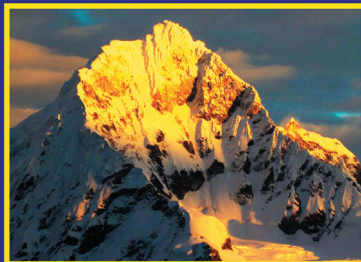


WARNSIGNAL KLIMA

Hochgebirge im Wandel

Herausgeber: José L. Lozán • Siegmund-W. Breckle • Heidi Escher-Vetter
Hartmut Graßl • Dieter Kasang • Frank Paul • Udo Schickhoff



Wissenschaftliche Auswertungen

GEO

Tafel 1: Baum- und Waldgrenzen

Die obere Baumgrenze ist eine von der Temperatur bestimmte Grenze. Unabhängig von der geografischen Breite liegt diese thermische Grenze dort, wo während der Vegetationsperiode mindestens im Mittel 6,4°C erreicht werden. Um diese Temperatur beobachtet man einen gleitenden Übergang: Immer weniger Bäume wachsen hangaufwärts bei niedrigerer Temperatur, bis alpine Matten übernehmen (Abb. 1, 2).

Im Gegensatz zur Baumgrenze ist die Waldgrenze der Lebensraum, in dem Bäume gerade noch geschlossene Bestände bilden. An der oberen Waldgrenze wird das Baumwachstum aufgrund der stärkeren Winde und sinkenden Temperaturen stark gebremst. Es kommt nur zu verkrüppelten Bäumen (Krummholzzone, Abb. 3), die nur langsam wachsen. Die Entfernung zwischen Baum- und Waldgrenze kann vor allem durch den Einfluss des Menschen oft mehrere Hundert Höhenmeter betragen.

An der äußersten Baum- und Waldgrenze ist das Leben der Bäume nicht leicht; besonders die jungen Bäume leiden bei den klimatischen Extremen und auch Infektionen wie Pilzkrankheiten machen ihnen zu schaffen.

Man unterscheidet zwischen verschiedenen Typen von Waldgrenzen: arktische und antarktische Waldgrenze, je nachdem, ob man von der nördlichsten Grenze in der Nordhemisphäre oder von der südlichsten Grenze in der Südhemisphäre spricht, wo der Wald noch wachsen kann. Die alpine Waldgrenze ist die höchste Höhe, in der ein geschlossener Wald noch vorkommt. Darüber hinaus gibt es andere spezielle Typen von Waldgrenzen wie Wüsten-Waldgrenze und hygrische Baumgrenze, je nachdem, ob der Grad der Trockenheit oder der Wasserübersättigung der limitierende Faktor ist, wie dies meist bei unteren Waldgrenzen der Fall ist.

Betrachtet man die alpine Baumgrenze weltweit, so liegt diese je nach geographischer Lage auf sehr unterschiedlicher Höhe über dem Meer. In Südargentinien (Feuerland) liegt sie nur bei etwa 300 m und in Lappland (Nordschweden) bei ca. 750 m. In den Tropen z.B. am Kilimandscharo wachsen Bäume bis ca. 3.000 m und im Himalaja teilweise noch bei ca. 4.400 m. Mit dem aktuellen Klimawandel wird weltweit eine wenn auch verzögerte Verschiebung der Waldgrenze nach oben beobachtet.

Auch sind die Baumarten, die am weitesten nach Norden vordringen, sehr unterschiedlich. Dazu gehört vor allem die Gruppe der Koniferen (Nadelbäume) wie Lärchen, Kiefern und Fichten. Birken und Erlen stellen für die Koniferen vor allem in feuchteren Regionen häufig eine Konkurrenz dar.

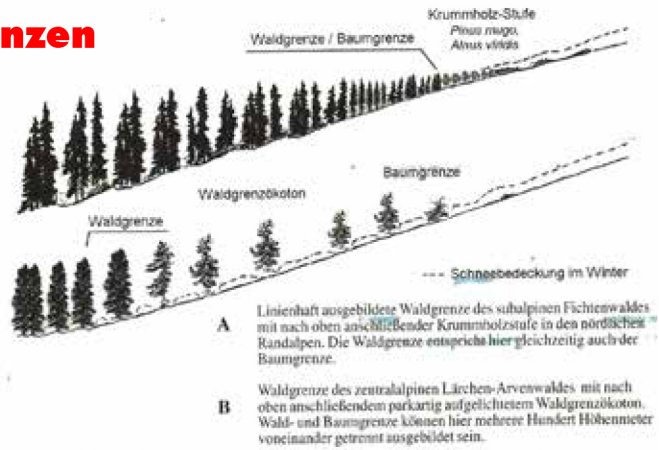


Abb.1: Baum- und Waldgrenze (aus Pott et al. 2001)

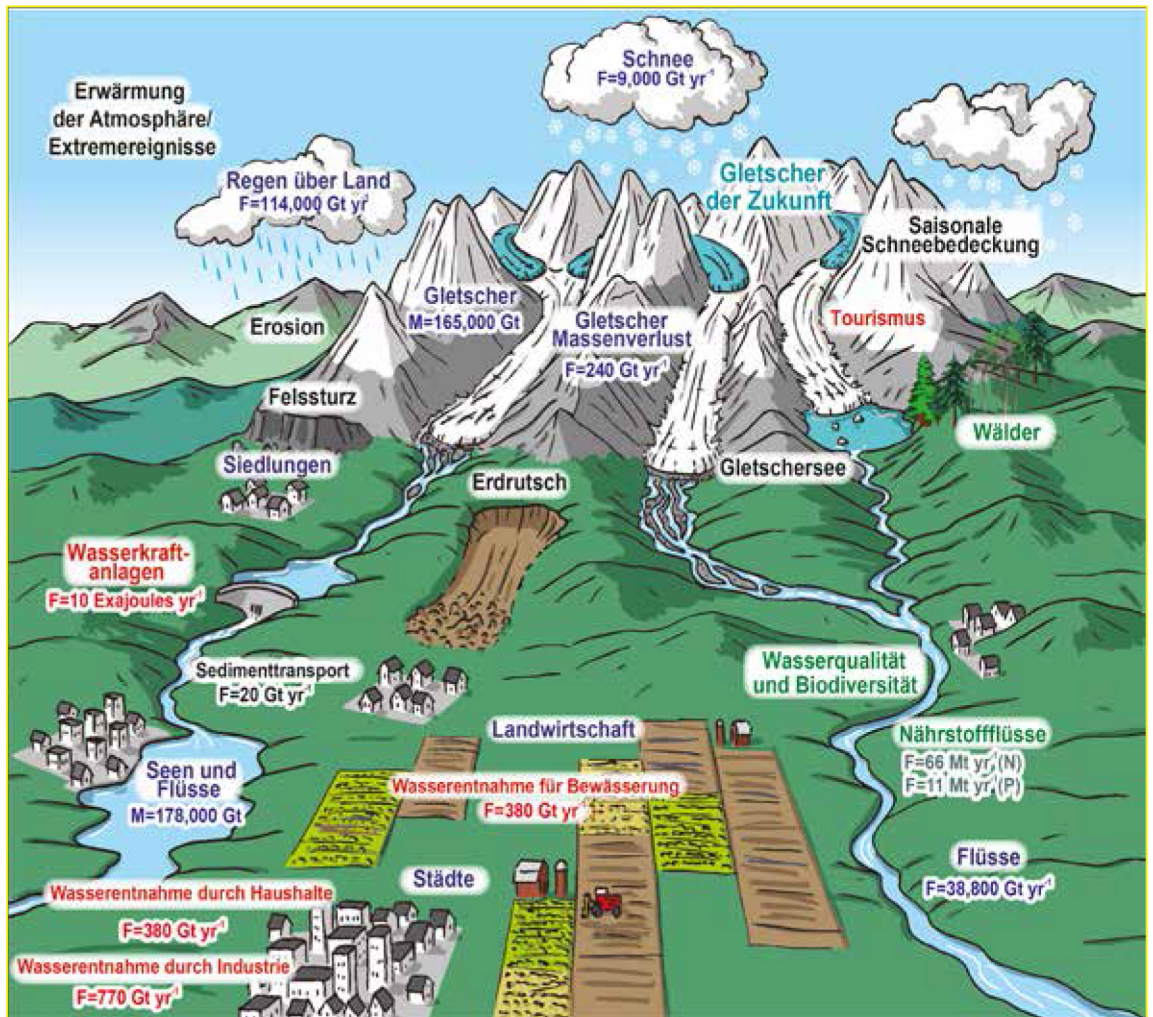


Abb.2: Waldgrenze



Abb.3 Grosse Vielfalt von Baumwuchsformen als Folge des »Kampfes« des Baumes mit seiner rauen Umwelt. Hier der sogenannte Säbelwuchs wegen der Krümmung durch Schneelast als Jungbaum.

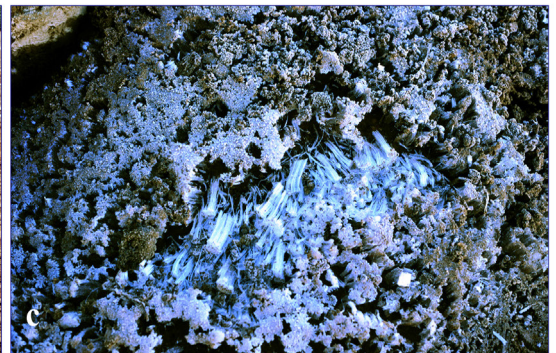
Tafel 2: Kryo-, Hydro- und Biosphäre sowie Naturgefahren und Kulturlandschaft in Gebirgsregionen



In dieser Darstellung werden die wichtigsten Elemente der Kryosphäre (Eis, Schnee und Permafrost), der Hydrosphäre (Niederschläge, Seen & Flüsse) sowie der Biosphäre (Wälder & Vegetation) zusammengefasst, die in den Gebirgsregionen von Bedeutung sind. Ferner werden bedeutende menschliche Aktivitäten in den Gebirgsregionen wie Tourismus, Landwirtschaft, Energiegewinnung und Besiedlungen gezeigt. Junge Gebirge, wie die Alpen, heben sich immer noch. Erosion-Prozesse werden bei allen Gebirgen (ältere und junge Gebirge) beobachtet, Hebung und Erosion sind in vielen Gebirgen wie in den Alpen annähernd gleich.

F = Massenflüsse und M = Volumen oder Masse. Die M-Werte sind aufgrund veröffentlichter Daten einigermaßen gesichert, die F-Werte oft nur Schätzungen (Quelle: Huss et al. 2017) (Darstellung ergänzt und übersetzt mit freundlicher Genehmigung des Autors).

Tafel 3: Endemische Pflanzenarten aus den tropischen Anden



Lebensformen in der Páramo zwischen 3.700 und 4.800 m. **a:** Nevado Antisana (5.758 m NN) an der Ostkordillere von Ecuador ca. 80 km östlich von Quito mit seiner vereisten Kappe und kurzen Gletschern. Die Ostseite des Vulkans (links) ist bis zur oberen Waldgrenze (4.200 m) mit dichtem Wald bedeckt. Darüber breitet sich der Páramo mit unterschiedlichen Lebensformen aus. **b:** Ein mächtiges Polster aus *Azorella compacta* (vorne links), *Plantago rigida* (vorne rechts) und *Xenophyllum humile* in der Super-Páramo zwischen den Frostmusterböden in ca. 4.700 m. **c:** Kammeisbildung bei 4.500 m als Motor der Solifluktion im tropischen Hochgebirge und Bildung von Frostmusterböden. **d:** Im Nebel eingehüllte »Páramo propiamente dicho« mit *Espeletia* (*Espeletia hartwegiana*) und **e:** Horstgräsern (Fotos a-e: M. Daud Rafiqpoor).

Tafel 4: Die Gebirge der Welt im Zahlenspiegel

- Gebirge bedecken 22% der Landoberfläche, in ihnen leben 915 Millionen Menschen, also etwa 13% der Weltbevölkerung, und davon 90% in Entwicklungs- und Schwellenländern: Über die Hälfte davon in Asien und insgesamt 30% in Städten (allerdings stark schwankend von 67% in Südamerika (Anden) und nur 16% in Afrika).
- Die Gebirge tragen entscheidend zur **globalen** Rohstoffversorgung bei:
 - sie liefern Süßwasser für über 50% der Weltbevölkerung für Hausgebrauch, Bewässerung, Industrie und Wasserkraft
 - sie beherbergen über die Hälfte der globalen Hotspots der Biodiversität
 - sie sind Hauptlagerstätten sehr wichtiger Rohstoffe wie Wolfram, Kupfer und Lithium.
- Gleichzeitig gehören Gebirge - mit Ausnahme einzelner Regionen in den Tropen, insbesondere in Ostafrika - zu den **marginalisierten Gebieten**:
 - Die *Armutsrates* ist oft höher als im Tiefland, insbesondere in den Ländern Südostasiens (Vietnam, Laos) und im Himalaya; auch in den Anden sind zwei Drittel der Bewohner arm,
 - Die *Nahrungsversorgung* ist weniger sicher: im ländlichen Raum der Gebirge ist sie für eine von drei Personen unsicher, im Tiefland bloß für eine von acht,
 - ihre *Infrastruktur* ist geringer ausgebaut, insbesondere das Straßennetz und
 - einige *Gebirge* sind Schwerpunkte des Tourismus.

Gebirge sind überdurchschnittlich stark von den *Klimaänderungen durch den Menschen* betroffen.

In Anlehnung an:

VITA, A., R. TESTOLIN & T. HOFER (2015): Mapping the vulnerability of mountain peoples to food insecurity. FAO. Rome

Tafel 5: Hochkulturen der Gebirge: das Beispiel der Inkas

Das Inkareich erreichte kurz vor der Eroberung durch die Spanier im 16. Jahrhundert seine größte Ausdehnung. Es umfasste über 200 Völker, vom heutigen Ecuador im Norden bis Chile und Argentinien im Süden (eine Strecke etwa vom Nordkap bis nach Sizilien). Das Inkareich wies einen hohen Organisationsgrad auf. Die Hauptstadt war Cusco; eine Stadt in den peruanischen Anden auf knapp 3.500 m Höhe. Nach der Mythologie der Inkas sollen der erste Inka Manco Cápac und seine Schwester Mama Ocllo vom Sonnengott Inti gesandt worden sein, um die Welt zu verbessern. Sie sollen auf der Sonneninsel im Titicacasee (3.812 m Höhe) zur Welt gekommen sein und sie gründeten die Stadt Cusco um das Jahr 1200.

Belege für die hohe Entwicklung der Inkakultur sind die noch bestehenden Gebäude und Festungen aus dieser Zeit. Sie wurden u.a. mit Hilfe von Künstlern, Ingenieuren und Technikern der eroberten Völker gebaut. Beispiele dafür sind die Bauten, die ohne Zement fugenlos aus ineinandergefügten präzise behauenen Natursteinen bestehen (Abb.1).

Das Inkareich war in erster Linie ein Agrarland. Durch einen hohen Organisationsgrad waren die Inkas in der Lage, die Bevölkerung trotz der häufigen Überschwemmungen, Dürren und anderen Katastrophen gut mit Nahrungsmitteln zu versorgen. So zeigen Leichen aus dieser Zeit keine Anzeichen von Mangelernährung. Viele der Bewässerungssysteme funktionieren heute noch.

Die Inka-Straßen (Inka-Pfade) (Abb. 2) verliefen quer durch das gesamte Land; sie waren das Rückgrat des Inka-Reichs. Beispielsweise verläuft die sogenannte »königliche Straße« (Qhapaq ñan) entlang der Anden in einer Höhe zwischen 1.000-4.000 m von Cusco nach Quito. Die Inkas kannten weder Reittiere noch das Rad. Die großen Entfernungen wurden mit Hilfe der Chasquis (= Boten, trainierte Läufer) (Abb. 3) überwunden. Sie benutzten neben den Inka-Pfaden die Inka-Brücken (Abb.4), die auch für die Armee und den Gütertransport benutzt wurden. Die Chasquis trugen u.a. ein Schneckenhorn, um ihre Ankunft anzukündigen, und ein Quipu, auf dem sie Informationen speicherten, sowie einen Rucksack, u.a. mit Kokablättern. Jeder Chasqui lief eine Teilstrecke, meist zwischen 15 und 25 km, zwischen zwei Tambos, an denen andere Läufer warteten. Sie konnten Nachrichten innerhalb weniger Tage z.B. von Cusco nach Quito – etwa 2.800 km – in weniger als einer Woche überbringen.

Als die Spanier 1532 nach Peru kamen, war das Inkareich durch einen Bürgerkrieg stark geschwächt. Es gelang den Spaniern, den neuen Inka-Machthaber Atahualpa in Nordperu gefangen zu nehmen. Atahualpa bot Gold und Silber im Austausch für seine Befreiung an. Das versprochene Gold und Silber wurde nach einiger Zeit ausgehändigt. Trotzdem wurde Atahualpa hingerichtet. Danach nahmen die Spanier die wichtigsten Städte der Inka ein, sie etablierten sich im Land und herrschten, bis Peru seine Unabhängigkeit im Jahr 1821 erlangte. Das Hauptinteresse der Spanier war Gold und Silber. Sie zwangen die Einheimischen unter unmenschlichen Bedingungen in Gold- und Silberminen zu arbeiten. Bei der Ankunft der Spanier hatte Peru über 10 Mio. Einwohner. Die fast 300jährige Kolonialzeit führte zum Niedergang der Urbevölkerung. Ihre Anzahl sank durch Ausbeutung, Unterernährung und Infektionskrankheiten auf etwa 1-2 Mio. Heute beträgt der Bevölkerungsanteil der Ureinwohner ca. 45% von insgesamt 32 Mio. Viele haben sich bis heute von der Kolonialzeit nicht erholt und leben in Armut.



Abb. 1: Sacsayhuaman. Gebäude in der Nähe von Cusco bestehend teilweise aus 20 t schweren Granitsteinen.



Abb.2: Inka-Pfad

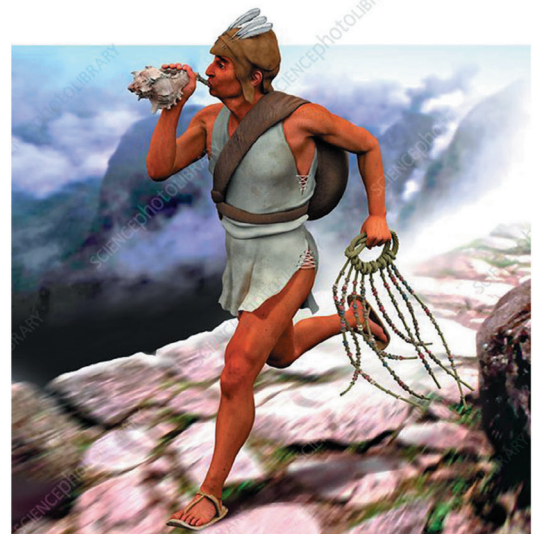


Abb.3: der Chasqui.



Abb. 4: Hängebrücke aus Gras über den Fluß Apurimac

Vorwort

Hochgebirge sind faszinierende Lebensräume und zugleich ein Hotspot der Global-Change-Forschung. Das vorliegende Buch widmet sich den Gebirgen, die seit der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Juni 1992 verstärkt in den Blickpunkt der Weltöffentlichkeit gerückt sind. Seitdem hat das Bewusstsein um die globale Bedeutung der Gebirgsressourcen, um die Bedrohung ihrer Natur- und Kulturlandschaften durch globale Umweltveränderungen sowie um die Probleme der Bergbevölkerung stark zugenommen. Damit haben Fragen zur Entwicklung in den Bergen der Welt mehr politische Aufmerksamkeit und wissenschaftliches Interesse erfahren. So entstanden internationale Forschungsnetze, wie z.B. die *Global Observation Research Initiative in Alpine Environments* (GLORIA), der *World Glacier Monitoring Service* (WGMS) wurde intensiviert und das *Global Terrestrial Network for Permafrost* (GTN-P) gestartet.

Auch im *Global Mountain Biodiversity Assessment* (GMBA) arbeiten über 1.100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus 83 Ländern zusammen, um wissenschaftliche Ergebnisse für Politikerinnen und Politiker aufzubereiten. Die Gebirge der Erde sind eine Folge der ständigen tektonischen Aktivität der Erdkruste. Sie repräsentieren aber auch die jeweilige dritte Dimension in einer bestimmten Vegetations- und Klimazone.

Gebirge bedecken 20-25% der Landoberfläche, so dass sie in erheblichem Maße die regionale, aber auch die großräumige atmosphärische Zirkulation mitbestimmen. Nur etwa 10% der Menschen leben in Gebirgen, aber fast die Hälfte ist vom Wasser, der Energie, den Bodenschätzen und anderen natürlichen Ressourcen aus ihnen abhängig. Außerdem sind sie Biodiversitätshotspots und oftmals Zentren kultureller Vielfalt, aber auch wichtig für Erholung und Tourismus.

Hochgebirge liefern reines Wasser und regulieren das Klima weit über ihre Grenzen hinaus. Hochgebirge sind Wassertürme der Erde und versorgen Tiefländer mit Wasser. Fast alle großen Flüsse der Erde entspringen in Hochgebirgen, sie versorgen mehr als 40% der Weltbevölkerung. Diese Bedeutung wird bei noch wachsender Weltbevölkerung zunehmen.

Der besondere Artenreichtum der Gebirge aufgrund der Vielfalt von Lebensräumen und Standortbedingungen macht Naturschutzgebiete und Biosphären-Reservate in ihnen deshalb besonders wertvoll. Für die Bewahrung dieser biologischen Vielfalt ist aber auch eine sorgfältig gepflegte und nachhaltig genutzte Kulturlandschaft unerlässlich. Dabei spielen die Wälder eine wichtige Rolle, nicht nur als besondere Biotope, sondern auch als Schutz vor Hangrutschungen, Steinschlag, Lawinen und Überschwemmungen.

Hochgebirgsökosysteme sind fragil, und die Einflüsse des globalen Wandels stellen deshalb eine Bedrohung dar. Insbesondere die angelauten raschen Klimaänderungen als Folge der Nutzung fossiler Brennstoffe sowie die veränderte Landnutzung beeinträchtigen die Ökosystemleistungen der Gebirge. Die Hochgebirgslandschaft mit steilen Hängen, Schnee, Gletschern und Permafrost sowie eng gestaffelten Vegetationszonen ist besonders anfällig gegenüber Veränderungen der Umweltbedingungen. Diese Fragilität der Hochgebirgsökosysteme stellt zugleich eine Herausforderung für eine nachhaltige Landnutzung und das Management natürlicher Ressourcen dar. Über Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen ist die Verletzbarkeit von Hochgebirgsregionen zu reduzieren, um nachhaltige Entwicklungspfade für die Bergbevölkerung und die von den Gebirgsressourcen abhängigen Tieflandbewohner zu erreichen.

Mit diesem Buch soll ein weiterer Beitrag zur Verbreitung von aktuellen Forschungsergebnissen zur entsprechenden Sensibilisierung der Öffentlichkeit – dieses Mal zu den Hochgebirgen - geleistet werden. Wie die anderen Bände dieser Buchreihe »Warnsignal Klima« richtet sich dieses Buch an Studierende und Wissenschaftler aller Fachrichtungen, insbesondere auch an Entscheider in Politik und Wirtschaft sowie an interessierte Laien. Es besteht aus 8 Kapiteln mit rund 60 Artikeln, in denen Forschungsergebnisse zu Klima- und Umweltveränderungen und ihre Auswirkungen für verschiedene Gebirgsregionen beschrieben werden. Beginnend mit der Bedeutung der Hochgebirge und ihrer jüngeren Geschichte wird anschließend der Wissensstand zu Schnee, Eis, Gletscher und Permafrost sowie Gewässern, Vegetation und Biodiversität behandelt, bevor Landnutzung und Naturgefahren beschrieben werden. Abschließend werden Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung in Gebirgsregionen diskutiert.

Insgesamt beteiligen sich 120 kompetente Wissenschaftler/innen aus den wichtigsten Institutionen in Deutschland und benachbarten Ländern mit geprüften Informationen aus erster Hand. Wir hoffen, mit diesem Buch die Debatte um aktuelle Entwicklungsprozesse in den Hochgebirgen der Erde zu intensivieren und Grundlagen für politische Entscheidungsprozesse bereitzustellen.

Unser herzlicher Dank gilt den Autorinnen und Autoren der einzelnen Beiträge und dem Gutachterkreis für die kritische Durchsicht der Texte und Anregungen zu deren Verbesserung. Wir danken ganz besonders dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, dem Helmholtz Verbund (Regionale Klimaänderungen) und dem Arbeitskreis Klima der deutschen Gesellschaft für Geographie für die Unterstützung unserer Bemühungen, das vorliegende Werk der Öffentlichkeit in gedruckter und elektronischer Form zugänglich zu machen.

Die Herausgeber

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Liste der Autoren/Autorinnen und der Gutachter	9
Hochgebirge: Definition, Bedeutung, Veränderungen und Gefahren (JOSÉ L. LOZÁN, SIEGMAR-W. BRECKLE, HEIDI ESCHER-VETTER, HARTMUT GRAßL & DIETER KASANG)	11
<u>1 Bedeutung der Hochgebirge</u>	<u>21</u>
1.1 Der Einfluss von Hochgebirgen auf die Zirkulation der Atmosphäre (Jürgen Böhner & Jörg Bendix)	21
1.2 Die Entstehung der Hochgebirge (Martin Meschede)	27
1.3 Übersicht über die wichtigsten Gebirge der Erde (José L.Lozán, Siegmар-W. Breckle, Dieter Kasang & Heidi Escher-Vetter)	33
1.4 Berge und Gebirge im Meer (Bernd Christiansen)	41
1.5 Hochgebirge: Wassertürme für eine wachsende Weltbevölkerung (Carmen de Jong)	45
1.6 Erdoberflächenprozesse im Hochgebirge – Der Einfluss des Klimawandels (Lothar Schrott & Jan Blöthe)	53
1.7 Hochgebirge: Hotspots der Biodiversität (Severin Irl & Andreas H. Schweiger)	62
1.8 Hochgebirge als Ressourcenräume für Tiefländer (Matthias Winiger)	70
1.9 Bevölkerung und Siedlungsstrukturen im Hochgebirge (Christoph Stadel & Axel Borsdorf)	78
1.10 Lokale Anpassungsstrategien für Landnutzung in Hochgebirgen (Hermann Kreutzmann)	85
<u>2 Paläoökologische Veränderungen in Hochgebirgen</u>	<u>92</u>
2.1 Globale Klima- und Gletscherveränderungen im Pleistozän und Holozän (Heinz Veit & Alexander Groos)	92
2.2 Welche Umweltinformationen können aus Jahrringen abgeleitet werden? (Achim Bräuning & Jussi Grießinger)	98
2.3 Holozäne Klimaänderungen und Waldgrenzschwankungen in den Alpen (Conradin A. Burga)	103
2.4 Anthropogene Einflüsse auf die Hochgebirgsumwelt im Holozän: Einblicke aus einer alpinen Bergbaulandschaft (Kerstin Kowarik & Hans Reschreiter)	109
<u>3 Veränderungen der Kryosphäre in Hochgebirgen</u>	<u>115</u>
3.1 Gletscherbeobachtung und globale Trends (Frank Paul & Martin Hoelzle)	115
3.2 Die Gletscher Hochasiens im Klimawandel (Tobias Bolch, Atanu Bhattacharya & Owen King)	122
3.3 Die Karakorum-Anomalie (Christoph Mayer, Astrid Lambrecht & Alexander Groos)	129
3.4 Wenn Gletscher abrutschen (Andreas Kääh)	135
3.5 Tropische Gletscher: Ostafrika (Rainer Prinz & Thomas Mölg)	141
3.6 Die Gletscher der Anden im Klimawandel (Thorsten Seehaus)	146
3.7 Gletscher und Schnee in Hochgebirgen Nordamerikas (Dieter Kasang & José L. Lozán)	152
3.8 Gletscherschmelze unter Schuttbedeckung: Verbreitung, Prozesse und Messmethoden (Pascal Buri, Simone Schauwecker & Jakob Steiner)	160
3.9 Permafrost in den Alpen – Langzeitbeobachtung und Entwicklung über zwei Jahrzehnte (Jeannette Nötzli)	166
3.10 Globale Klimaänderung und die Gletscher auf Neuseeland (Stefan Winkler)	174
3.11 Einfluss des Klimawandels auf die Schneebedeckung (Kay Helfricht & Marc Olfes)	181

4	<i>Hydrologische Veränderungen in Hochgebirgen</i>	187
4.1	Hochgebirgsgewässer im Wandel (Heike Zimmermann-Timm, Deep Narayan Shah & Ram Devi Tachamo Shah)	187
4.2	Einfluss des globalen Wandels auf die Bodenstabilität des alpinen Graslandes (Christine Alewell, Lauren Zweifel & Katrin Meusburger)	194
4.3	Sozio-Hydrologie des Trans-Himalaya – Schmelzwasserverfügbarkeit und Bewässerungswirtschaft (Marcus Nüsser, Juliane Dame & Susanne Schmidt)	199
4.4	Hochgebirge und Wasserressourcen in Peru und Kalifornien (Dieter Kasang)	205
4.5	Hydrologische Veränderungen in vergletscherten Einzugsgebieten (Regine Hoch)*	(213)
5	<i>Biodiversität der Hochgebirge im Klimawandel</i>	213
5.1	Klimawandel und Vegetationsdynamik im Hochgebirge (Harald Pauli)	213
5.2	Phänologische Veränderungen in Hochgebirgen (Christian Rixen)	220
5.3	Klimawandel und Gebirgswälder: Bedrohung der Multifunktionalität ? (Georg Gratzer)	225
5.4	Alpine Waldgrenzen im Klimawandel – Wie sind die heterogenen Reaktionsmuster zu erklären? (Udo Schickhoff, Maria Bobrowski & Niels Schwab)	232
5.5	Vegetation und Klimawandel an der Ostkordillere von Ecuador am Beispiel des Páramo de Papallacta (M. Daud Rafiqpoor & Siegmund-W. Breckle)	239
5.6	Auswirkungen des Klimawandels auf das Wachstum von Zwergsträuchern in Hochgebirgen (Stef Weijers & Jörg Löffler)	246
5.7	Pflanzen besiedeln neue Lebensräume: Primärsukzession auf Gletschervorfeldern (Brigitta Erschbamer & Conradin A. Burga)	252
5.8	Klimawandel und biologische Invasionen im Hochgebirge (Anna Schertler, Franz Essl & Bernd Lenzner)	257
5.9	Die Tierwelt der Alpen im Klimawandel (Peter Huemer, Hermann Sonntag, Friederike Barkmann & André Stadler)	264
5.10	Ökologische Folgen des Landnutzungswandels in den Alpen (Erich Tasser & Ulrike Tappeiner)	272
6	<i>Sozioökonomische Veränderungen in Hochgebirgen</i>	279
6.1	Ökonomische Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen in den Alpen (Andreas Bartel & Barbara Färber)	279
6.2	Der sozioökonomische Strukturwandel in den Alpen (Oliver Bender & Andreas Haller)	284
6.3	Klimawandel und Wintersporttourismus: Wahrnehmung und Reaktion der Touristen (Jürgen Schmude & Maximilian Witting)	291
6.4	Mensch-Umwelt-Interaktionen im Äthiopischen Hochland (Simon Strobelt & Michèle von Kocemba)	296
7	<i>Naturgefahren in Hochgebirgen</i>	303
7.1	Klimawandel, Morphodynamik und gravitative Massenbewegungen (Thomas Glade)	303
7.2	Einfluss der Permafrostdegradation auf Hangstabilität (Friederike Günzel & Wilfried Haeberli)	309
7.3	Warnsignal Klima - Die Lawinengefahr im Klimawandel (Benjamin Reuter, Christoph Mitterer & Sascha Bellaire)	316
7.4	Gefahren aus vergletscherten Vulkanen: Das Beispiel Nevado del Ruiz (Simon Allen, Christian Huggel & Frank Paul)	324
7.5	Bedrohung durch Erdbeben im Himalaya (Birger-G. Lühr)	330
7.6	Risiken durch Gletscherseen im Klimawandel (Holger Frey & Wilfried Haeberli)	336
7.7	Bergstürze, Seeausbrüche und Muren im Pamir (Siegmund-W. Breckle & Martin Mergili)	343
8	<i>Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung</i>	351
8.1	Klimawandel und Naturschutz im Gebirge: Neue Herausforderungen (Mario F. Broggi)	351
8.2	Klimawandel und Anpassungsstrategien im Alpentourismus (Ulrike Pröbstl-Haider)	357
8.3	Klimawandel in den Lebenswelten und Handlungslogiken ländlicher Bevölkerung im Hochgebirge: Perspektiven aus dem Callejón de Huaylas, Peru (Martina Neuburger)	363
8.4	Hochland-Tiefland Beziehungen in ihrer Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung in Gebirgsräumen (Paul Messerli, Susanne Wymann von Dach & Thomas Kohler)	370
9	<i>Sachregister</i>	378