

# Die Gletscher des Himalaya: vom „Wohnsitz des Schnees“ zum soziohydrologischen Wirkungsgefüge

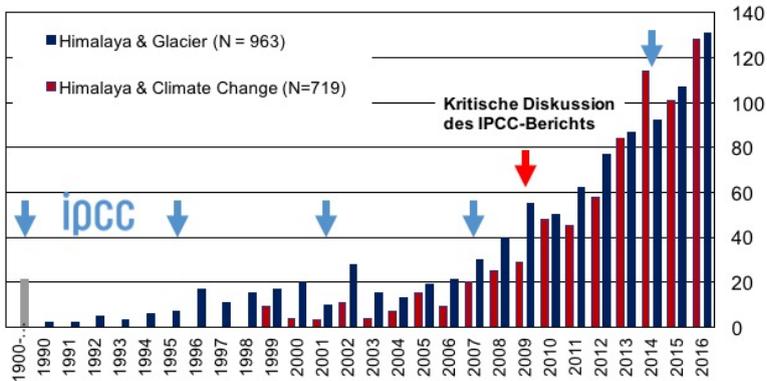
*Marcus Nüsser*

Die Bedeutung der Gebirgsgletscher als hydrologische Speicher zur Sicherung des Wasserangebots in den angrenzenden Tiefländern rechtfertigt die Einordnung von Hochgebirgen als globale Wassertürme (Viviroli et al. 2007). Damit wird der Eisrückgang in diesen sensiblen Räumen implizit als Bedrohung für zukünftige sozioökonomische Entwicklungsmöglichkeiten angesehen. Dieser Zusammenhang gilt insbesondere für die Region des Himalaya, die durch wachsende Bevölkerungszahlen in den dicht besiedelten Gebirgsvorländern und Schwemmebenen von Indien, Pakistan, Nepal und Bangladesch gekennzeichnet ist. Schon der aus dem Sanskrit stammende Name *Himalaya*, der sich als Wohnsitz (*ālaya*) des Schnees (*hima*) übersetzen lässt, stellt die Speicherfunktion der Kryosphäre für die Sicherstellung eines beständigen Abflusses heraus. Die Konnektivität zwischen den Ressourcen gefrorenen Wassers in Form von Eis, Schnee und Permafrost in den vergletscherten Einzugsgebieten und dem steigenden Wasserbedarf im Tiefland lässt die Metapher des südasiatischen Wasserturms für den Himalaya-Bogen angemessen erscheinen.

Mit der Veröffentlichung des vierten Sachstandsberichts durch den Weltklimarat IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) setzte vor zehn Jahren eine breite Debatte um die Entwicklung der Gletscher im höchsten Gebirgsraum der Erde ein. Ausgangspunkt war eine alarmierende Prognose im Kapitel über Asien, nach der die Himalaya-Gletscher bis zum Jahr 2035 verschwinden würden:

„Glaciers in the Himalaya are receding faster than in any other part of the world [...] and, if the present rate continues, the likelihood of them disappearing by the year 2035 and perhaps sooner is very high if the Earth keeps warming at the current rate. Its total area will likely shrink from the present 500,000 to 100,000 km<sup>2</sup> by the year 2035“ (Cruz et al. 2007: 493).

Die isoliert in einem Kapitel stehende Aussage über den rapiden Rückgang der Himalaya-Gletscher wurde von den Medien aufgegriffen und brachte den gesamten 938 Seiten umfassenden IPCC-Bericht in Misskredit. Im Kreuzfeuer der Kritik erschien die Entwicklung der Himalaya-Gletscher als umstrittene Geschichte. Nach intensiven Diskussionen wurde die Prognose als offenkundig falsch erkannt (Cogley et al. 2010) und der IPCC musste im Januar 2010 einräumen, dass die angegebene Dimension des Gletscherrückgangs („faster than in any other part of the world“) auf mangelhaft belegten Schätzungen und einer unkritischen Übernahme nicht ausreichend fundierter Quellen basierte. Gleichzeitig aber führte die Kontroverse auch zu einem signifikanten Aufschwung an Gletscherstudien im Himalaya, der bis in die Gegenwart ungebrochen ist (Abb. 1) und den „Wohnsitz des Schnees“ zu einem Forschungsschwerpunkt des globalen Klimawandels machte. Insofern bildet der IPCC-Bericht aus dem Jahr 2007 eine Zäsur in der Himalaya-Forschung.



**Abb. 1:** Anzahl der Publikationen in referierten wissenschaftlichen Zeitschriften zu den Suchbegriffen *Himalaya*, *Gletscher* und *Klimawandel* von 1900 bis 2016 (Datengrundlage: Web of Science).

Das zunehmende wissenschaftliche Interesse an Gletscherstudien im Himalaya beruht auf den nach wie vor bestehenden Unsicherheiten über das Ausmaß und die Konsequenzen der Veränderungen im Bereich der Kryosphäre, in der Wasser in gefrorener Form gespeichert wird. Darüber hinaus werden die zurückgehenden Gletscher des Himalaya in Medien und Öffentlichkeit zu wirkmächtigen Ikonen des globalen Klimawandels. Im vorliegenden Überblicksbeitrag werden diese Unsicherheiten diskutiert, mit regionalen Fallbeispielen illustriert und in den breiteren Kontext der Mensch-Umwelt-Forschung im Hochgebirge eingebunden.

### Das große Bild der Gletscherveränderungen im Himalaya (*The Himalayan Scale*)

Als höchstes Gebirge der Erde trennt der etwa 2500 km lange Himalaya-Bogen zwischen den Massiven des Nanga Parbat (Foto 1) im Nordwesten und Namcha Barwa im Südosten die Schwemmebenen der Flüsse Indus, Ganges und Brahmaputra vom tibetischen Hochplateau (Abb. 2).



**Abb. 2:** Die Himalaya-Region mit umgebenden Gebirgszügen (vereinfacht nach Nüsser 2012, Kartographie: N. Harm).



**Foto 1:** Das breit angelegte Gebirgsmassiv des Nanga Parbat (8126 m) bildet den nordwestlichen Eckpfeiler des Himalaya (Aufnahme: Marcus Nüsser, 13. September 2006).



**Foto 2:** Der Kangchenjunga (8586 m) ist der östlichste Achttausender des Himalaya. Wörtlich übersetzt als „Fünf Schatzkammern des Schnees“, symbolisiert der Berg die religiösen Bedeutungszuweisungen der Himalaya-Gletscher (Aufnahme: Marcus Nüsser, 6. April 2011).

Zusammen mit den Ketten des Hindukusch und Karakorum bildet diese sich über mehr als zwanzig Längengrade und etwa fünfzehn Breitengrade erstreckende Gebirgsregion die markante naturräumliche Grenze zwischen dem südasiatischen Subkontinent und Zentralasien und wird in der Literatur häufig als Hindukusch-Karakorum-Himalaya (HKH) zusammengefasst. Auch aus kultureller Sicht nimmt der „Wohnsitz des Schnees“ eine wichtige Position ein, die sich an der religiösen Bedeutung von Gipfeln und Quellgebieten als Göttersitzen und Pilgerstätten für Hindus und Buddhisten erkennen und historisch weit zurückverfolgen lassen (Foto 2).

Ein generelles Problem bei der Bilanzierung von Gletscherveränderungen auf der Maßstabebene des gesamten Gebirgsbogens (*Himalayan Scale*) besteht in der räumlichen Extrapolation von Ergebnissen aus lokalen und regionalen Fallstudien (Kargel et al. 2011). Zudem basieren die meisten Studien zu Himalaya-Gletschern auf der Analyse multi-temporalen Fernerkundungsdaten über relativ kurze Messreihen, die günstigstenfalls bis zum Ende der 1960er Jahre zurückreichen. Über die Positionsverlagerung der Gletscherstirn werden dabei Längenänderungen erfasst, die als gefilterte Signale zu interpretieren sind, da sie in Abhängigkeit von der Reaktionszeit des Gletschers variieren können, die durch Größe, Eisgeschwindigkeit und Schuttbedeckung beeinflusst werden (Schmidt 2012). Im Gegensatz zur Messung der Längenänderung eines Gletschers stellt die glaziologische Massenbilanz durch Messung von Akkumulation und Ablation ein direktes Klimasignal dar, die in den Gebirgen Süd- und Zentralasiens aber nur in wenigen Studien berechnet wurde. Abgesehen von diesen räumlichen und zeitlichen Limitierungen bei der Detektion von Gletscherveränderungen sind einige spezifische Aspekte bei der Analyse heranzuziehen. Neben großklimatischen Unterschieden sind dabei den topographischen Aspekten der Vertikalität (Reliefenergie, Höhen und Expositionen der Akkumulations- und Ablationsgebiete, Rolle von Lawinen), den spezifischen Formen der Gletscherdynamik (thermische Eigenschaften der Eiskörper, Bewegungsraten) und dem Ausmaß der Schuttbedeckung Rechnung zu tragen. Aufgrund des ausgeprägten Steilreliefs werden viele Gletscher primär durch Eis- und Schneelawinen aus steilen Fels- und Firnwänden genährt, die in Firnkesseln akkumulieren und von dort abfließen (Foto 3).



**Foto 3:** Die mehr als 4500 m durchmessende Rupal-Wand des Nanga Parbat. Ein großer Teil der Gletschernahrung erfolgt durch Umverteilung von Schnee und Eis aus den Hochlagen in Form von Lawinen (Aufnahme: Marcus Nüsser, 29. August 2010).

Hinsichtlich der thermischen Eigenschaften lassen sich in den süd- und zentralasiatischen Gebirgen unterschiedliche Gletschertypen feststellen. Zum einen können temperierte Gletscher ausgewiesen werden, die durch Eistemperaturen um den Druckschmelzpunkt gekennzeichnet sind, die basal auf einem Schmelzwasserfilm an der Sohle zwischen Eiskörper und Gesteinsuntergrund gleiten und die einen ganzjährigen Schmelzwasserabfluss aufweisen. Andererseits lassen sich kalte Gletscher identifizieren, bei denen die Temperatur der gesamten Eismasse unterhalb des Druckschmelzpunktes liegt, deren Eis am Gesteinsuntergrund festgefroren ist und deren Bewegung durch plastische Deformation in Form von Blockschollen entlang von Scherflächen erfolgt. Zwischen diesen beiden geophysikalischen Haupttypen stehen die polythermalen Gletscher, die sowohl warm- als auch kaltbasale Bereiche aufweisen. Ein charakteristisches Kennzeichen vieler süd- und zentralasiatischer Gletscher stellt die mächtige Schuttbedeckung in den unteren Höhenlagen dar, wodurch die Eisschmelze in den Ablationsgebieten stark reduziert wird (Hewitt 2014, Fotos 4 a und b). Auch erschwert die Schuttbedeckung im Einzelfall die Ausweisung der Glet-

scherstände gegenüber den Vorfeldern und schuttbedeckten Toteiskörpern, die isoliert vom Gletscher abschmelzen.

Während die Südabdachung des Himalaya-Bogens durch ein monsunales Klimaregime mit dominanten Sommerniederschlägen geprägt wird, erhalten die nordwestlichen Teile der Gebirgsregion, einschließlich der Karakorum- und Hindukusch-Ketten, vorwiegend Niederschläge aus westlichen Störungen, die Maxima im Herbst und Frühjahr aufweisen. Über den gesamten Gebirgsraum zeigt sich ein ausgeprägter Gradient abnehmender Jahresniederschläge von Südosten nach Nordwesten, der sich sowohl in der absoluten Niederschlagsmenge als auch in der Anzahl der Tage mit Niederschlägen erkennen lässt. Aufgrund der enormen klimatischen Unterschiede innerhalb des Gesamttraums Hindukusch-Karakorum-Himalaya ergeben sich neben markanten Unterschieden in der Vegetation und Landnutzung auch entsprechende Differenzierungen im Bereich der Vergletscherung. Während die vergletscherte Fläche im gesamten Himalaya mit etwa 22.850 km<sup>2</sup> beziffert wird, können für den Karakorum knapp 18.000 km<sup>2</sup> ausgewiesen werden (Bolch et al. 2012). Damit bildet die über eine Länge von ca. 650 km verlaufende Karakorum-Kette die am stärksten vergletscherte Region außerhalb der Polarkappen. Gleichzeitig ist dieser Gebirgsraum auch dadurch gekennzeichnet, dass viele Gletscher im Gegensatz zum globalen Trend nur geringe Eisverluste und teilweise sogar positive Massenbilanzen im Vergleich zu den 1990er Jahren aufweisen, was durch die Bezeichnung Karakorum-Anomalie (Hewitt 2005) charakterisiert wird. Im unmittelbar südlich an den Karakorum angrenzenden Nordwest-Himalaya zeigt das Beispiel des Raikot-Gletschers (Nanga Parbat-Nordabdachung) einen Rückgang der Gletscherstirn zwischen 1934 und 2007 um lediglich 200 m, was einem durchschnittlichen jährlichen Rückgang von weniger als 3 m entspricht. Allerdings lassen sich über den Beobachtungszeitraum bedeutende Fluktuationen nachweisen (Schmidt und Nüsser 2009). Dagegen weist der Chungphare-Gletscher im südlich des Nanga Parbat gelegenen Rupal-Tal einen Längenverlust von rund 600 m zwischen 1934 und 2013 auf, was einem durchschnittlichen jährlichen Rückgang von mehr als 7,5 m entspricht (Nüsser und Schmidt 2017).



**Fotos 4 a und b:** Der nahezu vollständig schuttbedeckte Shaigiri-Gletscher im Rupal-Tal des Nanga Parbat hat sich in den 17 Jahren zwischen beiden Aufnahmen hinsichtlich der Länge und Mächtigkeit nicht signifikant verändert. Lediglich ein zusätzlicher kleiner Schmelzwassersee lässt sich nahe der Stirnmoräne nachweisen (Aufnahmen: Marcus Nüsser, (a) 18. Juni 1993 und (b) 18. August 2010).

Da die Schneeakkumulation in den höheren Lagen des Karakorum und Nordwest-Himalaya zu nahezu gleichen Teilen im Winter und Sommer stattfindet, ist das dortige Glazialregime durch eine ganzjährige Akkumulation mit sommerlicher Ablation gekennzeichnet. Dadurch reagieren diese Gletscher generell weniger sensitiv auf Temperaturerhöhungen als auf Niederschlagsveränderungen (Hewitt 2011). Im Gegensatz dazu ist die klimatische Situation im zentralen und östlichen Himalaya durch ausgeprägte Niederschlagsmaxima während der sommerlichen Monsunperiode gekennzeichnet, denen kalte und trockene Winter gegenüberstehen. Damit finden Schneeakkumulation und Ablation dort mehr oder weniger gleichzeitig statt. Da der Schneedeckenaufbau nahe am Gefrierpunkt erfolgt und der Anteil flüssiger Niederschläge bei steigenden Temperaturen signifikant erhöht wird, reagieren diese Gletscher besonders sensitiv auf Temperaturerhöhungen (Schmidt 2012). Als dritter Typ lassen sich die kontinentalen Gletscher des Trans-Himalaya ausgliedern, die angesichts ihrer Lage im Regenschatten der Hauptketten von Himalaya und Karakorum durch semiaride Bedingungen gekennzeichnet sind. Am Beispiel von Ladakh zeigt sich, dass die flächenmäßig kleinen Gletscher trotz zumeist fehlender Schuttbedeckung verzögert auf Temperaturveränderungen reagieren (Schmidt und Nüsser 2017). So hat beispielsweise die vergletscherte Fläche des Kang Yatze (6400 m) zwischen 1969 und 2010 um etwa 14 Prozent abgenommen, wobei der mittlere jährliche Gletscherrückgang etwa 3 m beträgt (Schmidt und Nüsser 2012). Die vergletscherte Fläche in der Lungser Range im östlichen Ladakh (Foto 5) hat zwischen 1969 und 2014 bei einem durchschnittlichen jährlichen Längenverlust von etwa 2,5 m um knapp 18 Prozent abgenommen (Schmidt und Nüsser 2017).

In allen angeführten Glazialregimes werden die Reaktionsmuster der einzelnen Gletscher durch weitere lokalspezifische Prozesse und topographische Effekte überlagert, womit auch innerhalb des gleichen Einzugsgebietes bedeutende Unterschiede in den Längenänderungen und Massenbilanzen auftreten können. So ergeben sich durch proglaziale Seen häufig auffallend hohe Rückzugsraten der Gletscherfronten, die aus dem Kontakt des Gletschereises mit dem wärmeren Schmelzwasser resultieren. Dabei zählt der Imja-Gletscher im Khumbu-Gebiet von Nepal, dessen Stirn zwischen 1962 und 2000 im Schnitt um 34 m pro Jahr und zwischen 2000 und 2007 sogar um 74 m pro Jahr zurückgegangen ist, zu den am schnellsten zurückweichenden Gletschern im Himalaya (Schmidt 2012, Foto 6).



**Foto 5:** Blick vom Gipfel des Chamser Kangri (6654 m) in der Lungser Range auf den abflusslosen See Tso Moriri und umgebende Gebirgszüge im östlichen Ladakh, die nur in den höchsten Lagen vergletschert sind (Aufnahme: Marcus Nüsser, 2. September 2013).



**Foto 6:** Begrenzt durch mächtige Seitenmoränen ersetzt der wachsende proglaziale Schmelzwassersee den gleichzeitig zurückgehenden Imja-Gletscher (Aufnahme: Marcus Nüsser, 27. Oktober 2012).

## Die historische Dimension der Gletscherforschung im Himalaya

Zur Erfassung von Gletscher- und Landschaftsveränderungen über längere Zeitreihen ist die Einbindung von historischem Material in Form von Karten, Skizzen, Fotos und Felddarstellungen im Rahmen vergleichender Analysen erforderlich. Die Verfügbarkeit geeigneter historischer Quellen ist für die unterschiedlichen Teile der Großregion Hindukusch-Karakorum-Himalaya sehr unterschiedlich und konzentriert sich im Wesentlichen auf einzelne prominente Massive und auf Gebiete entlang von Hauptverbindungsrouen. Dagegen ist für die meisten Teile des Gebirgsraums kein entsprechendes Datenmaterial vorhanden. Gründe für diese ungleiche Verteilung sind in der Kolonialgeschichte des 19. Jahrhunderts zu suchen, als die süd- und zentralasiatische Gebirgsperipherie sich im Zuge der territorialen Expansion der britischen Einflussphäre zu einer sensitiven Grenzregion entwickelte. Dabei erfolgte die Erkundung und Erschließung entlang bestimmter Routen, die oftmals durch den Verlauf traditioneller Handelswege vorgegeben waren. Während Regionen wie Kumaon im zentralen Himalaya und Kaschmir im Nordwesten des Gebirgsbogens sowie einzelne Abschnitte der Karakorum-Kette eine vergleichsweise dichte historische Datenlage zu Gletscherständen aufweisen, sind Nepal und Tibet aufgrund von Einreiseverboten für europäische Forscher über lange Zeiträume weitgehend verschlossen geblieben. Aber auch entlang bedeutender transmontaner Handelsrouten und geostrategisch wichtiger Durchgangsräume, wie etwa Ladakh, zeigen sich mitunter auffällige Datenlücken. Daneben machten kriegerische Auseinandersetzungen und prekäre Sicherheitslagen den Besuch verschiedener Gebiete schwierig.

Die frühesten Gletscherstudien im Himalaya reichen bis in die 1840er Jahre zurück, als der britische Kolonialoffizier Richard Strachey erste Eisgeschwindigkeitsmessungen an Gletschern in Kumaon durchführte und damit den Nachweis für die Existenz von Gletschern in diesem subtropischen Gebirgsraum erbrachte.

„The existence of Glaciers in the Himalayas, being apparently still considered a matter of doubt by the Natural Philosophers of Europe, I have thought that some account of two most de-

cided Glaciers, which I have just visited (May 1847) in these mountains [...] may not be uninteresting.”  
(Strachey 1847: 794)

Diese frühe Gletscherstudie von Strachey fand kurz nach den glaziologischen Pionierarbeiten von Louis Agassiz (1840) und Johann von Charpentier (1841) in den Schweizer Alpen statt und leitete die Phase „wissenschaftlicher Entdeckungen“ im Himalaya ein. Nur wenige Jahre später führten die drei Schlagintweit-Brüder auf Empfehlung Alexander von Humboldts eine insgesamt 33 Monate dauernde Forschungsreise durch Indien und Hochasien (1854–1857) durch, in dessen Rahmen sie einen inhaltlichen Schwerpunkt auf die Gletscher legten (Schlagintweit 1869–1880). Ihre Aufzeichnungen und Landschaftsansichten in Form von Aquarellen und Skizzen werden bis heute zur Dokumentation von Gletscherveränderungen genutzt, müssen aber hinsichtlich ihrer Genauigkeit und Übertragbarkeit teilweise kritisch beurteilt werden (Kick 1960, 1993, Nüsser 2015). Ab den 1860er Jahren wurde der weitere Verlauf der Gletscherforschung im Himalaya maßgeblich durch die topographischen Kartierungen des Survey of India und des Indian Geological Survey geprägt (Holland et al. 1907, Mason 1955). Diese historischen Karten werden ebenfalls in jüngeren Arbeiten zur Ausweisung von Veränderungen genutzt, doch ergeben sich teilweise auch hier Probleme aufgrund unzureichender Genauigkeit ehemaliger Gletscherstandseintragungen (Bhambri und Bolch 2009). Im weiteren Verlauf der kolonialzeitlichen Exploration wurden die Kenntnisse über die Gletscher des Himalaya und Karakorum durch zahlreiche Expeditionen erweitert, von denen hier nur exemplarisch die Studien der Workmans am Siachen-Gletscher (Workman 1914) und der Vissers im Karakorum (Visser 1926) sowie die Arbeit von Longstaff in Garhwal (Longstaff 1908) genannt seien. Auch wenn viele dieser Unternehmungen detaillierte topographische Karten als Ergebnis vorweisen konnten, lag die Motivation zum Besuch entlegener Gletschergebiete in vielen Fällen nicht nur im Bereich explorativer Forschung, sondern in der Konfrontation mit der ungebändigten Natur lebensfeindlicher Hochgebirgsräume.

## Die Gletscher des Himalaya



**Foto 7 a und b:** Obere Einzugsgebiete des Rupal-Gletschers. Während die Aufnahme von 1934 den Gletscher und umgebende Kämme mit ausgedehnter Schneebedeckung zeigt, lassen sich Blankeis und schuttbedeckte Bereiche in beiden Aufnahmen deutlich voneinander abgrenzen. Der Vergleich belegt ein signifikantes Einsinken der Gletscheroberfläche über den Betrachtungszeitraum (Aufnahmen: (a) Richard Finsterwalder, 25. Juni 1934 und (b) Marcus Nüsser, 30. August 2010).

Im Zuge der methodischen Weiterentwicklung erfuhren die Gletscher einzelner Gebiete im Himalaya ab den 1930er Jahren ein systematischeres Forschungsinteresse, in dem photogrammetrische Messungen und Studien zur Gletschergeschwindigkeit zum festen Bestandteil wissenschaftlicher Expeditionen wurden. Zu nennen sind hier insbesondere die Expeditionen zum Kangchenjunga (Bauer 1933) und zum Nanga Parbat (Finsterwalder 1938), während derer jeweils glaziologische Forschungsarbeiten durchgeführt wurden. Diese photographisch und kartographisch gut dokumentierten Studien bieten wichtiges Vergleichsmaterial für Zeitreihenanalysen von Gletscherständen und Eisbewegungsraten (Kick 1996, Nüsser 2000, Schmidt und Nüsser 2009, Nüsser und Schmidt 2017). Exemplarisch für diesen Datenbestand zeigen zwei Paare von Wiederholungsaufnahmen den oberen Rupal-Gletscher (Fotos 7a und b) und den Loiba-Gletscher (Fotos 8a und b) am Nanga Parbat. In beiden Bildpaaren lassen sich aus der vergleichenden visuellen Interpretation die charakteristischen Veränderungen über mehr als sieben Dekaden ableiten.

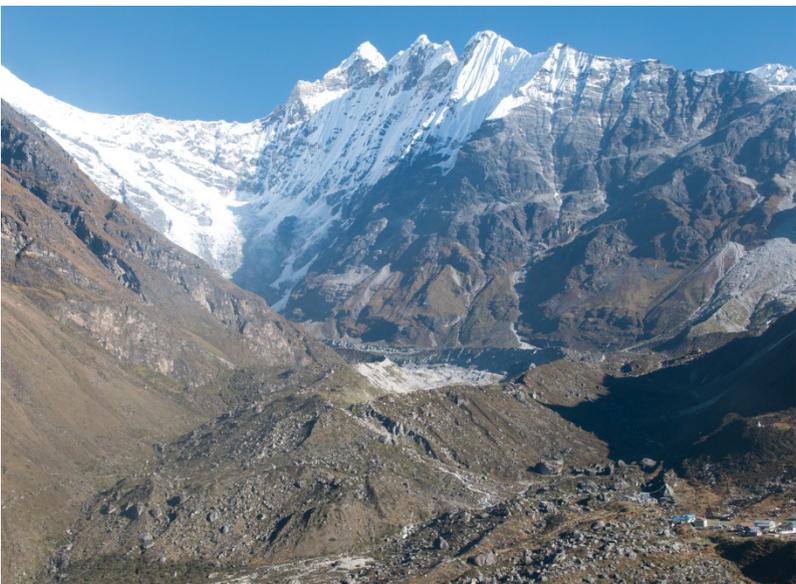
Durch das wachsende bergsteigerische Interesse an den Hochgipfeln kam es in dieser Phase zur Gründung des britischen Mount Everest Committee (1921) und der Deutschen Himalaja-Stiftung (1936), durch deren Förderung weitere Expeditionen ermöglicht wurden, die allerdings vorwiegend alpinistische Ziele verfolgten.

In Nepal setzte die glaziologische Forschung aufgrund vorheriger Einreiseverbote für ausländische Wissenschaftler erst nach dem zweiten Weltkrieg ein. Hervorzuheben sind hier die ausgedehnten Expeditionen von Bill Tilman, der Nepal als erster westlicher Bergsteiger in Begleitung von Wissenschaftlern, darunter dem Botaniker Oleg Polunin, im Jahr 1949 bereisen konnte und dabei unter anderem Studien im Langtang-Tal durchführte (Tilman 1952). Für die glaziologische Forschung entstand dabei ebenfalls wichtiges Vergleichsmaterial mit Beschreibungen, Kartenskizzen und Fotos, wovon exemplarisch zwei Aufnahmen den Lirung-Gletscher zeigen (Fotos 9a und b).

## Die Gletscher des Himalaya

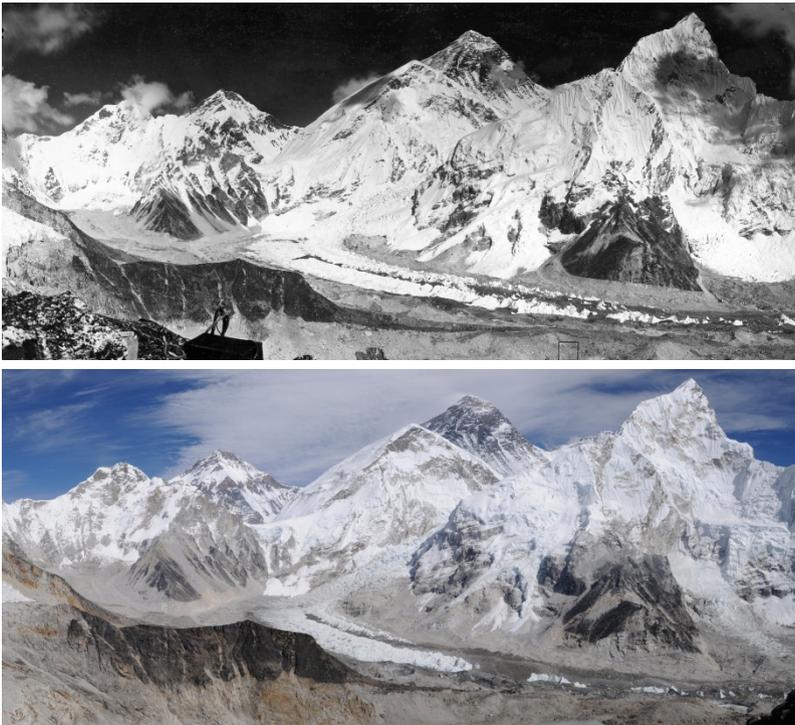


**Foto 8 a und b:** Der obere Loiba-Gletscher vom Mazeno-Pass (5370 m). Während der Gletscher in der Aufnahme von 1934 eine mächtige Schneedecke aufweist, können in der Wiederholungsaufnahme die schuttbedeckten Teile des Gletschers, ausgeaperte Blankeisbereiche und frische Lawinenkegel unterschieden werden (Aufnahmen: (a) Walter Raechl, 20. Juni 1934 und (b) Marcus Nüsser, 24. August 2010).



**Foto 9 a und b:** Der Lirung-Gletscher in Langtang, Nepal. Während der 63 Jahre zwischen den beiden Aufnahmen ist der Lirung-Gletscher im Zungenbereich massiv eingesunken. Auch in den höheren Lagen lässt sich ein signifikanter Eisverlust feststellen (Aufnahmen: (a) Oleg Pounin, 1949 und (b) Marcus Nüsser, 29. September 2012).

Nur zwei Jahre nach der Erstbesteigung des Mount Everest im Jahr 1953 führte Erwin Schneider photogrammetrische Aufnahmen im Khumbu-Gebiet durch (Foto 10 und 11), aus denen eine detaillierte topographische Karte des Region um den Mount Everest vom Cho Oyu bis zum Makalu entstand (Schneider 1967). Drei Jahre später untersuchte Fritz Müller die Gletscher im Khumbu-Gebiet im Rahmen eines achtmonatigen Aufenthalts (Müller 1958). Eine Reihe der dabei entstandenen Aufnahmen wurde von Alton Byers wiederholt (Byers 2007). In den folgenden Jahren wurden viele weitere Gletscherstudien in Nepal durchgeführt, wodurch das Gebirgsland sukzessive zu einem Schwerpunkt glaziologischer Forschung im Himalaya avancierte. Dabei kommt dem 1983 gegründeten International Centre for Integrated Mountain Development (ICIMOD) in Kathmandu eine tragende Rolle zu.



**Foto 10 a und b:** Der Khumbu-Gletscher mit Mount Everest (8848 m) und Nuptse (7861 m). Im Bildvergleich wird sowohl eine deutliche Abnahme der Gletschermächtigkeit als auch eine relative Zunahme der Schuttbedeckung erkennbar (Aufnahmen: (a) Erwin Schneider, 1955 und (b) Marcus Nüsser, 21. Oktober 2012).



**Foto 11 a und b:** Der Ngozumpa-Gletscher im Khumbu-Gebiet. Im Bildvergleich wird eine deutliche Zunahme der supraglazialen Schmelzwasserseen auf der Oberfläche des schuttbedeckten Gletschers erkennbar. Die Siedlung Gokyo (4770 m) ist in der Zwischenzeit stark erweitert worden (Aufnahmen: (a) Erwin Schneider, 1955 und (b) Marcus Nüsser, 17. Oktober 2012).

Aktuelle Untersuchungen zu Gletscherveränderungen im Himalaya basieren weitgehend auf Fernerkundungsdaten, wobei das Ziel in einer vollständigen Inventarisierung besteht. In diesem Zusammenhang ist vor allem das globale Randolph Glacier Inventory zu erwähnen.

### Sozio-Hydrologie:

#### Perspektiven integrativer Wasserforschung im Himalaya

Abgesehen von den methodischen Problemen bei der Erfassung der räumlich und zeitlich differenzierten Gletscherveränderung im Himalaya lässt sich generell eine mangelnde Integration natur- und sozialwissenschaftlicher Arbeiten feststellen, die sich insbesondere in der Vernachlässigung sozioökonomischer und historischer Zusammenhänge äußert. Dabei legen die offenkundigen Zusammenhänge an der Schnittstelle zwischen der hydrologischen Dynamik und sozioökonomischen Entwicklungsprozessen eine integrative Betrachtung des Wirkungsgefüges nahe. Dies gilt insbesondere für die Bewässerungslandwirtschaft in den trockeneren Abschnitten des Gebirgsraums sowie für das zunehmende Risiko von Überschwemmungen durch ausbrechende Gletscherseen (GLOFs) infolge verstärkter Schmelzwasserabflüsse. Generell wird im Zuge des Gletscherrückgangs nach einer Phase verstärkter Schmelzwasserabflüsse langfristig mit einem verminderten Abfluss und einem entsprechend geringeren Wasserangebot gerechnet.

In den letzten Jahren hat sich mit der Sozio-Hydrologie ein neues Forschungsfeld etabliert, in der die Zusammenhänge zwischen Wasserangebot und -nutzung im Zusammenhang betrachtet werden (Sivapalan et al. 2012). Für unterschiedliche Gebiete im Himalaya ist dieser integrative Ansatz im Rahmen von Fallstudien angewendet und weiterentwickelt worden. Ausgehend von der Hypothese, dass Veränderungen in der Wasserverfügbarkeit mit Veränderungen in den Nutzungsmustern einhergehen, konnten allgemeine Zusammenhänge und regionalspezifische Charakteristika für die Region Ladakh im Trans-Himalaya (Nüsser et al. 2012, Nüsser und Baghel 2016), für den Karakorum (Parveen et al. 2015) und für das Nanga-Parbat-Gebiet (Nüsser und Schmidt 2017) aufgezeigt werden. Gemeinsames Kennzeichen dieser Studien ist die integrative Betrachtung der Interaktionen zwischen der glazio-fluvialen Abflussdynamik, den lokalen Praktiken der Wasserverteilung, einschließlich der institutionellen

Arrangements in den dörflichen Gemeinschaften sowie den externen Entwicklungsinterventionen und historischen Entwicklungen. Die Ergebnisse dieser integrativen Studien können insbesondere auch für angepasste Entwicklungsmaßnahmen in diesen Regionen verwendet werden.

### Gefährliche und gefährdete Landschaften: Die Himalaya-Gletscher im Diskurs (*Himalayan Cryoscapes*)

Ausgehend von der Hypothese, dass die Gletscher des Himalaya mit unterschiedlichen Bedeutungen aufgeladen sind, die weit über ihren Status als Landschaftselemente aus Eis, Schnee und Schutt hinausreichen, gerät der diskursive Aspekt zunehmend ins Blickfeld. Während einerseits bis heute die im Hinduismus und Buddhismus verankerten religiösen Bedeutungszuschreibungen für kulturräumliche Studien relevant sind, erhalten die Gletscher im Kontext der Diskussion um den globalen Klimawandel ein neues Gewicht. Ein entscheidender Grund für die Bedeutung und Wirkmächtigkeit von Gletschern als Indikatoren und Ikonen des globalen Wandels ist ihre Sichtbarkeit und damit die Möglichkeit zur Visualisierung ihrer Veränderungen in Form von Wiederholungsfotos und multitemporalen Satellitenbildauswertungen. Daneben werden die Gletscher des Himalaya in verschiedener Weise zur Veranschaulichung von Zusammenhängen genutzt. An der eingangs angesprochenen Kontroverse um den IPCC-Bericht aus dem Jahr 2007 wird erkennbar, dass neben der wissenschaftlichen Diskussion um das Ausmaß der Gletscherveränderung im Himalaya eine breite und wirkmächtige Debatte in Öffentlichkeit, Politik und Medien stattfindet. Daher repräsentiert die Aussage des Geophysikers Henry Pollack zur Indikatorfunktion von Gletschern nicht alle Dimensionen dieser Debatte:

„Nature's best thermometer, perhaps its most sensitive and unambiguous indicator of climate change, is ice. [...] Ice asks no questions, presents no arguments, reads no newspapers, listens to no debates. It is not burdened by ideology and carries no political baggage as it crosses the threshold from solid to liquid. It just melts” (Pollack 2009: 114).

Gegenüber dem simplifizierten Verständnis, dass Eis eben einfach nur schmilzt, ist zu berücksichtigen, dass die Gletscher mit multiplen Bedeutungen aufgeladen sind, die neben wissenschaftlichen Aspekten auch kulturelle, politische, ästhetische und weitere Dimensionen beinhalten. Ein vertieftes Verständnis der Himalaya-Gletscher und ihrer Dynamik sollte daher die komplexen Beziehungen zwischen den unterschiedlichen Bedeutungszuschreibungen berücksichtigen, die im Zuge von Aushandlungsprozessen zwischen verschiedenen Akteuren zum Vorschein kommen. Dabei unterliegen diese Bedeutungszuschreibungen fortlaufenden Veränderungen, die sich aus den unterschiedlichen Interpretationsoptionen vergletscherte Gebiete als gefährliche und gefährdete Landschaften ergeben (Nüsser und Baghel 2014). Auf der einen Seite werden Gletscherlandschaften aufgrund ihrer lebensfeindlichen klimatischen Bedingungen, ihren Spaltensystemen und den häufigen Lawinenabgängen als gefährliche Landschaften wahrgenommen. Auf der anderen Seite erscheinen die Gletscher als ‚gefährdete Art‘ (Carey 2007) und die zunehmend eisfreien Gipfel („Darkening Peaks“) werden weithin als Bedrohung gesehen (Orlove et al. 2008). In diesem Kontext wird auch das verstärkte Gefährdungspotential durch Gletscherseeausbrüche im Zuge des Eisrückgangs bedeutsam.

Darüber hinaus sind die süd- und zentralasiatischen Gebirgsperipherien von Hindukusch, Himalaya und Karakorum während der vergangenen Jahrzehnte immer wieder durch politische und militärische Auseinandersetzungen in den Blick der Weltöffentlichkeit geraten. Aufgrund überlappender territorialer Ansprüche hat sich der Gebirgsraum an der Grenze zwischen Indien, Pakistan und China zu einer sensitiven Region hoher geostrategischer Bedeutung entwickelt. In diesem Zusammenhang bildet der über 70 km lange Siachen-Gletscher, an dem sich seit 1984 indische und pakistanische Militärposten bis in Höhen von über 6500 m gegenüberstehen, das bekannteste Beispiel (Baghel und Nüsser 2015). Aufgrund der massiven militärischen Präsenz in der umstrittenen Hochgebirgsregion und den damit verbundenen Restriktionen für die wissenschaftliche Forschung sind einige vergletscherte Gebiete in diesem Raum nur noch begrenzt für Feldstudien zugänglich.

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Gesamttraum von Hindukusch, Himalaya und Karakorum lässt sich ein regional differenzierter Gletscherrückgang feststellen. Auch wenn der „Wohnsitz des Schnees“ im Zuge der wissenschaftlichen Erforschung zunehmend entmystifiziert wurde, so bleibt die Faszination für die Gletscher im höchsten Gebirge bis in die Gegenwart ungebrochen. Als Wassertürme Südasiens werden die Himalaya-Gletscher auch zukünftig wissenschaftliche und mediale Aufmerksamkeit erfahren. Dabei bleiben Wiederholungsaufnahmen (wo es möglich ist) eine geeignete Methode zur Erfassung und Dokumentation von Landschafts- und Gletscherveränderungen entlang der Gebirgsbögen Hochasiens. Eine besondere Herausforderung für zukünftige Forschungsarbeiten zu den Gletschern des Himalaya wird in der verstärkten Integration natur- und sozialwissenschaftlicher Ansätze liegen.

## Literatur

- Agassiz, L. (1840): *Études sur les glaciers*. Neuchatel: Jent et Gassmann.
- Baghel, R. and Nüsser, M. (2015): Securing the heights: <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S0962629815000347>. In: *Political Geography* 48: 24–36.
- Bhambri, R. and Bolch, T. (2009): Glacier mapping: A review with special reference to the Indian Himalayas. In: *Progress in Physical Geography* 35 (3): 672–704.
- Bolch, T., Kulkarni, A. V., Käab, A., Huggel, C., Paul, F., Cogley, J. G., Frey, H., Kargel, J., S., Fujita, K., Scheel, M., Bajracharya, S. R. and Stoffel, M. (2012): The state and fate of Himalayan glaciers. In: *Science* 336: 310–314.
- Byers, A. (2007): An assessment of contemporary glacier fluctuations in Nepal's Khumbu Himal using repeat photography. In: *Himalayan Journal of Sciences* 4 (6): 21–26.
- Carey, M. (2007): The history of ice: How glaciers became an endangered species. In: *Environmental History* 12 (3): 497–527.

- Charpentier, J. v. (1841): Essai sur les glaciers et sur le terrain erratique du bassin du Rhône. Lausanne: Marc Ducloux.
- Cogley, J. G., Kargel, J. S., Kaser, G., and van der Veen, C. J. (2010): Tracking the source of glacier misinformation. In: *Science* 327: 522.
- Cruz, R. V., Harasawa, H., Lal, M., Wu, S., Anokhin, Y., Punsalma, B., Honda, Y., Jafari, M., Li, C. and Huu Ninh, N. (2007): Asia. In: Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. and Hanson, C.E. (eds.): *Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group II to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, pp. 469–506.
- Finsterwalder, R. (1938): Die geodätischen, gletscherkundlichen und geographischen Ergebnisse der Deutschen Himalaya-Expedition 1934 zum Nanga Parbat. Berlin: Karl Siegmund.
- Hewitt, K. (2005): The Karakoram anomaly? Glacier expansion and the ‘elevation effect’, Karakoram Himalaya. In: *Mountain Research and Development* 25 (4): 32–40.
- Hewitt, K. (2011): Glacier change, concentration and elevation effects in the Karakoram Himalaya, upper Indus Basin. In: *Mountain Research and Development* 31 (3): 1–13.
- Hewitt, K. (2014): *Glaciers of the Karakoram Himalaya: Glacial environments, processes, hazards and resources*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer.
- Holland, T. H., Hayden, H. H., Walker, H., Pascor, E. H., Cotter, G. P. and Brown, J. C. (1907): A preliminary survey of certain glaciers in the North-West Himalaya. By officers of the Geological Survey of India: Kashmir Region. In: *Records of the Geological Survey of India* 35 (3): 124–137.
- Kargel, J. S., Cogley, J. G., Leonard, G. J., Haritashya, U. and Byers, A. (2011): Himalayan glaciers: The big picture is a montage. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)* 108.36: 14709–14710.

- Kick, W. (1960): The first glaciologists in Central Asia according to new studies in the Department of Manuscripts at the Bavarian State Library. In: *Journal of Glaciology* 3: 687–692.
- Kick, W. (1993): *Adolph Schlagintweits Karakorum-Forschungsreise 1856*. München: Deutscher Alpenverein.
- Kick, W. (1996): *Forschung am Nanga Parbat. Geschichte und Ergebnisse*. Berlin (Beiträge und Materialien zur regionalen Geographie 8).
- Longstaff, T. G. (1908): A mountaineering expedition to Himalayas of Garhwal. In: *The Geographical Journal* 31, 361–88.
- Mason, K. (1955): *Abode of snow – A history of Himalayan exploration and mountaineering*. London.
- Müller, F. (1958): Acht Monate Gletscher- und Bodenforschung im Everestgebiet. In: *Schweizerische Stiftung für alpine Forschungen (Hg.): Berge der Welt 1958/59*. Zürich: Büchergilde Gutenberg, pp. 199–216.
- Nüsser, M. (2000): Change and persistence: Contemporary landscape transformation in the Nanga Parbat Region, northern Pakistan. In: *Mountain Research and Development* 20 (4): 348–355.
- Nüsser, M. (2001): Understanding cultural landscape transformation: a re-photographic survey in Chitral, eastern Hindukush, Pakistan. In: *Landscape and Urban Planning* 57 (3–4): 241–255.
- Nüsser, M. (2012): Umwelt und Entwicklung im Himalaya: Forschungsgeschichte und aktuelle Themen. In: *Geographische Rundschau* 64 (4): 4–9 & supplement (map).
- Nüsser, M. (2015): Natur und Kultur im Himalaya: Die Gletscher- und Siedlungspanoramen der Brüder Schlagintweit. In: Kaiser, f. and Kleidt, S. (Hg.): *Über den Himalaya. Die Expedition der Brüder Schlagintweit nach Indien und Zentralasien 1854–1858*. Köln, Weimar, Wien: Böhlau, S. 319–343.
- Nüsser, M. and Baghel, R. (2014): The emergence of the cryoscape: contested narratives of Himalayan glacier dynamics and climate change. In:

- Schuler, B. (ed.): *Environmental and climate change in South and Southeast Asia: how are local cultures coping?* Leiden, Boston: Brill (= *Climate and Culture* 2), pp. 138–156.
- Nüsser, M. and Baghel, R. (2016): Local knowledge and global concerns: artificial glaciers as a focus of environmental knowledge and development interventions. In: Meusburger, P., Freytag, T. and Suarsana, L. (eds.): *Ethnic and cultural dimensions of knowledge*. Dordrecht, Heidelberg, London, New York: Springer (= *Knowledge and Space* 8), pp. 191–209.
- Nüsser, M. and Schmidt, S. (2017): Nanga Parbat revisited: evolution and dynamics of socio-hydrological interactions in the northwestern Himalaya. In: *Annals of the American Association of Geographers* 107 (2): 403–415.
- Nüsser, M., Schmidt, S. and Dame, J. (2012): Irrigation and development in the upper Indus Basin: characteristics and recent changes of a socio-hydrological system in central Ladakh, India. In: *Mountain Research and Development* 32 (1): 51–61.
- Orlove, B., Wiegandt, E. and Luckman B. H. (2008): The place of glaciers in natural and cultural landscapes. In: Orlove, B., Wiegandt, E. and Luckman B. H. (eds.): *Darkening peaks: Glacier retreat, science, and society*. Berkeley: University of California Press, pp. 3–19.
- Parveen, S., Winiger, M., Schmidt, S. and Nüsser, M. (2015): Irrigation in upper Hunza: evolution of socio-hydrological interactions in the Karakoram, northern Pakistan. In: *Erdkunde* 69 (1): 69–85.
- Pollack, H. (2009): *A world without ice*. New York: Avery.
- Schlagintweit, H. (1869–1880): *Reisen in Indien und Hochasien. Eine Darstellung der Landschaft, der Cultur und Sitten der Bewohner, in Verbindung mit klimatischen und geologischen Verhältnissen. Basirt auf die Resultate der wissenschaftlichen Mission von Hermann, Adolph und Robert von Schlagintweit ausgeführt in den Jahren 1854–1858*. 4 Bände, Jena.

- Schmidt, S. (2012): Der Himalaya bald ohne "Hima"? Was wir über die Gletscherentwicklung im Himalaya wissen. In: *Geographische Rundschau* 64 (4): 10–16.
- Schmidt, S. and Nüsser, M. (2009): Fluctuations of Raikot Glacier during the last 70 Years: a case study from the Nanga Parbat massif, northern Pakistan. In: *Journal of Glaciology* 55 (194): 949–959.
- Schmidt, S. and Nüsser, M. (2012): Changes of high altitude glaciers from 1969 to 2010 in the Trans-Himalayan Kang Yatze Massif, Ladakh, northwest India. In: *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* 44 (1): 107–121.
- Schmidt, S. and Nüsser, M. (2017): Changes of high altitude glaciers in the Trans-Himalaya of Ladakh over the past five decades (1969–2016). In: *Geosciences* 7(2): 27.
- Schneider, E. (1967): Begleitworte zur Karte Khumbu Himal I und zur Namensgebung. In: *Khumbu Himal* 1 (5): 430–446, mit Begleitkarte 1: 50.000.
- Sivapalan, M., Svanije, H. H. G. and Blöschl, G. (2012): Socio-hydrology: A new science of people and water. In: *Hydrological Processes* 26 (8): 1270–76.
- Strachey, R. (1847): A description of the glaciers of the Pindur and Kuphinee rivers in the Kumaon Himálaya. In: *Journal of the Asiatic Society of Bengal* 16 (2): 794–812.
- Tilman (1952): *Nepal Himalaya*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Visser, Ph. C. (1926): Explorations in the Karakoram. In: *The Geographical Journal* 68 (6): 457–468.
- Viviroli, D., Dürr, H. H., Messerli, B., Meybeck, M. and Weingartner, R. (2007): Mountains of the world, water towers for humanity: Typology, mapping, and global significance. In: *Water Resources Research* 43: 1–13.
- Workman, F. B. (1914): The exploration of the Siachen or Rose glacier, Eastern Karakoram. In: *The Geographical Journal* 43 (2): 117–141.