infrastruktureller Erschließung und Urbanisierung ergibt, nicht nur im Himalaya, sondern auch in anderen Hochgebirgsräumen.

ETERNAL? ICE

# THE DEATH OF THE GLACIERS

MARCUS NÜSSER

The crucial importance of mountain glaciers to freshwater storage and supply means that the possibility of their loss or massive retreat presents an especially serious threat. Due to their hydrological function as global water towers, glaciers, and the changes in their size and mass balance, are at the centre of the global climate change debate. These dynamic and fragile ice bodies have not only become prominent topics of scientific research, but have also received international media attention as both indicators and symbols of climate change. International discussions focus on future changes in meltwater runoff as well as the occurrence and frequency of various cryospheric hazards. The generic term “peak water” describes hypothetical tipping points that occur when glacio-fluvial runoff exceeds a cryosphere loss threshold, leading to a permanent decrease of meltwater volume. The uncertainties of spatial and temporal extrapolations of local glacier studies on the scale of entire mountain regions remain a challenge for researchers. For a wider analysis comprising more than just the glacio-fluvial dynamics of glacier retreat, integrated socio-hydrological studies examine the interactions between cryosphere changes and socioeconomic adaptation strategies. Beyond their status as physical landscape features composed of ice, snow and debris, glaciers have increasingly become contested and controversial objects of knowledge, susceptible to cultural framing as both dangerous and endangered landscapes. Now, as a result of global warming, the eternal snow of mountain ranges all over the world is rapidly disappearing and giving way to darkening peaks. ●

PROF. DR MARCUS NÜSSER has headed the Department of Geography at Heidelberg University's South Asia Institute (SAI) since 2006. He studied geography, geology and developmental sociology at FU Berlin, where he also earned his doctorate, then worked at the geographical institutes of FU Berlin and the University of Bonn. Marcus Nüsser specialises in comparative high mountain research with a regional focus on the Himalayas. He is particularly interested in the links between changes of the natural environment, differentiated dynamics of land use, adaptation strategies and multiple risks, which he investigates in an integrated socio-hydrological context.

Contact: [marcus.nuesser@uni-heidelberg.de](mailto:marcus.nuesser@uni-heidelberg.de)

**“The end of the ‘eternal ice’ in the earth’s high mountain ranges is inching ever closer.”**

Ein weiteres bislang wenig beachtetes Risiko sind Eisabbrüche an steilen Hangflanken. Sie haben sich in den vergangenen Jahren in verschiedenen Hochgebirgen ereignet. Im Sommer 2022 etwa ist ein Teil des Gipfelgletschers an der Marmolata in den Dolomiten abgebrochen, elf Menschen kamen dabei zu Tode. Ein Jahr zuvor verursachte ein massiver Gletscherabbruch im indischen Himalaya eine Flut und forderte mehr als 200 Todesopfer. Solchen Katastrophen liegen offensichtlich verstärkte Schmelzwasserabflüsse zwischen dem geschliffenen Felsuntergrund und den Eiskörpern in steilen Lagen zugrunde. Dadurch können sich größere Bereiche des Eises vom unterlagernden Gestein lösen und zu Tal stürzen. Solche Eisabbrüche werden umso wahrscheinlicher, je mehr Gletscherzungen schmelzen und sich in steilere Hanglagen zurückziehen. Im Zuge der globalen Erwärmung ist deshalb weltweit damit zu rechnen, dass sich Gletscherabbrüche häufen.

#### **Weitreichende Folgen**

Die glaziohydrologischen Veränderungen und Prognosen lassen vergletscherte Hochgebirgsräume heute zugleich als gefährliche und als gefährdete Landschaften erscheinen. Die jährlichen Massenbilanzen der Gletscher sind fast ausschließlich negativ – das Ende des „Ewigen Eises“ in den Hochgebirgen der Erde rückt damit immer näher. Diese Entwicklung wird nicht nur die Landschaft weitreichend verändern. Sie wird auch politische Fragen nach der Verteilung des Wassers nach sich ziehen oder Fragen nach den Kosten in den Vordergrund rücken, die durch die Schadensereignisse entstehen. Nicht zuletzt wird der weltweit zu verzeichnende Gletscherrückgang sich erschwerend auf die Lebensbedingungen der Menschen in den Gebirgsräumen auswirken. Dies gilt – bei unterschiedlichen sozioökonomischen Rahmenbedingungen – für nahezu alle Bevölkerungsgruppen in den Hochgebirgen der Erde und den angrenzenden Tiefländern. Gerade die verwundbare Gebirgsbevölkerung und ihre oftmals ohnehin prekären Lebensbedingungen wurden in der Forschung bislang allzu häufig vernachlässigt. ●

„Gletscher sind die Wasserspeicher der Hochgebirge und deshalb von fundamentaler Bedeutung für die angrenzenden Tiefländer.“