

## 2.5 Dynamik von polaren und hochalpinen Landschaften

Schon heute und ganz besonders in Zukunft führt die Klimaänderung vor allem für Landschaften und Lebensräume in kalten Regionen zu markanten bis drastischen Änderungen mit lokalen bis globalen Auswirkungen. Die Schweiz als Hochgebirgsland ist mitbetroffen. Um sich an diese Folgen des Klimawandels anpassen zu können, braucht es einen offenen Diskurs, eine partizipative Planung, integrative Denkansätze und eine Wissenschaft, die sich mit den veränderten Geo- und Ökosystemen beschäftigt.

*Wilfried Haerberli (Universität Zürich)*

### Landschaft und Klimawandel

Die Landschaft als sichtbare Umgebung und wahrgenommener Lebensraum des Menschen ist ein komplex vernetztes System und beinhaltet eine Kombination von objektiven Elementen und subjektiven Wahrnehmungen von natürlichen Bedingungen (Naturlandschaft) und menschlichen Aktivitäten (Kulturlandschaft). Landschaften können für die Identität von Menschen und Gesellschaften eine zentrale Rolle spielen.

Treiber von landschaftlichen Veränderungen sind die Natur (Geologie, Klima, Wasser, Vegetation) und der Mensch mit seinen Aktivitäten und Infrastrukturen (speziell Siedlung, Landwirtschaft, Energieproduktion, Wasserwirtschaft, Verkehr), die aktiv die Oberfläche in unterschiedlichen Zeiträumen verändern.

Auch der Klimawandel beeinflusst die Landschaft. Klimabedingte Effekte sind dort deutlich bis dominant, wo

- die Klimaänderung am stärksten ist,
- einzelne Landschaftselemente besonders sensibel auf Veränderungen des Klimas reagieren und
- andere Einflüsse – vor allem direkte Eingriffe des Menschen – limitiert bleiben.

Diese Voraussetzungen sind in kalten Gebieten hoher Breitengrade und im Hochgebirge erfüllt. Entsprechend rasante Entwicklungen sind dort bereits im Gang.

### Landschaftsveränderungen werden unterschiedlich wahrgenommen

Wahrnehmung, Zuordnung und Wertung landschaftlicher Veränderungen sind lokal, regional und global unterschiedlich und verändern sich zudem mit der Zeit (Gagné et al. 2014). Das «ewige/reine Weiss der Firne» in Gebirgslandschaften beispielsweise wurde in der abendländischen Romantik wie auch in vielen lokalen Kulturen als Symbol einer intakten Mensch-Umwelt-Beziehung gesehen und gerade in den Alpen erfolgreich touris-

tisch vermarktet (Haerberli & Zumbühl 2003). Heute sind schwindende Gletscher zu exemplarischen Beispielen der globalen Erwärmung geworden.

Lokal bis regional stehen praktische Fragen im Vordergrund, zum Beispiel zu Wasserkraft, Wasserressourcen, Tourismus, Landschaftsschutz oder Naturgefahren. Gerade bei solchen praktischen Fragen geht es darum, unterschiedliche Wertungen und Zielvorstellungen zu berücksichtigen, um Anpassungsstrategien mit breiter Akzeptanz zu entwickeln.

### Landschaftsveränderungen wirken sich auf Gesellschaft und Wirtschaft aus

Landschaftsveränderungen einzelner Gebiete können grossräumige Ausstrahlung und weit reichende sozio-ökonomische Auswirkungen haben. Der Schwund von Schnee und Eis in den Alpen beispielsweise beeinflusst die Gewässer des Tieflandes und die touristische Attraktivität der betroffenen Alpenländer. Mit fortschreitender Veränderung des Klimas sind zudem auch in bisher kaum betroffenen Gebieten problematische Auswirkungen zu erwarten. Der Anstieg des Meeresspiegels als Folge des Eisschwundes wird langfristig weltweit küstennahe Landschaften verändern und dicht besiedelte Lebensräume gefährden. Die heute bereits erkennbaren landschaftswirksamen Phänomene in kalten Regionen sind deshalb Vorboten für weit umfassendere Veränderungen mit für menschliche Zeitbegriffe praktisch irreversiblen Charakter.

### Globale Dynamik

Die am klarsten sichtbaren Veränderungen aufgrund der Klimaänderung spielen sich in den ausgedehnten kalten Landschaften höherer Breiten und in den kalten Gebirgsregionen der Erde ab (UNEP 2007; IPCC 2013/WGI/Chap.4; IPCC 2014/WGII/Chap.3 und Chap.18).

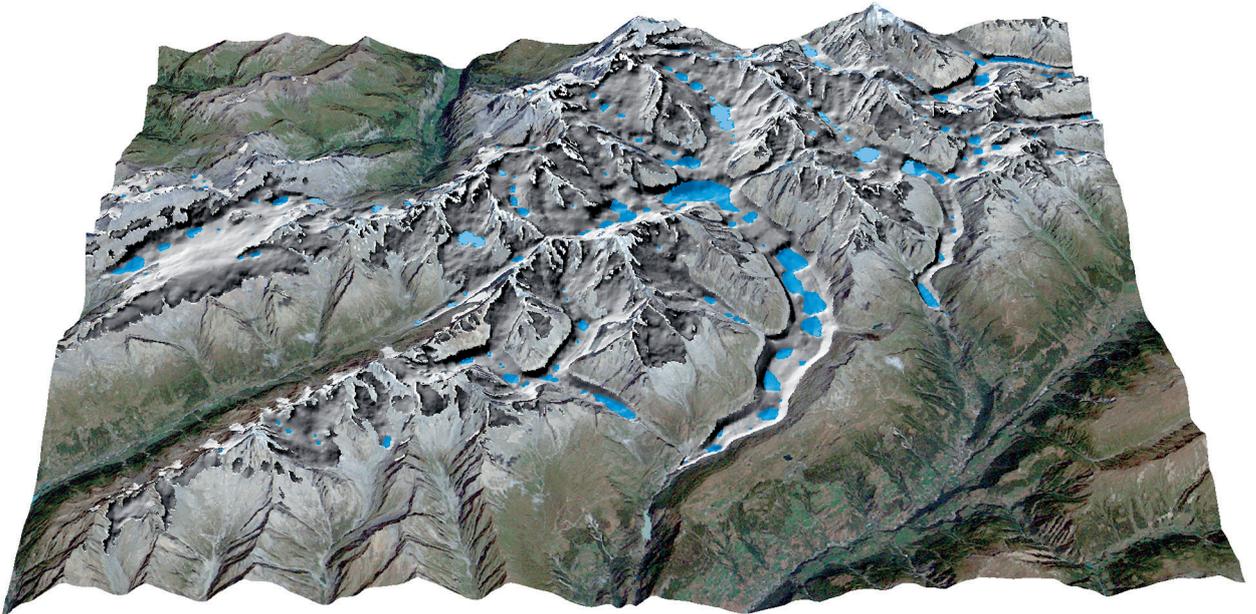
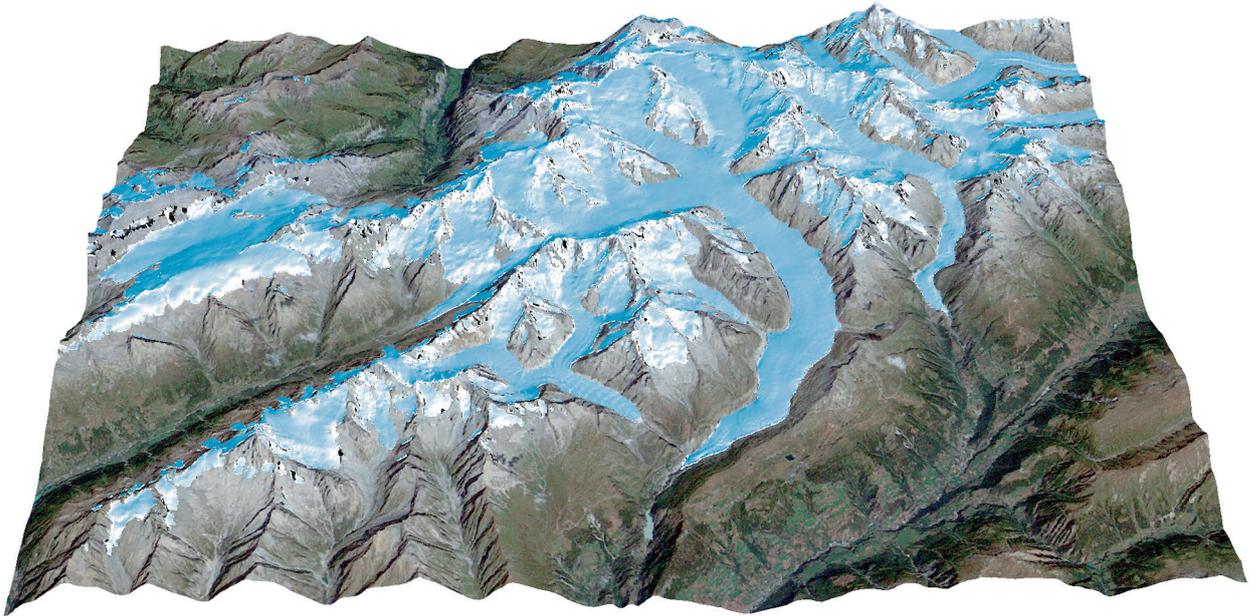


Abbildung 2.7: Region Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn (UNESCO Weltnaturerbe) mit und ohne Gletscher. Im Bild ohne Gletscher sind modellierte Gletscherbett-Übertiefungen als potenzielle Seen blau markiert. (Quelle: Andreas Linsbauer, Geographisches Institut, Universität Zürich)

## Polargebiete wandeln sich grundlegend

Der Schwund des nordpolaren Meereises zieht eine Reduktion der schneebedeckten Fläche der Erde und damit eine Reduktion der globalen Albedo<sup>1</sup> mit sich – ein Landschaftswandel, der die globale Erwärmung verstärkt (Bhatt et al. 2014). Gleichzeitig eröffnet er neue wirtschaftliche Möglichkeiten, vor allem bei der Rohstoffgewinnung und den Transportwegen. Ein möglicherweise bereits in wenigen Jahrzehnten eisfreier Sommer verkürzt die Schifffahrtsverbindungen zwischen Atlantik und Pazifik – was zu einer Erschliessung und wohl auch Gefährdung von bisher weitgehend unberührten Landschaften, Ökosystemen und indigenen Lebensräumen führen dürfte. Der bedrohte Lebensraum des Eisbären ist bereits zu einem starken Symbol für diese Entwicklung geworden.

Der steigende Zerfall von Eisschelfen wie auch der rasche Rückgang von Auslassgletschern beider Eisschilde (Grönland und Antarktis) spielen sich weit weg von menschlichen Aktivitäten ab, stehen aber im Zusammenhang mit der Stabilität enormer Eismassen, dem langfristigen Anstieg des Meeresspiegels und der weltweiten Gefährdung von Insel- und Küstenlandschaften. Das Auftauen des Permafrostes setzt nicht nur zusätzliche Treibhausgase frei, es erhöht auch die Durchlässigkeit des Untergrundes, was die Gewässer grosser subpolarer Flächen verändert und vor allem ausgedehnte Feuchtgebiete und zahlreiche Seen zum Verschwinden bringt. Das Zusammenspiel von Meeresspiegelanstieg, schwindendem Meereis und auftauendem Permafrost verstärkt die schon heute schnelle Erosion von Küsten hoher Breiten. Grossräumige Verschiebungen des temperaturabhängigen borealen Nadelwaldes auf Kosten der Tundragebiete brauchen sehr lange Zeit und werden durch Veränderungen des Permafrostes im Untergrund beeinflusst.

## Auch Hochgebirgslandschaften verändern sich tiefgreifend

Landschaften und Lebensräume der kalten Regionen entfernen sich immer weiter von Zuständen dynamischer Gleichgewichte, wie sie sich in der klimatisch relativ stabilen Nacheiszeit (Holozän) entwickeln konnten. Dies gilt auch für die Hochgebirgslandschaften der Erde, die durch den Schwund von Schnee und Eis tiefgreifende Veränderungen ihrer Charakteristik und ihrer Funktion erfahren. Die Schweizer Alpen sind ein besonders gut dokumentiertes Beispiel (s. a. Kap. 2.3 Schnee, Gletscher und Permafrost, S. 80).

## Dynamik im Gebirgsland Schweiz

In der Geschichte des Diskurses zu Fragen der Landschaft und der Umwelt in der Schweiz spielen die Begriffe *Berg, Wald, Wasser, Stadt* eine zentrale Rolle (Haerberli 2011). Veränderungen des Klimas beeinflussen primär Wasser, Wald und Berge. Veränderte Abflussverhältnisse – sommerliche Niederwasser und Trockenfall – dürften saisonal Fluss- und Seeuferlandschaften des Mittellandes zunehmend beeinträchtigen. Auch die Waldökosysteme als zentrale Elemente in Landschaft und Lebensraum dürften zunehmend betroffen sein (Björnsen Gurung & Stähli 2014). Zu erwarten sind der Wechsel von Nadel- zu Laubwald im Mittelland (Eiche und Buche statt Fichte), die Versteppung in Trockengebieten, Waldbrände und ein Anstieg der Waldgrenze (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106). Die stärksten Effekte dürften die Berge betreffen, mit ihrer für die Identität der Schweiz schon historisch zentralen Bedeutung (Walter 1996). Bei steigenden Temperaturen werden verschneite Winterlandschaften in Raum und Zeit abnehmen. Die charakteristischen Höhenstufen verschieben sich nicht einfach in grössere Höhen, sondern verändern sich, da Elemente der betroffenen Geo- und Ökosysteme wie Schnee/Wasser, Böden, Pflanzen oder Abtrag unterschiedlich und mit teilweise sehr langer Verzögerungszeit reagieren.

## Alpine Gletscherwelt: Schweizer Markenzeichen schwindet

Noch in unserem Jahrhundert dürfte der grösste Teil der alpinen Gletscherwelt verschwinden – ein touristisches Markenzeichen der Schweiz, das von Generationen verinnerlicht und auch erfolgreich kapitalisiert wurde. An Stelle des vermeintlich «ewigen Eises» der Gletscher entsteht mit grosser Geschwindigkeit eine neue Landschaft von Fels, Schutt, spärlicher Vegetation und vielen meist kleineren Seen. In den mancherorts übersteilten Bergflanken wird langsam auftauender Permafrost die Stabilität langfristig reduzieren und zu häufigeren Sturzereignissen auch grossen Volumens führen. Ausgeprägte Ungleichgewichte werden diese Landschaft auf Jahrhunderte hinaus prägen.

<sup>1</sup> Mit dem Begriff der Albedo (lat. = «Weisse») wird das Verhältnis zwischen reflektiertem und eingestrahltm Licht bezeichnet. Die hellen Schnee- und Eisflächen der Erde reflektieren einen grossen Teil der einfallenden Sonnenstrahlung. Sie beeinflussen damit die globale Strahlungsbilanz und das globale Klima.

## Herausforderungen und Lösungsansätze für die Schweiz

Ein erster und entscheidender Schritt ist der Beginn des dringend notwendigen Diskurses auf allen Ebenen über den Umgang mit neuen Landschaften, vor allem im Hochgebirge. Im Landschaftskonzept der Schweiz (BUWAL 1998) sind klimabedingte Veränderungen von Landschaften noch kein Thema: die Begriffe «Klima» und «Hochgebirge» findet man nicht und den Begriff «hochalpin» nur im Zusammenhang mit der Landesverteidigung und der Luftfahrt (Lärm in Schutzgebieten). Bereits intensiver setzte sich das Nationale Forschungsprogramm 48 *Landschaften und Lebensräume der Alpen* mit dem Thema auseinander (für das Hochgebirge v. a. Haerberli et al. 2007). Letztlich werden sehr bald für viele kommende Generationen Weichen gestellt werden müssen. Dabei stehen grundsätzliche Fragen an, wie etwa:

- Welche wirtschaftliche Lebensgrundlage können und sollen Gebirgsregionen mit ihren veränderten Schnee- und Eislandschaften künftig haben?
- Was muss man für die Erhaltung und Entwicklung der Energieproduktion oder des Tourismus beachten?
- Kann man die entstehenden Landschaften im Hochgebirge mit ihren Instabilitäten sich selber überlassen?
- Was sind schützenswerte Gletschervorfelder, wenn keine Gletscher mehr vorhanden sind?
- Welche Inhalte wird ein UNESCO-Weltnaturerbe Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn mit einem zerfallenden oder langfristig verschwindenden grössten Alpengletscher haben?
- Sollen solche Fragen auf kommunaler und kantonaler Ebene angegangen oder besser national (in Anbetracht der grossräumigen Bedeutung des alpinen Hochgebirges sogar auch international) behandelt werden?

Basierend auf einem offenen Diskurs und mit einer partizipativen Planung lassen sich grundsätzliche und breit abgestützte Konzepte zu Nutzung und Schutz der neuen Landschaften entwickeln. Nötig sind dazu wissenschaftliche Grundlagen zur Charakteristik und Dynamik der neuen Landschaften mit ihren ausgeprägten Ungleichgewichten – ein derzeit entstehender inter- und transdisziplinärer Forschungsbereich. Die noch weitgehend dominierende partikuläre und sektorielle Betrachtungsweise muss durch systemische Ansätze ergänzt werden. Dass dafür ein Bedarf besteht, zeigt das Beispiel der Prozessketten von Fels- und Eisstürzen aus übersteilten und destabilisierten Bergflanken in neue Seen, die Schwallwellen und dadurch weit reichende Hochwasser auslösen können (NELAK 2013; s. a. Kap. 2.6 Naturgefahren ausgelöst durch ein verändertes Klimasystem: Prozessketten und komplexe Risiken, S. 92).

## Referenzen

- Bhatt US, Walker DA, Walsh JE, Carmack EC, Frey KE, Meier WN, Moore SE, Parmentier F-JW, Post E, Romanovsky VE, Simpson WR (2014) *Implications of arctic sea ice decline for the earth system*. Annual Review of Environment and Resources 39: 57–89.
- Björnsen Gurung A, Stähli M (2014) *Wasserressourcen der Schweiz: Dargebot und Nutzung – heute und morgen*. Thematische Synthese 1 im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern.
- BUWAL (1998) *Landschaftskonzept der Schweiz*. Teil I Konzept und Teil II Bericht.
- Gagné K, Rasmussen MB, Orlove B (2014) *Glaciers and society: attributions, perceptions, and valuations*. WIREs Climate Change 5: 793–808.
- Haerberli W, Zumbühl HJ (2003) *Schwankungen der Alpengletscher im Wandel von Klima und Perzeption*. In: Jeanneret F et al. (eds): *Welt der Alpen – Gebirge der Welt*. Haupt, Bern: 77–92.
- Haerberli W, Keller F, Krüsi B, Egli M, Rothenbühler C, Meilwes J, Gruber S (2007) *GISALP – Raum-zeitliche Information über schnelle Klimaänderungen in hochalpinen Umweltsystemen als strategisches Werkzeug für Analyse, Kommunikation, partizipative Planung und Management im Tourismusgebiet Oberengadin*. Forschungsbericht NFP 48, Schweizerischer Nationalfonds, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 213 pp.
- Haerberli W (2011) *Umweltveränderungen und Naturgefahren*. In: Schneider-Sliwa R (ed.): *Schweiz – Geographie, Geschichte, Wirtschaft, Politik, WBG Länderkunden*, 169–175.
- IPCC (2013) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis (WG1)*. Chapter 4 «Observations: Cryosphere». [www.ipcc.ch/report/ar5/wg1](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1)
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)*. Chapter 3 «Freshwater resources». [www.ipcc.ch/report/ar5/wg2](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2)
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)*. Chapter 18 «Detection and attribution of observed impacts». [www.ipcc.ch/report/ar5/wg2](http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2)
- NELAK (2013) *Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation des nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques*. Forschungsbericht NFP 61. Haerberli W, Bütler M, Huggel C, Müller H, Schleiss A (eds.). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 300 pp.
- UNEP (2007) *Global outlook for ice & snow*. UNEP/GRID-Arendal, Norway, 235 pp.
- Walter F (1996) *Bedrohliche und bedrohte Natur – Umweltgeschichte der Schweiz seit 1980*. Chronos Verlag, Zürich, 244 pp.