Foto: Thierry Lachat

Teil 2: Folgen und Anpassung

Autorinnen und Autoren

Prof. Dr. Konstantinos Boulouchos
Professor, Laboratorium für Aerothermochemie und Verbrennungssysteme, Institut für Energietechnik (IET), ETH Zürich

Prof. Dr. David N. Bresch
Professor für Wetter- und Klimarisiken, Institut für Umweltentscheidungen (IED), ETH Zürich und Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz)
Bis Juni 2016: Leiter, Business Development Global Partnerships, Swiss Re, Zürich

Prof. Dr. Harald Bugmann
Professor für Waldökologie, Institut für Terrestrische Ökosysteme (ITES), ETH Zürich

Prof. Dr. Reynald Delaloye
Professor für Physische Geographie, Departement für Geowissenschaften, Universität Freiburg

Sabine Döbeli
CEO, Swiss Sustainable Finance, Zürich

Prof. Dr. Markus Fischer
Direktor, Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern

Prof. Dr. Jürg Fuhrer
Leiter, Forschungsgruppe Klima und Lufthygiene, Agroscope, Zürich

Prof. Dr. em. Wilfried Haeberli
Professor (em.) für Geographie, insbesondere Physische Geographie, Geographisches Institut, Universität Zürich

Prof. Dr. Martin Hoelzle
Professor für Physische Geographie, Departement für Geowissenschaften, Universität Freiburg

Dr. Roland Hohmann
Sektionschef, Sektion Klimaberichterstattung und -anpassung, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen

PD Dr.Christian Huggel
Leitender Forscher, Klimafolgen, Risiken und Anpassung / Glaziologie und Geomorphodynamik, Geographisches Institut, Universität Zürich.

PD Dr. Margreth Keiler
Dozentin für Geomorphologie, Naturgefahren und Risikoforschung, Geographisches Institut, Universität Bern

Prof. em. Dr. DDr h.c. Christian Körner
Professor (em.) für Botanik, Departement Umweltwissenschaften, Universität Basel

Isabelle Kull
Projektleiterin, GEOTEST AG, Zollikofen

Prof. Dr. Nino Künzli
Professor für Sozial und Präventivmedizin, Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut und Universität Basel

Dr. Therese Lehmann Friedli
Stv. Leiterin, Forschungsstelle Tourismus (CRED-T), Zentrum für Regionalentwicklung, Universität Bern

Prof. Dr. Olivia Martius
Professorin für Klimafolgen, Geographisches Institut, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern

Dr. Christoph Marty
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Schnee und Permafrost, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Davos Dorf

Gabriele Müller-Ferch
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, ProClim – Forum für Klima und globalen Wandel, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern

Lea Müller
Expertin für Naturgefahren, Swiss Re, Zürich

Dr. Jeannette Nötzli
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Schnee und Permafrost, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Davos Dorf
Bis Juli 2015: Oberassistentin, Gruppe Glaziologie und Geomorphodynamik, Geographisches Institut, Universität Zürich

Prof. Dr. Anthony Patt
Professor für Klimaschutz und -anpassung, Institut für Umweltentscheidungen (IED), ETH Zürich

Dr. Frank Paul
Leitender Forscher, Gruppe Glaziologie und Geomorphodynamik, Geographisches Institut, Universität Zürich

Prof. Dr. Etienne Piguet
Professor für Mobilitätsgeographie, Geographisches Institut, Universität Neuenburg

Dr. Marco Pütz
Leiter, Forschungsgruppe Regionalökonomie und -entwicklung, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf

Prof. Dr. Christoph C. Raible
Professor für Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut, Universität Bern

Prof. Dr. Martine Rebetez
Professorin für Angewandte Klimatologie, Geographisches Institut, Universität Neuenburg
Leitende Forscherin, Walddynamik und Klima, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf

Dr. Andreas Rigling
Leiter, Forschungseinheit Walddynamik, Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf

Dr. Christoph Ritz
Bis März 2016: Geschäftsleiter, ProClim – Forum für Klima und globalen Wandel, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern

Dr. Ole Rössler
Postdoktorand, Gruppe Hydrologie, Geographisches Institut, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern

Dr. Nadine Salzmann
Leitende Forscherin und Dozentin, Departement für Geowissenschaften, Universität Freiburg

Dr. Yvonne Schaub
Stv. Leiterin Prorektorat Medizin und Naturwissenschaften, Universität Zürich
Bis Mai 2015: Doktorandin, Physische Geographie, Geographisches Institut, Universität Zürich

Dr. Eva Spehn
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Forum Biodiversität, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern
Geschäftsführerin, Global Mountain Biodiversity Assessment (GMBA), Institut für Pflanzenwissenschaften, Universität Bern

Dr. Kuno Strassmann
Projektkoordinator, CH2018-Konsortium, Institut für Atmosphäre und Klima (IAC), ETH Zürich
Bis Juni 2016: Fachspezialist Klimaschutz, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich
Bis April 2014: Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern

Prof. Dr. Rolf Weingartner
Professor für Hydrologie, Geographisches Institut, Oeschger-Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern

Mark Zimmermann
Abteilungsleiter NEST («Next Evolution in Sustainable Building Technologies»), Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA), Dübendorf

Dr. Markus Zimmermann
Wissenschaftlicher Mitarbeiter, Geographisches Institut, Universität Bern
Fachexperte Gefahren- und Risikomanagement, Inhaber, NDR Consulting GmbH, Geowissenschaftliches Büro, Thun

Herausforderungen für Forschung, Praxis und Gesellschaft im Umgang mit klimabedingten Naturrisiken – Fallbeispiel Haslital (Kanton Bern)

Die geomorphologischen Prozesse im Spreitgraben in der Gemeinde Guttannen BE veranschaulichen auf eindrückliche Weise die Auswirkungen der Klimaänderung, die seit etwa 30 Jahren immer wieder und in den letzten 10 bis 15 Jahren verstärkt in der alpinen Kryosphäre zu beobachten sind. Die zahlreichen Murgänge, die zwischen 2009 und 2011 im Spreitgraben aufgetreten sind, wurden durch Veränderungen der Permafrostverhältnisse am Ritzlihorn ausgelöst. Seit 2012 ist die Zahl der Murgänge zwar zurückgegangen, eine erneute Intensivierung der Murgänge – möglicherweise in kleinerem Ausmass – wird aber erwartet. Die enormen Geschiebeablagerungen in der Aare sowie die sich ständig ändernde Gefährdung von Siedlungen und Infrastrukturanlagen stellen hohe Ansprüche an das Gefahren- und Risikomanagement. Das im Jahre 2009 installierte Überwachungs- und Frühwarnsystem konnte durch die hohe Ereignisdichte bereits mehrmals auf seine Funktionalität geprüft und verbessert werden. Für den raumplanerischen Umgang mit diesen Risiken fehlten allerdings entsprechende Instrumente. Entscheidungsträger auf den Stufen Kanton und Gemeinde sind gefordert, zielführende Lösungskonzepte zu entwickeln, die den vorhandenen Unsicherheiten Rechnung tragen und zu einer Akzeptanz der notwendigen Anpassungsmassnahmen an der Basis führen.

Isabelle Kull (GEOTEST AG), Markus Zimmermann (NDR Consulting GmbH und Universität Bern)

Die Gemeinde Guttannen im östlichen Berner Oberland liegt auf rund 1050 Metern über Meer und ist umgeben von hohen Bergen. Naturgefahren sind ein wichtiger Bestandteil der Dorfgeschichte. Der grosse, nach der letzten Eiszeit entstandene Schuttkegel, an dessen Fuss sich Guttannen befindet, zeugt von wiederkehrenden Murgang-, Lawinen- und Sturzablagerungen vergangener Zeiten.

In den Jahren 2009 und 2010 ereigneten sich am Ritzlihorn (3263 m ü. M.), das sich westlich des Dorfes Guttannen befindet, grosse Felsstürze. Diese lösten im Murgangsystem Spreitgraben wesentliche Veränderungen in der Entwicklung der Prozesse aus und führten kurzfristig zu einem Systemwechsel: Während Murgänge bisher selten waren, ereigneten sich seit diesen Felsstürzen jährlich wiederkehrende Murgänge bisher ungekannten Ausmasses. Zwischen 2009 und 2011 wurden dadurch insgesamt rund 650 000 Kubikmeter Schutt – darunter riesige Felsblöcke – in der Aare abgelagert (GEOTEST 2012). Massive Erosionen auf dem Kegel und enorme Auflandungen im Talboden gefährdeten Infrastruktur und Siedlungsgebiet. Seit 2012 ist die Murgangaktivität wieder auf normalem Niveau.

Auslösende Prozesse und Prozessketten am Ritzlihorn

Die markante Nordflanke des Ritzlihorns, die aus stark verschieferten und verwitterungsanfälligen Gneisen besteht, befindet sich im Permafrost, wie die Hinweiskarte der potenziellen Permafrostverbreitung in der Schweiz zeigt (BAFU 2005; Gruber 2012). Dies haben Feldbeobachtungen und Messungen der Basistemperatur der Schneedecke bestätigt. Mit grosser Wahrscheinlichkeit lag das Auslösegebiet der Felsstürze im degradierenden Permafrost (Hasler et al. 2011). Die ersten Murgänge entstanden in den frischen Felssturzablagerungen und verursachten auf dem Kegel des Spreitgrabens eine starke Tiefenerosion. Durch die Murgänge haben sich unter den Firnfeldern am Kegelhals Abflusskanäle ausgebildet, in denen es zu Verklausungen kam. Durchbrüche solcher Verklausungen verstärkten die Erosion, die durch die Murschübe ausgelöst wurde. Durch die mechanische Zertrümmerung und Unterspülung des Firns wurde dieser über weite Strecken aufgerissen, bis er schliesslich ganz kollabierte und auf diese Weise neue erosionsanfällige Geschiebeherde freilegte.

Das bis anhin schneebedeckte und stellenweise gefrorene Lockergestein war nun der direkten Witterung und Wärmeeinträgen ausgesetzt, was die Geschiebeverfügbarkeit zusätzlich erhöhte. Ein schneearmer Winter (2010/2011) sowie hohe Lufttemperaturen und Starkniederschläge im Sommerhalbjahr 2011 haben zum weiteren Zerfall und damit zur Freilegung der Gräben beigetragen, die teilweise seit Jahrzehnten (allenfalls seit Jahrhunderten) firnbedeckt waren.

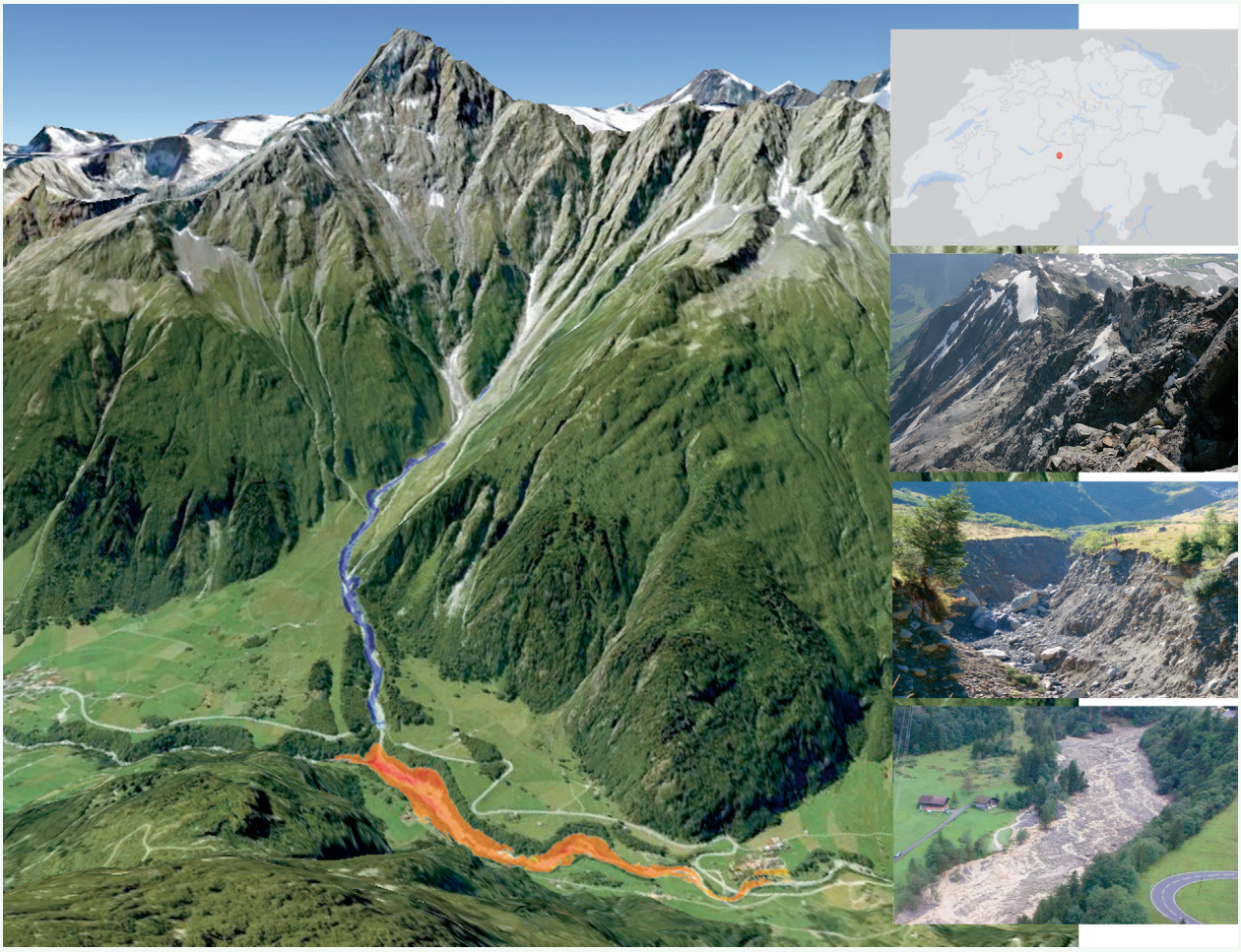


Abbildung 2.1: Ritzlihorn mit Spreitgraben und den bisherigen Erosions- (blau) und Ablagerungsgebieten (orange). Rechts: Illustrationen entlang des Grabens. (Quelle: GEOTEST 2012)

Meteorologische Faktoren, die Murgänge auslösten

Zu den wichtigsten meteorologischen Einflussfaktoren, welche die Murgänge ausgelöst hatten, gehörten neben den unmittelbaren Niederschlägen insbesondere die Schneemenge, die Lufttemperatur und die Wassersättigung des Substrats. Diese Faktoren hatten einen hohen Einfluss auf die Permafrost- und Firnschmelze im Einzugsgebiet und damit auf die Verfügbarkeit von leicht mobilisierbarem Geschiebe.

Neuartige Prozesskette – vermutlich durch Klimaänderung ausgelöst

Bei dieser Prozesskette handelt es sich um ein aussergewöhnliches, vermutlich klimabedingtes Phänomen, für das man im Spreitgraben bisher keine historische Parallele kennt. Das periglazial geprägte Murgangsystem scheint nicht nur auf klimatische Veränderungen im Sinne von Extremereignissen zu reagieren, sondern insbesondere auch auf schleichende Temperaturveränderungen, die durch den Klimawandel bedingt sind und zu einer Degradation von Permafrost und Firn führen.

Der Spreitgraben ist kein Einzelfall: Im gegenüberliegenden Einzugsgebiet der Rotlouwi haben meteorologische Extremereignisse 2005 und 2011 zu grossen Murgängen geführt. Auch im zentralen Alpenraum konnte während der bekannten Unwetterereignisse 1987 eine Intensivierung der Murgänge durch Permafrostdegradation festgestellt werden (Zimmermann & Haeberli 1992).

Sowohl die Murgänge des Spreitgrabens als auch jene der Rotlouwi zeigen auf, dass Murgangsysteme je nach Charakter des Einzugsgebietes ausgesprochen sensitiv auf klimabedingte Prozessveränderungen reagieren. Dies konnte auch im zentralen Alpenraum während der Unwetter-

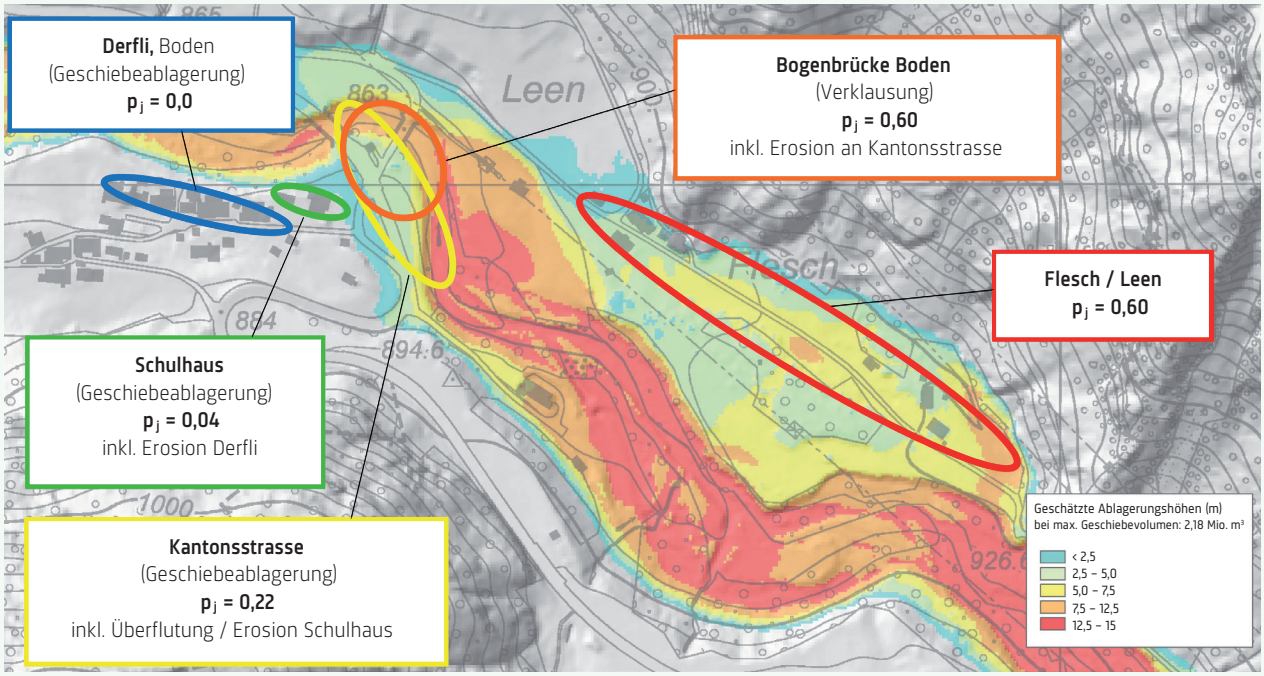


Abbildung 2.2: Prognostizierte Prozess- und Schadenswahrscheinlichkeit p_j für verschiedene Objekte innerhalb eines Zeithorizonts von 25 Jahren. (Quelle: GEOTEST 2012)

ereignisse 1987 festgestellt werden (Zimmermann & Haeberli 1992).

Auswirkungen und Anpassungen

Während der drei Ereignisjahre von 2009 bis 2011 waren im Bereich der Kantonsstrasse von Guttannen sowohl die Lawinengalerie als auch die internationale Gasleitung wiederholt durch Kolkbildung und Blockdurchschläge bedroht. Ein Wohnhaus und ein Stall, die sich unmittelbar gegenüber der Einmündung des Spreitgrabens in die Aare befanden, wurden akut durch Murgänge bedroht; das Wohnhaus stammte aus dem 18. Jahrhundert und lag bisher rund 20 Meter über dem Flussbett der Aare. Weiter talauswärts legten Murgänge und Hochwasser die Gasleitung frei und gefährdeten diese. Die Murgangablagerungen in der Aare kamen im letzten Ereignisjahr bedrohlich nahe an die ARA Guttannen und an einen Mast der Hochspannungsleitung. Überdies führten Auflandungen in der Aare im Abschnitt der Häusergruppen von Flesch, Leen und Boden – die sich rund einen Kilometer unterhalb der Mündung des Spreitgrabens in die Aare befinden – zu erhöhten Hochwasserrisiken.

Umfangreiche Schutzmassnahmen umgesetzt

Um die Gefährdung in den Griff zu bekommen, wurden für die oben erwähnten Schadenpotenziale umfangreiche Schutzmassnahmen umgesetzt: Als erste Massnahme wurde ein hochtechnologisiertes Frühwarn- und Alarmsystem für den Strassenbetrieb, die Baustellen im Unterlauf und für betroffene Anwohner aufgebaut. Auch im Bereich des Kolkes unterhalb der Lawinengalerie und Transitgasleitung konnte die Bachsohle nach mehreren Stabilisierungsversuchen im Winterhalbjahr 2010/2011 aufgefüllt und mittels eines Färrichs, einer Struktur aus Stahlträgern und grossen Blöcken, stabilisiert werden. Im Jahr 2011 mussten die akut bedrohten Gebäude gegenüber der Einmündung aufgegeben werden. Die Personen wurden umgesiedelt, die Gebäude abgebrochen. Als weitere Schutzmassnahme wurde die Gasleitung im Bereich der Einmündung des Spreitgrabens in die Aare mit viel Aufwand auf die gegenüberliegende Talseite verlegt. Es wurden Dämme aufgeschüttet, um die ARA vor den immer weiter vordringenden Murgangablagerungen und vor lokaler Erosion zu schützen.

Die Anpassungen an die bisherigen Prozessveränderungen haben Kosten von rund 50 Millionen Franken verursacht, davon alleine 34 Millionen für die Sicherheit der Gasleitung. Sollten erneut Ereignisse in der Grössenordnung der Ereignisse von 2010/2011 stattfinden, könnten weitere Siedlungsteile von Guttannen (Flesch, Leen und

Boden) wie auch die Kantonsstrasse im Ablagerungs- und Erosionsbereich der Murgänge zu liegen kommen; dies würde weitere Anpassungsmassnahmen bedingen und grosse Kosten für Private und die öffentliche Hand verursachen.

Handlungsstrategien im Umgang mit klimabedingten Prozessveränderungen

Im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist zu erwarten, dass sowohl die Häufigkeit als auch die Intensität und die räumliche Ausdehnung von Prozessen, wie sie im Spreitgraben stattgefunden haben, weiter zunehmen werden.

Auch in anderen Gebieten können ähnlich wie im Haslital neue Prozessabläufe und Gefährdungsbilder entstehen. Deren mögliche Auswirkungen sind aus heutiger Sicht schwierig abzuschätzen, da sie oftmals ausserhalb der historischen Erfahrung liegen. Die grossen Schwierigkeiten liegen bei der Definition von Szenarien, Ereigniskaskaden, Gefährdungsbildern und letztlich von Gefahren und Risiken. Die Komplexität der Wechselwirkungen, die fehlenden historischen Parallelen und der landschaftsverändernde Charakter von klimabedingten Prozessveränderungen machen es schwierig, deren künftige Eintrittswahrscheinlichkeiten zu bestimmen. Aufgrund dieser Unsicherheiten war es bisher nicht möglich, für die potenziellen Prozessräume im Gebiet von Guttannen/Boden eine Gefahrenbeurteilung im Sinne einer Gefahrenkarte vorzunehmen. Es wurde stattdessen primär mit Worst-Case-Szenarien operiert. Ohne Gefahrenkarte war es für die Gemeinde jedoch schwierig, den baurechtlichen Umgang mit Bauten im Gefahrengebiet zu regeln oder grundsätzliche Entscheide zur zukünftigen Nutzung dieses Gebiets zu treffen.

Lösungsansatz

Im Sinne eines neuen Umgangs mit solchen klimabedingten Unsicherheiten und Risiken wurde für Guttannen ein Lösungsansatz ausgearbeitet, der auf unterschiedlichen Eintrittswahrscheinlichkeiten von Prozessen, Prozessentwicklungen (Kaskaden) und daraus resultierenden Schäden basiert (GEOTEST & NDR 2014). Die Prozesswahrscheinlichkeiten basieren dabei auf möglichen Kombinationen von Prozessabläufen.

Dieses Vorgehen soll ermöglichen, für potenziell gefährdete Objekte die Schadenswahrscheinlichkeit innerhalb eines festgelegten Zeitraums abzuschätzen. Im Falle von Guttannen umfasst der Zeitraum ungefähr 25 Jahre, basierend auf der Amortisationsdauer von Umbauten an Gebäuden. Ziel dieser Betrachtung ist, lokalen und kantonalen Behörden wie auch Versicherungen Grundlagen zur Verfügung zu stellen, die für Planungsentscheide (z. B. für Raumplanung und Infrastrukturentwicklung) und für die Versicherung von Gebäuden und Anlagen notwendig sind.

Je nach prognostizierter Prozess- und Schadenswahrscheinlichkeit im Siedlungsgebiet gibt es verschiedene Möglichkeiten des raumplanerischen Umgangs mit der Gefährdung: Aussiedlung bei sehr grosser Gefährdung (bereits angewandt bei der Häusergruppe gegenüber der Einmündung des Spreitgrabens), eine eingeschränkte Siedlungsentwicklung bei einer mittleren Gefährdung oder eine uneingeschränkte Siedlungsentwicklung bei sehr geringer Gefährdung.

In Guttannen wurde die wahrscheinlichkeitsbasierte Analyse für drei verschiedene Häusergruppen und einen Zeithorizont von 25 Jahren vorgenommen. Die Resultate der Analyse ergaben, dass

- bei zwei Häusergruppen (Flesch und Leen) mit einer erhöhten Schadenwahrscheinlichkeit von 60 Prozent zu rechnen ist. Das heisst aber auch, dass mit einer Wahrscheinlichkeit von 40 Prozent in den nächsten 25 Jahren keine Schäden auftreten.
- bei der Kantonsstrasse die Schadenswahrscheinlichkeit bei 22 Prozent liegt.
- bei zwei Objekten (Schulhaus) mit einer geringen Schadenwahrscheinlichkeit (0,04 Prozent) zu rechnen ist.
- im Derfli (Weiler Boden) im Moment mit keinen Schäden gerechnet werden muss.

Die Resultate der Analyse sind auf der Karte in Abbildung 2.2 räumlich dargestellt.

Referenzen

BAFU (2005) **Hinweiskarte der potenziellen Permafrostverbreitung der Schweiz.** www.bafu.admin.ch/naturgefahren

GEOTEST (2012) **Guttannen, Murgang Spreitloui – Analyse und Prognose.** Bericht Nr. 1409237.3.

GEOTEST, NDR (2014) **Guttannen, Spreitgraben – Ereigniswahrscheinlichkeiten.** Grundlagen für eine Risikoevaluation. Bericht Nr. 1414046.1.

Gruber S (2012) **Derivation and analysis of a high-resolution estimate of global permafrost zonation.** In: Bamber L, Gruber S, Gudmundsson GH, Van den Broeke M (eds.), The Cryosphere 6: 221–233.

Hasler A, Gruber S, Haeberli W (2011) **Temperature variability and offset in steep alpine rock and ice faces.** In Bamber L, Gruber S, Gudmundsson GH, Van den Broeke M (eds.), The Cryosphere 5: 977–988.

Zimmermann M, Haeberli W (1992) **Climatic change and debris flow activity in high-mountain areas.** A case study in the Swiss Alps. Catena Supplement 22: 59–72.

2.1 Einleitung

Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht zeigt, dass der Klimawandel bereits in den letzten Jahrzehnten Folgen für natürliche und menschliche Systeme auf allen Kontinenten und über alle Ozeane hinweg hatte. Im Allgemeinen gilt: Je wärmer es wird, desto stärker werden die Folgen und desto höher werden die Risiken. Diese Erkenntnis ist nicht neu, sondern war bereits Teil der früheren IPCC-Sachstandsberichte. Neu und im Zentrum ist im Fünften IPCC-Sachstandsbericht hingegen der Umgang mit Risiken und deren Vermeidung oder Verminderung – etwa mit geeigneten Anpassungsmassnahmen. Dazu wird eine Risikoanalyse verwendet, die neben klimatischen auch sozioökonomische Faktoren miteinbezieht.

Christian Huggel (Universität Zürich), Christoph C. Raible (Universität Bern),
*Kuno Strassmann (AWEL Kt. Zürich, *neu ETH Zürich), Gabriele Müller-Ferch (SCNAT/ProClim)*

Beobachtete Klimafolgen und ihre Rolle für zukünftige Abschätzungen

Das Abschmelzen der Gletscher gehört mit zu den deutlichsten Indikatoren des Klimawandels. Die Gletscher der Schweizer Alpen sind vor allem seit Mitte der 1980er-Jahre kontinuierlich und sehr rasch geschmolzen (s. a. Kap. 2.3 Schnee, Gletscher und Permafrost, S. 80). Aber auch terrestrische und marine Ökosysteme zeigen bereits Veränderungen. Viele Arten haben ihre geographische Verbreitung, jahreszeitlichen Aktivitäten, Migrationsmuster, Häufigkeit und Arteninteraktion geändert (s. a. Kap. 2.8 Biodiversität und Ökosystemleistungen, S. 100, Kap. 2.9 Wald, S. 106, Kap. 2.7 Alpine Ökosysteme, S. 96). Solche Beobachtungen stellen ein wichtiges Element zum besseren Verständnis der Art, Intensität und Geschwindigkeit der Folgen des Klimawandels dar. Beobachtungen von Folgen des Klimawandels reichen unterschiedlich weit in die Vergangenheit zurück. Meist liegen nur Daten für die letzten Jahrzehnte vor. Sie umfassen neben reinen Klimagrössen wie Temperatur oder Niederschlag auch Entwicklungen in Ökosystemen und der menschgemachten Umwelt und geben so empirisch über die Zusammenhänge zwischen Klima und Klimafolgen Aufschluss. Auf Grund der zahlreichen nicht-klimatischen Faktoren, die ebenfalls auf diese Systeme einwirken, wie zum Beispiel der Landnutzung, ist es eine grosse wissenschaftliche Herausforderung, beobachtete Veränderungen ursächlich auf den Klimawandel zurückzuführen *(Attribution)*. Das durch Beobachtungen erhärtete Prozessverständnis vergangener Veränderungen kann mittels Klimafolgemodellen benutzt werden, um zu Aussagen zur zukünftigen Entwicklung der Klimafolgen zu gelangen (s. a. Teil 1: Physikalische Grundlagen, S. 21).

Folgen des Klimawandels bergen Risiken

Klimafolgen bergen Risiken für natürliche und menschliche Systeme. Im Unterschied zum letzten Bericht betrachtet der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht die Klimaproblematik konsequent aus der Risikoperspektive. Risiko ist durch das parallele Auftreten von Gefährdung *(Hazards)*, Exposition *(Exposure)* und Verwundbarkeit *(Vulnerability)* definiert (s. a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77). Die neue Risikoanalyse zieht neben klimatischen auch sozioökonomische Faktoren wie Ungleichheit oder Armut mit ein. Dieser Ansatz trägt der Komplexität der Klimaproblematik Rechnung, führt aber zu mehr Unsicherheiten in den Schätzungen.

Im IPCC-Sachstandsbericht werden verschiedene Schlüsselrisiken aufgrund grosser Gefährdung sowie grosser Verwundbarkeit der exponierten Gesellschaften oder Systeme genannt. Die Welt wird von den Schlüsselrisiken unterschiedlich betroffen sein; es wird Verlierer und Gewinner geben. Global gehören die Gefährdung der Nahrungsmittelsicherheit vor allem in ärmeren Regionen wie auch die Bedrohung der Küstenregionen durch Sturmfluten und durch den Anstieg des Meeresspiegels zu den potenziell schwerwiegenden Folgen (s. a. Kap. 2.16 Globale Zusammenhänge und Migration, S. 136, Kap. 2.13 Urbaner Raum, S. 126). Eine geringere Verfügbarkeit von Wasser gilt als Schlüsselrisiko in Südeuropa, könnte aber auch in der Schweiz ein Thema werden, falls keine Anpassung in Form eines integralen Wassermanagements stattfindet (s. a. Kap. 2.4 Wasser, S. 84, Kap. 2.10 Landwirtschaft, S. 111). Dasselbe gilt für Hitzewellen, die ohne Anpassung auch hierzulande gesundheitliche Folgen und wirtschaftliche Schäden haben könnten (s. a. Kap. 2.15 Gesundheit, S. 132, Kap. 2.13 Urbaner Raum, S. 126). Auch andere Naturkatastrophen wie Überschwemmungen, Hagel, Erdrutsche oder Felsstürze können in der Schweiz die Bevölkerung bedrohen und wirtschaftlichen Schaden anrichten (s. a. Kap. 2.17 Versicherungs- und Finanzindustrie, S. 139, Kap. 2.6 Naturgefahren ausgelöst durch ein verändertes Klimasystem: Prozessketten und komplexe Risiken, S. 92, Kap. 2.12 Bauten und Infrastrukturen, S. 121, Kap. 2.11 Tourismus, S. 117).

Folgen und Anpassung an den Klimawandel: Forschungsaktivitäten in der Schweiz

Die IPCC-Sachstandsberichte richten sich in erster Linie an ein globales Publikum. Um auch ein kohärentes und aktuelles Bild der Schweiz zeichnen zu können, werden in den Kapiteln des vorliegenden Berichtes zusätzliche Erkenntnisse aus Schweizer Forschungsaktivitäten berücksichtigt. Zu den grösseren Programmen gehören:

Forschungsprogramm «Wald und Klimawandel»
Ziele des vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) und WSL 2009 lancierten Forschungsprogramms sind, herauszufinden, wie sich der Klimawandel auf den Wald und die Waldleistungen auswirkt und mit welchen Anpassungsmassnahmen sich letztere sichern lassen. Anhand der Erkenntnisse soll es den Akteuren – Forstdienste, Waldeigentümer, politische Entscheidungsträger – möglich sein, die mit dem Klimawandel verbundenen Risiken und die Anpassungsfähigkeit der Wälder richtig einzuschätzen und soweit erforderlich wirksame Anpassungsmassnahmen zu treffen. Die Ergebnisse fliessen zudem in die «Nationale Anpassungsstrategie an den Klimawandel» des Bundesrates (BAFU 2012 & 2014) und sollen die politische Umsetzung der Ziele der «Waldpolitik 2020» (BAFU 2015) unterstützen (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106).

Nationales Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61)
Im NFP 61 (2015) wurden von 2010 bis 2013 wissenschaftliche Grundlagen und Methoden erarbeitet für einen nachhaltigen Umgang mit den Wasserressourcen, die unter zunehmendem Druck stehen. Untersucht wurden auch die Auswirkungen der klimatischen und gesellschaftlichen Veränderungen auf die Ressource Wasser. Risiken und potenzielle Konflikte wurden identifiziert und Strategien für ein nachhaltiges und integrales Wasserressourcen-Management entwickelt (s. a. Kap. 2.4 Wasser, S. 84).

ACQWA (Assessing Climate Impacts on the Quality and Quantity of Water)
Das EU-Projekt ACQWA befasste sich von 2008 bis 2013 mit Klimawandel und Wasserressourcen in verschiedenen Regionen der Schweiz. Auf Basis von Klimamodelldaten und verschiedenen Wasserangebots- und Nachfragemodellen wurden Anpassungsstrategien in verschiedenen ökonomischen und politikrelevanten Sektoren entwickelt (s. a. Kap. 2.4 Wasser, S. 84).

Nationaler Forschungsschwerpunkt «Klima»
Im Rahmen des sogenannten «NCCR Climate» arbeiteten zwischen 2001 und 2013 rund 200 Forscherinnen und Forscher an zwölf Institutionen in der ganzen Schweiz. Entstanden sind mehr als 800 Forschungsartikel, die in internationalen Fachzeitschriften (peer-reviewed) erschienen sind. Geforscht wurde in den Bereichen Klima der Vergangenheit (Variabilität, Trends und Extremereignisse), Klima der Zukunft (Prozesse und Vorhersagen), Folgen von Klimavariabilität und Klimawandel sowie Risikobeurteilung, Risikoabsicherung und sozioökonomische Antworten. Aus diesem Forschungsschwerpunkt entstanden sind die beiden Forschungszentren Oeschger-Zentrum für Klimaforschung (OCCR) der Universität Bern sowie das Center for Climate Systems Modelling (C2SM) von der ETH Zürich, MeteoSchweiz, EMPA, WSL und Agroscope.

Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz (CCHydro)
Das Projekt CCHydro (2009 – 2012) des BAFU untersuchte die Auswirkungen des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Schweiz bis zum Jahr 2100, einschliesslich einer Standortbestimmung für 2050. Die Resultate zeigen, dass sich vor allem die saisonalen Abflussregimes stark ändern werden, wahrscheinlich mit vermehrtem Auftreten von Hochwasser und insbesondere auch Niedrigwasserereignissen (s. a. Kap. 2.4 Wasser, S. 84).

CH2014-Impacts-Initiative
Die neusten Klimaszenarien für die Schweiz (Klimaszenarien CH2011; die Szenarien werden momentan aufdatiert im Themenschwerpunkt CH2018) und die über die vergangenen Jahre entwickelten Klimafolgenmodelle führten zur CH2014-Impacts-Initiative und damit zur Quantifizierung der Klimafolgen in der Schweiz (CH2014-Impacts 2014). Dieser Bericht umfasst eine Sammlung von Klimafolgenstudien, die sowohl Veränderungen der Umweltbedingungen behandeln als auch deren wirtschaftliche und gesellschaftliche Konsequenzen wie Landwirtschaft oder Energieverbrauch. Es wurden drei Zeithorizonte (2030, 2060, 2080) behandelt, um den Anforderungen bei Planungs- und Managemententscheidungen und den je nach Klimafolge relevanten Zeitskalen gerecht zu werden.

Weitere Aktivitäten
Abgesehen von den genannten Projekten sind alle Schweizer Hochschulen im Bereich der Klimaforschung tätig. Zusätzlich laufen forschungsnahe Aktivitäten, die vom Bund initiiert sind. Dazu gehören beispielsweise das Pilotprogramm Anpassung und die Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

Optimale Anpassung kann Risiken verringern

Im Laufe der Geschichte haben sich Menschen und Gesellschaften immer wieder an das Klima mit seinen Schwankungen und Extremen angepasst – mit unterschiedlichem Erfolg. In den neuen IPCC-Sachstandsberichten wird noch klarer ersichtlich, dass Klima, Klimafolgen, Risiken, Anpassung und Minderung (s. a. Teil 1: Physikalische Grundlagen, S. 21) eng verbunden sind und erfolgreiche Ansätze eine umfassende Perspektive einnehmen müssen. Welche Risiken sind tragbar und wie gehen wir damit um? Wie gross ist unser Handlungsspielraum? Optimale Anpassung kann Risiken substanziell verringern, wie die zweite Arbeitsgruppe im IPCC-Sachstandsbericht (IPCC 2014/WGII) aufzeigt. Allerdings sind die Möglichkeiten zur Anpassung je nach Region und System sehr unterschiedlich. Die Schweiz zeichnet sich durch hohe Anpassungskapazitäten aus (s. a. Kap. 2.18 Strategien und Massnahmen des Bundes zur Anpassung an den Klimawandel, S. 144), wohingegen Länder mit hoher Armut und ungünstiger oder fehlender politischer Führung weniger entsprechende Möglichkeiten besitzen.

Anpassung wird zurzeit in einige Planungsprozesse eingebunden, wobei die Umsetzung von Massnahmen eher begrenzt bleibt. Technische Massnahmen hingegen werden häufig umgesetzt, oftmals in bereits bestehende Programme integriert, wie solchen zum Management von Katastrophenrisiken oder zur Wasserwirtschaft. Ein erster Schritt in Richtung Anpassung an den zukünftigen Klimawandel ist die Verringerung der Verwundbarkeit und Exposition gegenüber heutigen Klimaschwankungen (erhöhte Resilienz). Besonders wirksam sind Strategien, die gleichzeitig einen Zusatznutzen in anderen Bereichen zeigen, wie zum Beispiel in der Förderung der menschlichen Gesundheit oder der Qualität der Umwelt (IPCC 2014/WGII/SPM).

Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht zeigt ferner, dass die Risiken einer 2-Grad-Welt bedeutend kleiner sind als jene einer 4-Grad-Welt. Mit jedem zusätzlichen Grad Celsius Erwärmung wird der ökonomische und technische Spielraum kleiner. Nicht alle Systeme können sich anpassen und man stösst an Grenzen. Es gibt also Möglichkeiten, auf den Klimawandel zu reagieren – doch funktionieren sie nur in einem gewissen Rahmen und müssen Hand in Hand mit einer Minderung der Treibhausgasemissionen erfolgen. Minderung ist nach wie vor die wirksamste Reaktion auf den Klimawandel (s. a. Teil 3: Minderung, S. 149).

Referenzen

BAFU (2012) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder.** Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bern. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2014) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014 – 2019.** Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. Bern. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2015) **Waldpolitik 2020.** www.bafu.admin.ch/wald

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011.** Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

NFP 61 (2015) **Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz – NFP 61 weist Wege in die Zukunft.** Gesamtsynthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern. www.nfp61.ch

2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept

Im Fünften IPCC-Sachstandsbericht werden die Klimafolgen zum ersten Mal konsequent aus der Perspektive des Risikos für Mensch und Umwelt betrachtet. Das neue Risikokonzept versteht das Risiko nicht mehr einseitig als Folge der externen Gefährdungen aufgrund der Klimaänderung, sondern als Wechselwirkung zwischen Klima, seinen Auswirkungen sowie den sozioökonomischen Prozessen der Gesellschaft.

Christian Huggel (Universität Zürich)

Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht versteht das Risiko der Klimaänderung als integraler Teil der Bewältigung von Veränderungen durch die Gesellschaft. Risiken entstehen dabei durch die Wechselwirkung der klimabezogenen *Gefährdungen* mit der *Exposition* und *Verwundbarkeit* von Mensch und Umwelt gegenüber diesen Gefährdungen (Abb. 2.3). Der Mensch kann aktiv die möglichen Auswirkungen beeinflussen, indem er durch geeignete Anpassungen das Risiko vermindert. Ebenso kann er durch Minderung der Emissionen die menschgemachte Klimaänderung verringern.

Diese integrale Betrachtungsweise reflektiert die entsprechenden Verschiebungen in den wissenschaftlichen Publikationen. Die Unterscheidung der verschiedenen Aspekte – der externen Gefährdung sowie der Exposition und Verwundbarkeit von Mensch und Umwelt – ist eine wichtige Erweiterung gegenüber früheren IPCC-Sachstandsberichten: Diese neue Art der Strukturierung der Informationen vereinfacht das Risikomanagement und die Entwicklung politischer Instrumente.

Zentrale Elemente des Risikokonzepts

Risiko

Risiko bezeichnet die Möglichkeit von Folgen, bei denen es um den Verlust von Werten geht und der Ausgang ungewiss ist. Risiko ist das Resultat einer Wechselwirkung zwischen Gefährdungen, Exposition und Verwundbarkeit. Im IPCC-Sachstandsbericht geht es um das klimabezogene Risiko.

Gefährdungen

Das mögliche Auftreten eines natürlichen oder klimabezogenen physischen Ereignisses oder Trends oder dessen physikalische Folge, die den Verlust von Leben, eine Verletzung oder eine Gefährdung der Gesundheit bewirken kann. Neben dem Menschen können auch Sachgüter und natürliche Systeme (z. B. terrestrische Ökosysteme) Gefährdungen ausgesetzt sein. Gefährdungen beinhalten zwei Komponenten: die Auftretenswahrscheinlichkeit und die Intensität des Prozesses (z. B. bei einem Hochwasser oder Sturm).

Exposition

Das Vorhandensein von Menschen, Lebensgrundlagen, Lebewesen oder Ökosystemen, Umweltleistungen und Ressourcen, aber auch von Infrastrukturen oder wirtschaftlichen, sozialen oder kulturellen Werten an Orten, die bedroht sein können.

Verwundbarkeit

Die Neigung oder Veranlagung, nachteilig betroffen zu sein. Die Verwundbarkeit umfasst auch die Empfänglichkeit für Schaden, Verlust und Leid und das Unvermögen, damit umzugehen oder sich anzupassen. Die physische Verwundbarkeit gibt Auskunft über die (strukturelle) Widerstandskraft eines Objektes gegenüber der Einwirkung eines Gefahrenprozesses (z. B. einer Lawine), während die soziale Verwundbarkeit Aspekte wie Wohlstand, Alter, Bildungsstand, sozialer Status oder Geschlecht umfasst.

Folgen

Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme aufgrund von extremen Wetter- und Klimaereignissen oder aufgrund von schleichenden Veränderungen (z. B. Meeresspiegelanstieg oder Wasserverknappung in Trockengebieten).

Risikokonzept in der Anwendung

Geht es darum, die aufgrund eines bestehenden Risikos nötigen Massnahmen für Mensch und Umwelt abzuleiten, braucht es zuerst die Analyse und Bewertung des Risikos. Erst daraus lassen sich die nötigen Massnahmen

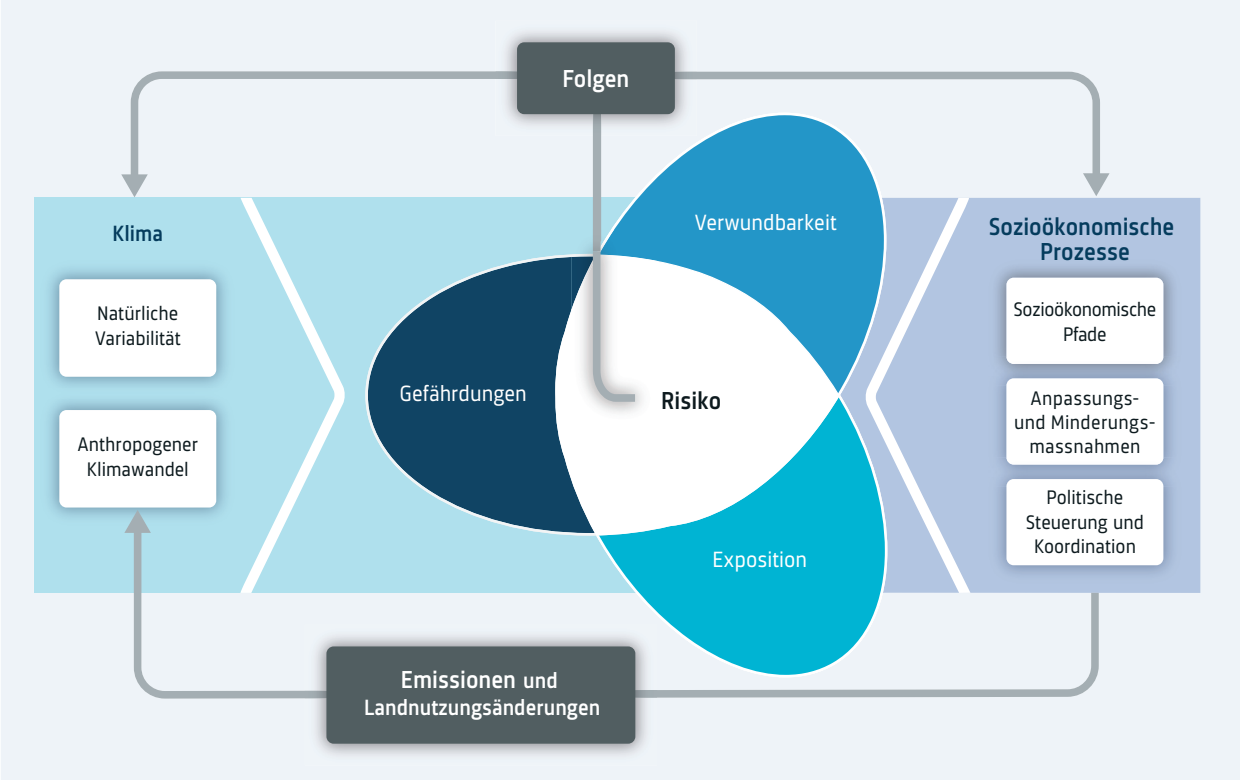


Abbildung 2.3: Risikokonzept wie im Fünften IPCC-Sachstandsbericht verwendet. Das Risiko von klimabezogenen Folgen resultiert aus der Wechselwirkung klimabezogener Gefährdungen (einschliesslich gefährlicher Ereignisse und Trends) mit der Verwundbarkeit und der Exposition menschlicher und natürlicher Systeme. Änderungen sowohl im Klimasystem (links) als auch in den sozioökonomischen Prozessen einschliesslich Anpassung und Minderung (rechts) sind Treiber für Gefährdungen, Exposition und Verwundbarkeit. (Quelle: IPCC 2014a)

planen. Zwei Beispiele sollen den Umgang mit Risiken illustrieren:

Risiko Verkehrswege

Das gesellschaftliche Risiko für lebensbedrohende Situationen durch einen Hangrutsch auf einen Verkehrsweg steigt mit zunehmenden extremen Niederschlagsereignissen (Gefährdung) und nimmt mit wachsendem Verkehrsaufkommen und damit Personendichte zu (Exposition). Ist die Zugänglichkeit der gefährdeten Stelle und somit die Rettung erschwert, dann ist überdies die Verwundbarkeit erhöht und das Gesamtrisiko nimmt nochmals zu. Durch bauliche Massnahmen (Gallerie, Tunnel) kann die Exposition und Verwundbarkeit stark verringert werden, falls die entsprechenden finanziellen, politischen und gesellschaftlichen Bedingungen für den Bau gegeben sind.

Risiko Siedlungsgebiete

In der Schweiz liegen verschiedene Siedlungen in Überschwemmungszonen und sind damit exponiert, wie das konkrete Beispiel des Mattequartiers in der Stadt Bern illustriert. Das Mattequartier ist überschwemmungsgefährdet, wenn die Aare mehr als 440 Kubikmeter Wasser pro Sekunde führt (AWA Fakten 2010). Die Exposition des historischen Quartiers kann wegen seiner Lage an einer engen Stelle der Aare nicht beeinflusst werden. Durch verschiedene Massnahmen konnte jedoch die Gefährdung verringert werden: Einerseits durch den Entlastungsstollen in Thun mit einer Abflusskapazität von 100 Kubikmetern Wasser pro Sekunde, mit der sich die regulierte Abflussmenge aus dem Thunersee bei tiefem Wasserstand im See verdoppelt und auch bei mittlerem Wasserstand von 300 auf 400 Kubikmeter Wasser pro Sekunde erhöht werden kann. Besteht die Gefährdung eines Starkniederschlags im Einzugsgebiet der Aare oberhalb von Thun, lässt sich der Thunersee durch diesen Stollen unabhängig von der Seehöhe um etwa 20 Zentimeter pro Tag absenken. Dies entspricht 10 Millionen Kubikmetern Wasser und schafft im Thunersee

neuen Rückhalteraum für die gefallenen Niederschläge im Einzugsgebiet der Aare. Eine weitere Massnahme zur Verringerung der Gefährdung ist die temporäre Dämmung des Flusslaufs im Mattequartier selbst. Diskutiert wird zudem eine Renaturierung der Aare zwischen Thun und Bern, was weitere Rückhalte- und Überschwemmungszonen schaffen würde. Trotz aller Massnahmen bleibt das Überschwemmungsrisiko im Mattequartier hoch, flossen doch im Jahr 2005 zeitweise über 1200 Kubikmeter Wasser pro Sekunde in den Thunersee – in Zukunft könnten noch grössere Mengen abfliessen. Bereits geschaffen wurde ein Hochwasseralarmsystem, das auch Kurznachrichten auf dem Handy umfasst; das Alarmsystem verringert die soziale Verwundbarkeit (Bevölkerung) und die physische Verwundbarkeit (Sachwerte).

Referenzen

AWA Fakten (2010) **Hochwasserschutz am Thunersee**. Amt für Wasser und Abfall, Abteilung Gewässerregulierung, Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, Bern, September 2010.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 19 «Emergent risks and key vulnerabilities». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014a) **Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger**. In: Klimaänderung 2014: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) [Field CB, Barros VR, Dokken DJ, Mach KJ, Mastrandrea MD, Bilir TE, Chatterjee M, Ebi KL, Estrada YO, Genova RC, Girma B, Kissel ES, Levy AN, MacCracken S, Mastrandrea PR, White LL (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2015.

2.3 Schnee, Gletscher und Permafrost

Die Klimaänderung wirkt sich deutlich auf die Kryosphäre aus. Weltweit betrachtet manifestieren sich die Folgen deutlich in den zwei Eisschilden (Grönland/Antarktis), im Meer-, See- und Flusseis sowie in den auch in der Schweiz weit verbreiteten Komponenten Schnee, Gletscher und Permafrost. Allen gemeinsam ist ihre Reaktion auf Änderungen von Temperatur und/oder Niederschlag. Der Wandel der Kryosphäre wirkt sich in der Schweiz auf verschiedene Bereiche von Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft aus. Stark betroffen sind Winter- und Skitourismus, Wasserkraft und die Sicherheit von Siedlungen, Infrastruktur und Transportwegen in alpinen Gebieten. Anpassungsmassnahmen, die mit gewichtigen Kosten verbunden sind, werden zunehmend notwendig.

*Christian Huggel (Universität Zürich), Christoph Marty (SLF), Jeannette Nötzli (Universität Zürich, *neu SLF), Frank Paul (Universität Zürich)*

Nationale Situation

Auswirkungen auf den Winter- und Skitourismus

In tieferen Lagen der Schweiz konnte in den letzten Jahrzehnten ein klarer Rückgang der Schneedeckendauer beobachtet werden, in hohen Lagen (über 2000 Metern) jedoch nicht. Mit der fortschreitenden Erwärmung wird sich in Zukunft die Schneesaison je nach Höhenlage um mehrere Wochen verkürzen und die Schneegrenze um mehrere hundert Meter nach oben verschieben. Die erwartete Erwärmung und die damit einhergehende Zunahme der Regen- statt Schneefälle (Serquet et al. 2011) wird sich substanziell auf den Winter- und Skitourismus auswirken (s. a. Kap. 2.11 Tourismus, S. 117). Im Kanton Graubünden etwa werden ohne weitere künstliche Beschneiung die Anzahl der schneesicheren Skigebiete abnehmen. Als schneesicher werden Gebiete bezeichnet, die mindestens in sieben von zehn Jahren mehr als 100 Tage im Jahr mindestens 30 Zentimeter Schnee aufweisen. In einem Szenario ohne explizite Massnahmen zum Klimaschutz (kurz: Referenzszenario) SRES-A2 (s. a. Kap. 1.5 Szenarien für die zukünftigen Treibhausgasemissionen, S. 38) und ohne künstliche Beschneiung verringert sich die Zahl der schneesicheren Skigebiete bis 2035 um rund 20 Prozent, bis 2085 um mehr als die Hälfte. Auch mit künstlicher Beschneiung nehmen die schneesicheren Gebiete ab – mit rund 25 Prozent bis ins Jahr 2085 aber weniger stark. Um die Schneesicherheit für Skigebiete weiterhin zu gewährleisten, müsste die künstliche Beschneiung – sofern überhaupt noch möglich – bis Ende des Jahrhunderts verdreifacht werden (Abegg et al. 2013; CH2014-Impacts 2014). Andererseits könnte aufgrund zunehmend fehlender Winterstimmungen im Unterland die Nachfrage nach klassischem Wintertourismus abnehmen.

Auswirkungen auf Wasserverfügbarkeit und Wasserkraftwerke

Das starke Abschmelzen der Gletscher und die Veränderungen der Schneedecke wirken sich auch auf die Wasserverfügbarkeit sowie den Energiesektor mit seinen Wasserkraftwerken aus. Auch wenn der globale Temperaturanstieg auf zwei Grad Celsius (gegenüber vorindustriellem Niveau) begrenzt werden kann, gehen Modellrechnungen im Vergleich zum Jahr 2000 immer noch von einem Gletschermassenverlust von etwa 50 Prozent bis 2050 und etwa 75 Prozent bis 2100 aus (Salzmann et al. 2012).

Im Zuge der zukünftigen Veränderungen der Schneedecke könnte die als Schnee gespeicherte Wassermenge um bis zu zwei Drittel kleiner werden, was zu einem geringeren Abfluss vor allem im Frühling und Sommer führen würde (Schmucki et al. 2015). Die grösste Unsicherheit dieser Projektionen liegt im Hochgebirge, weil dort die unsichere Niederschlagsentwicklung im Winter einen Teil der Erwärmung kompensieren könnte, zumindest falls mehr davon als Schnee fallen sollte.

Genaue Aussagen zur zukünftigen Entwicklung des Abflusses aus vergletscherten Gebieten sind deshalb mit Unsicherheiten behaftet. Ob sich in den kommenden zwei bis drei Jahrzehnten ein Anstieg des Abflusses ergibt, hängt von der Vergletscherung des Einzugsgebietes und weiteren Faktoren ab. Sind die Gletscher gross und dick, kann die Erhöhung der Schmelze durch Dickenabnahme die Verringerung der Schmelze durch Flächenabnahme überwiegen und der Abfluss wird noch einige Jahrzehnte zunehmen. Es lässt sich jedoch mit grosser Sicherheit sagen, dass der durch die Gletscherschmelze beeinflusste Abfluss im Sommer nach Mitte des Jahrhunderts abnehmen und sich die Abflussspitzen vom Hochsommer in den Frühsommer verschieben werden (Huss 2011).

Abbildung 2.4: Als Folge des Gletscherschwundes sind zahlreiche neue Seen in den Alpen entstanden, wie zum Beispiel der See am Triftgletscher (Bild unten) – und weitere werden dazu kommen. Dies führt für die Nutzung der Wasserkraft und für den Tourismus zu neuen Fragen im Umgang mit Risiken, Nutzung und Bewirtschaftung. Diese wurden etwa im Nationalen Forschungsprogramm 61 (NFP61) untersucht. Die Erwärmung der Permafrostböden führt zu Bewegungen an der Oberfläche, welche die Infrastruktur in hochalpinen Gebieten beschädigen können (zum Beispiel Lawinenverbauungen oder Seilbahnstationen). Als Anpassungsmassnahme werden «schwimmende Fundamente» eingeführt. Das Bild rechts zeigt ein Beispiel oberhalb von Randa im Mattertal. (Quelle: Jürg Alean, SwissEduc.ch [Foto unten] und Marcia Phillips [Foto oben])

Inzwischen liegen auch einzelne Modellstudien zum Einfluss von Klimawandel und Gletscherschmelze auf die Speicherseen vor. Diese sagen eine erhebliche Abnahme des Sommerabflusses in stark vergletscherten Einzugsgebieten schon in der Mitte des 21. Jahrhunderts voraus (Finger et al. 2012), basieren allerdings nur auf der Abnahme der Gletscherfläche. Mit abnehmendem Sommerabfluss muss gegebenenfalls die Bewirtschaftung der Speicherseen und Kraftwerke angepasst werden. Neue Gletscherseen, die beim Abschmelzen der Gletscher im Gletscherbett entstehen können, könnten – falls wirtschaftlich sinnvoll, gesellschaftlich akzeptiert und ökologisch unbedenklich – in bestehende Kraftwerksysteme integriert werden (NELAK 2013; ACQWA 2013). Effektiv haben sich bereits in den vergangenen Jahren zahlreiche Gletscherseen neu gebildet oder bestehende Seen weiter vergrössert (z. B. am Rhone- und am Triftgletscher). Damit verbundene konkrete Studien und Projekte für einen Ausbau der Wasserkraft wurden bereits durchgeführt und liegen vor, so etwa für den Triftgletscher im Berner Oberland (Abb. 2.4).

Auswirkungen auf Hangstabilität und Geschiebe

Wie schwindende Gletscher hat auch auftauender Permafrost Auswirkungen auf die Hanginstabilität und Sedimentfracht in den alpinen Gebieten der Schweiz. Anders als bei den Gletschern sind systematische Messreihen von Untergrundtemperaturen in den alpinen Permafrostgebieten noch relativ kurz. Erste Messungen in Blockgletschern (gefrorene, kriechende Sedimentkörper) begannen in den späten 1980er-Jahren, im steilen Fels sogar erst nach der Jahrtausendwende. Aussagen zu langfristigen Trends sind daher noch vorsichtig zu interpretieren. Die meisten Permafrostvorkommen in der Schweiz haben Temperaturen zwischen etwa minus drei und null Grad Celsius – also nur wenig unter dem Schmelzpunkt. Eine Erhöhung der Temperatur braucht in diesem Temperaturbereich sehr viel mehr Energie als im kalten Permafrost, da für den Phasenwechsel (fest – flüssig) zusätzlich Schmelzenergie benötigt wird. Die Erwärmungstrends zeigen sich damit weniger klar als bei tieferen Temperaturen. Es lässt sich jedoch an verschiedenen Standorten beobachten, dass die Temperatur in der Tiefe zunimmt und die jährliche Auftauschicht immer mächtiger wird (PERMOS 2016). Ergänzend zu den Permafrosttemperaturen zeigen sich auch bei den Geschwindigkeiten, mit denen sich Blockgletscher talwärts bewegen, zum Teil deutliche Zunahmen und es wird ein steigender Anteil von flüssigem Wasser im Untergrund gemessen. Auch dies sind beides Hinweise auf eine Erwärmung oder Degradation von Eis. Insbesondere in den 2010er-Jahren wurden konstant sehr warme Permafrostverhältnisse beobachtet, verglichen mit dem Beginn der meisten Messungen vor zirka 15 Jahren (PERMOS 2016). Im Vergleich zu den letzten gut 150 Jahren scheint es während der letzten 20 Jahre auch eine Häufung von grossen Felsstürzen[1] aus Permafrostgebieten zu geben (Huggel et al. 2012).

Gestützt auf Prozessverständnis und Computermodelle kann davon ausgegangen werden, dass eine fortlaufende Erwärmung zu einer dickeren jährlichen Auftauschicht sowie generell zu höheren Untergrundtemperaturen führen würde. Damit einher gehen die weitere Erwärmung und schliesslich das Auftauen von Permafrost sowohl in Schutthalden und Blockgletschern als auch in eisgefüllten Klüften im Fels. Voraussagen zu detaillierten räumlichen Auswirkungen sind schwierig zu machen, da, neben der zukünftigen Entwicklung, bereits die Abschätzung der genauen räumlichen Verbreitung von Permafrostvorkommen grösseren Unsicherheiten unterliegt. Generell kann man aber sagen, dass mit dem Auftauen von Permafrost neue Gefahren in Gebieten entstehen können, die bisher davon nicht betroffen waren. So können Häufigkeit und Ausmass von Steinschlag und Felsstürzen zunehmen, oder grössere Mengen an Lockermaterial Starkniederschlägen ausgesetzt werden, die zu Murgängen führen können. Bereits in den vergangenen Jahren hat man neuen oder stärkeren Steinschlag an verschiedenen Orten in den Alpen beobachtet. Felsstürze können bewohntes Gebiet oder Infrastruktur direkt betreffen, es können aber im Zusammenhang mit neuen oder bereits existierenden Seen auch Flutwellen ausgelöst und damit die Gefahrenzonen um ein Vielfaches vergrössert werden. Bewegungen und Setzungen im sich erwärmenden oder auftauenden Untergrund können die Lebensdauer oder Stabilität von Infrastrukturen beeinflussen, die auf Permafrostböden gebaut sind. Bei Ski- und Seilbahninfrastrukturen oder Lawinenverbauungen sind zum Beispiel bereits seit einigen Jahren Massnahmen ergriffen worden, welche die Auswirkungen verringern (Abb. 2.4).

Die erwarteten Veränderungen von Gletschern und Permafrost betreffen zudem das Geschiebe. Die abschmelzenden Gletscher legen neue Sedimentvorkommen frei und bis anhin gefrorene Schuttkörper können durch auftauenden Permafrost stärker der Erosion ausgesetzt werden. Zusätzlicher Schutt durch stärkeren Steinschlag kann die Geschiebefracht in Gerinnen erhöhen und Murgangaktivität auslösen oder verstärken. Eine Untersuchung des Kantons Bern geht für die nächsten Jahrzehnte in fast allen Einzugsgebieten des Berner Oberlandes von grossen Veränderungen beim Geschiebehaushalt aus (AG NAGEF 2015). Extreme Auswirkungen durch eine Kombination von auftauendem Permafrost und stark erhöhter Steinschlag- und Murgangaktivität auf wichtige Infrastruktur und den Ge-

1 Volumen von mindestens einer Million Kubikkilometern

schiebehaushalt der Aare konnte in den letzten Jahren beispielhaft in Guttannen beobachtet werden (s. a. Kap. Herausforderungen für Forschung, Praxis und Gesellschaft im Umgang mit klimabedingten Naturrisiken – Fallbeispiel Haslital (Kanton Bern), S. 70). Die Veränderungen der Geschiebefracht sind zudem von grosser Bedeutung für die Anlagen der Wasserkraftwerke.

Herausforderungen für die Schweiz

Die Kryosphärenkomponenten Schnee, Gletscher und Permafrost haben bereits stark und im Fall der Gletscher auch sehr sichtbar auf den Klimawandel reagiert. Dies führte bereits zu deutlichen Veränderungen im Hochgebirge (s. a. Kap. 2.5 Dynamik von polaren und hochalpinen Landschaften, S. 88), die sich mit grosser Sicherheit auch in Zukunft fortsetzen und noch verstärken werden. Die Schweiz muss sich mit neuen, gletscherfreien Landschaften und den entsprechenden Auswirkungen auseinandersetzen. Im Wasserhaushalt werden saisonal starke Veränderungen erwartet (s. a. Kap. 2.4 Wasser, S. 84). Diese verursachen Auswirkungen auf die Energie- und Landwirtschaft (s. a. Kap. 3.4 Energie, S. 168, Kap. 2.10 Landwirtschaft, S. 111), insbesondere in Kombination mit wahrscheinlich häufiger auftretenden Hitze- und Dürreperioden. Die Verschiebung der Schneegrenze und die abnehmende Schneesicherheit stellen bedeutende Herausforderungen für den Tourismus dar (s. a. Kap. 2.11 Tourismus, S. 117). Zudem werden Energie, Transport und Siedlungen in den Alpen zunehmend betroffen sein durch Veränderungen im Sedimenthaushalt sowie durch Felsstürze und Murgänge. Dadurch entstehen neue Herausforderungen für das Gefahren- und Risikomanagement sowie für das Betreiben und die Sicherheit von Infrastrukturanlagen (s. a. Kap. 2.12 Bauten und Infrastrukturen, S. 121).

Referenzen

Abegg B, Steiger R, Walser R (2013) **Aktuelle und zukünftige Schneesicherheit der Bündner Skigebiete.** In: Herausforderung Klimawandel: Chancen und Risiken für den Tourismus in Graubünden. Amt für Wirtschaft und Tourismus & Bergbahnen Graubünden.

ACQWA (2013) **Assessing Climate impacts on the Quantity and quality of Water.** A large integrating project under EU Framework Programme 7 (FP7), coordinated by the University of Geneva, Switzerland (2008–2013). www.acqwa.ch

AG NAGEF – Arbeitsgruppe Naturgefahren des Kantons Bern (2015) **Klimawandel und Naturgefahren – Veränderungen im Hochgebirge des Berner Oberlandes und ihre Folgen.** Bern, 36 pp.

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

Finger D, Heinrich G, Gobiet A, Bauder A (2012) **Projections of future water resources and their uncertainty in a glacierized catchment in the Swiss Alps and the subsequent effects on hydropower production during the 21st century.** Water Resources Research 48: W02521.

Huss M (2011) **Present and future contribution of glaciers to runoff from macroscale drainage basins in Europe.** Water Resources Research 47: W07511.

Huggel C, Allen S, Deline P, Fischer L, Noetzli J, Ravanel L (2012) **Ice thawing, mountains falling—are alpine rock slope failures increasing?** Geology Today 28: 98–104.

Jouvet G, Huss M, Funk M, Blatter H (2011) **Modelling the retreat of Grosser Aletschgletscher, Switzerland, in a changing climate.** Journal of Glaciology 57: 1033–1045.

Linsbauer A, Paul F, Machguth H, Haeberli W (2013) **Comparing three different methods to model scenarios of future glacier change in the Swiss Alps.** Annals of Glaciology 54: 241–253.

NELAK (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken.** Formation des nouveux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques. Forschungsbericht NFP 61. Haeberli W, Bütler M, Huggel C, Müller H, Schleiss A (eds.). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 300 pp.

PERMOS (2016) **Permafrost in Switzerland 2010/2011 to 2013/2014.** Noetzli J, Luethi R, Staub B (eds.). Glaciological Report (Permafrost) No. 12–15 of the Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences.

Radić V, Bliss A, Beedlow AC, Hock R, Miles E, Cogley JG (2013) **Regional and global projections of the 21st century glacier mass changes in response to climate scenarios from GCMs.** Climate Dynamics 42: 37–58.

Salzmann N, Machguth H, Linsbauer A (2012) **The Swiss Alpine glaciers' response to the global «2 °C air temperature target».** Environmental Research Letters 7: 044001.

Schmucki E, Marty C, Fierz C, Lehning M (2015) **Simulations of 21st century snow response to climate change in Switzerland from a set of RCMs.** International Journal of Climatology 35: 3262–3273.

Serquet G, Marty C, Rebetez M, Dulex JP (2011) **Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation day ratio in Switzerland.** Geophysical Research Letters 38: L07703.

2.4 Wasser

Der Klimawandel wird zu markanten Veränderungen im Wasserkreislauf führen – mit weitreichenden Folgen wie Wassermangel in Sommer und der Beeinträchtigung der Lebensgrundlagen durch Hochwasser. Der Wissensstand ermöglicht es in der Schweiz, auch im Bereich des Wassers mit einem integrativen Ansatz auf den Klimawandel zu reagieren. Nebst Massnahmen zur Minderung des Klimawandels sollten auch solche zur Anpassung an seine Folgen geplant werden. Da die Grundzüge der zukünftigen hydrologischen Verhältnisse bereits mit relativ grosser Sicherheit abgeschätzt werden können, kann bereits jetzt gehandelt werden. Dabei muss auch der sozioökonomische Wandel mitberücksichtigt werden, der die zukünftige Nachfrage nach Wasser stark beeinflussen wird. Es braucht ein Wassermanagement sowie regionale Planungsinstrumente, die alle Aspekte berücksichtigen.

Rolf Weingartner (Universität Bern), Ole Rössler (Universität Bern)

«Wasser ist Leben»: Die Verfügbarkeit von Wasser spielt eine zentrale Rolle bei der Trinkwasserversorgung, der landwirtschaftlichen und industriellen Produktion und der Energieerzeugung. Zu viel Wasser kann aber auch Leben gefährden und Schäden verursachen, zum Beispiel durch Hochwasser oder Murgänge. Jede Veränderung des Wasserkreislaufs durch den Klimawandel hat deshalb direkte Folgen für Mensch und Umwelt. Die Prozesse im Wasserkreislauf sind allerdings komplex und nicht nur vom Klimawandel beeinflusst.

Vereinfacht lässt sich das System Wasser als Balance zwischen den verfügbaren Wasserressourcen und dem Wasserverbrauch beschreiben (Abb. 2.5). Das Klima, die sozioökonomischen Verhältnisse sowie das politische Handeln sind dabei entscheidende Rahmenbedingungen, die beim Wassermanagement berücksichtigt werden müssen. Idealerweise wird nicht nur durch Anpassungsmassnahmen auf eingetretene oder erwartete Änderungen reagiert, sondern auch durch Massnahmen zur Minderung des Klimawandels versucht, diese Änderungen zu minimieren.

Globale Situation

Laut dem Fünften Sachstandsbericht des IPCC ist es *wahrscheinlich*, dass sich der globale Wasserkreislauf in den letzten 50 Jahren durch eine vom Menschen verursachte Erwärmung des Klimasystems verändert hat (IPCC 2014/SYR/SPM). Beobachtet wurden unter anderem eine Erhöhung des atmosphärischen Wasserdampfes, eine Verschiebung der räumlichen Niederschlagsmuster sowie eine Intensivierung der Starkniederschläge. Gleichzeitig haben niederschlagsarme Perioden und Hitzewellen zugenommen. In Gebirgsregionen und in den hohen Breiten schmelzen die Gletscher und die Bedeutung des Schnees im Wasserkreislauf nimmt ab.

Die Entwicklung des Niederschlags ist ausschlaggebend für die zukünftige Ausprägung des Wasserkreislaufs. Bei den Jahresniederschlagssummen geht man von einer Zunahme in den hohen und den mittleren humiden[1] Breiten aus und von einer Abnahme in trockeneren Regionen der mittleren Breiten sowie in den subtropischen Trockengebieten. Diese Veränderungen werden sich vor allem in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts akzentuieren, was bedeutet, dass sich die räumlichen und saisonalen Gegen-

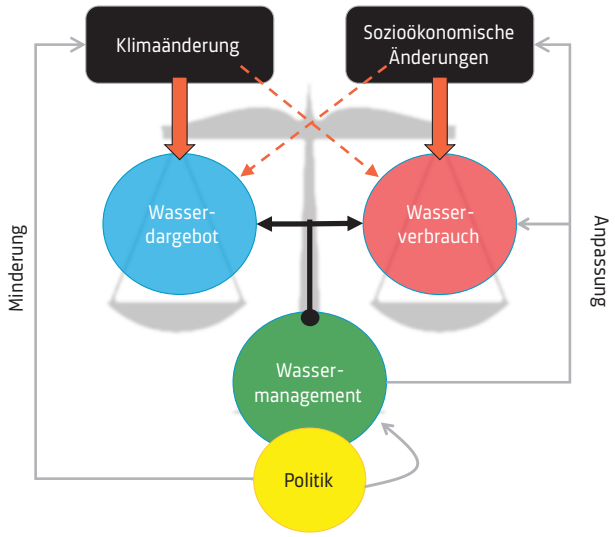


Abbildung 2.5: Ein regionales Wassermanagement ist der Schlüssel zu einer optimalen Nutzung des Wassers. Ziel des Wassermanagements ist eine nachhaltige Bewirtschaftung der Ressource Wasser. Das heisst, dass die Nachfrage auf das Dargebot abgestimmt werden muss. Eine Veränderung der klimatischen und/oder der sozioökonomischen Rahmenbedingungen beeinflusst sowohl Nachfrage wie Dargebot, was politisch angestossene Massnahmen zur Anpassung nötig macht. Eine vorausschauende Politik setzt aber immer auch auf die Minderung der Treibhausgasemissionen. (Quelle: Eigene Darstellung)

1 Reich an Niederschlag

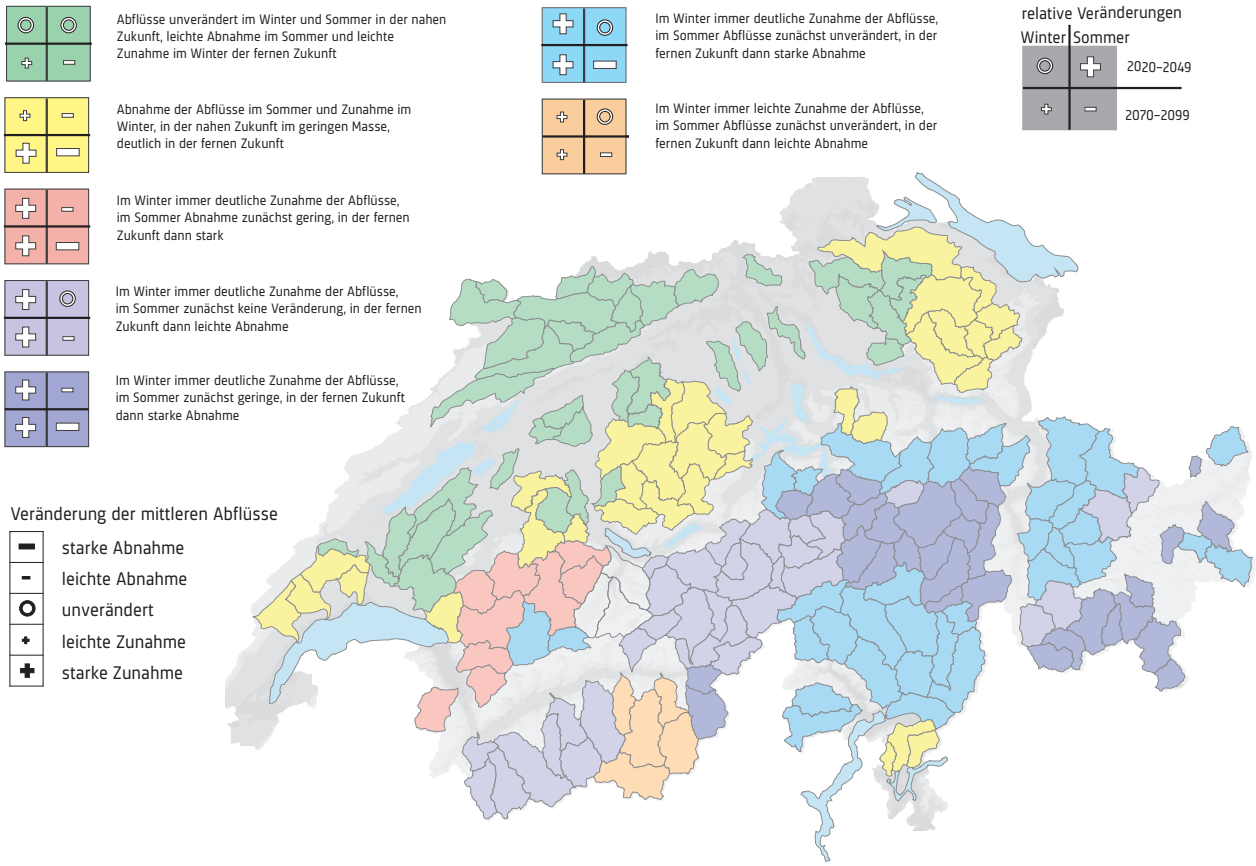


Abbildung 2.6: Regionen mit ähnlichen Veränderungen der saisonalen Abflussverhältnisse auf Grund des Klimawandels. Es werden die Mittelwerte der beiden Zeitfenster 2020 – 2049 und 2070 – 2099 betrachtet. Die Berechnungen gehen vom Szenario mit mittleren Emissionen SRES-A1B aus. Alle Regionen zeigen eine Zunahme der Abflüsse im Winter und eine Abnahme im Sommer, wobei Zeitpunkt und Ausmass der Veränderungen je nach Region variieren. Besonders betroffen ist der Alpenraum (Blautöne), weniger stark betroffen sind das Mittelland, der Jura, die Voralpen sowie die sehr hoch gelegenen Gebiete im südlichen Wallis (Hellbraun). (Quelle: Köplin et al. 2012; Rössler et al. 2014)

sätze zwischen «nass» und «trocken» weiter verstärken werden. Zu- oder abnehmende Niederschlagsmengen haben direkte Auswirkungen auf die Abflüsse und die Grundwasserneubildung und somit auf die verfügbaren Wasserressourcen. Die Folgen dieser Veränderungen sind vielfältig. Der Fünfte IPCC-Sachstandsbericht nennt unter anderem folgende Aspekte:

– Schwere Beeinträchtigung oder gar Zerstörung der Lebensgrundlagen durch zunehmende Hochwasser.
– Engpässe bei der Nahrungsversorgung durch höhere Niederschlagsvariabilität und zunehmende Naturgefahren.
– Beeinträchtigung der Lebensbedingungen und der ökonomischen Situation durch einen erschwerten Zugang zu sicherem Trinkwasser und eine abnehmende Verfügbarkeit von Bewässerungswasser.
– Verlust an (Wasser-)Ökosystemen mit negativen Auswirkungen auf Biodiversität und Ökosystemleistungen.

Viele dieser Risiken betreffen städtische Regionen, in denen heute rund 50 Prozent der Weltbevölkerung leben und Mitte des Jahrhunderts rund 65 Prozent leben werden (Deutsche Stiftung Weltbevölkerung 2016).

Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts wird das globale Gletschervolumen zwischen 15 und 85 Prozent abnehmen, je nach Grad der Erwärmung. Zudem besteht die Gewissheit, dass in der Nordhemisphäre die Ausdehnung der frühjährlichen Schneedecke zurückgeht (IPCC 2014/SYR/SPM; Kap. 1.9 Ozean und Kryosphäre, S. 60, Kap. 2.3 Schnee, Gletscher und Permafrost, S. 80). In diesem Kontext ist hervorzuheben, dass vielerorts Veränderungen der Schneebedeckung grössere Auswirkungen auf den Wasserhaushalt haben als das Abschmelzen der Gletscher.

Schweiz – Konturen der hydrologischen Zukunft

Nach aktuellem Kenntnisstand werden sich die künftigen Jahresniederschlagssummen in der Schweiz gegenüber heute nicht signifikant verändern. Grund dafür ist, dass sich die Schweiz im Übergangsbereich zwischen Nordeuropa mit einer Niederschlagszunahme und Südeuropa mit einer Niederschlagsabnahme befindet. Saisonal hingegen sind teilweise grosse Verschiebungen zu erwarten: Die Klimaprojektionen zeigen eine Abnahme der Niederschlagsmenge im Sommer sowie einen leichten Anstieg der Winterniederschläge vor allem im Süden der Schweiz (Fischer et al. 2014). Die sommerliche Abnahme – hier sind sich alle Klimaprojektionen einig – wird zu längeren Trockenphasen führen, die durch intensivere Niederschläge unterbrochen werden.

Während bei den saisonalen Veränderungen des Niederschlags noch grosse Unsicherheiten bestehen, ist die Zunahme der Lufttemperatur *sehr wahrscheinlich*. Dies hat grosse Auswirkungen auf Schnee und Gletscher und damit auch auf den Wasserhaushalt. Die folgende Überlegung verdeutlicht dies: Der Anteil des Schmelzwassers an der jährlichen Abflussmenge beträgt in der Schweiz rund 40 Prozent, wird jedoch auf rund 24 Prozent zurückgehen – mit weitreichenden Folgen für das saisonale Abflussverhalten (s. a. Kap. 1.7 Wasserkreislauf, S. 46).

Saisonale Umverteilung der Abflüsse

Bei Modellsimulationen zu den Auswirkungen veränderter Temperaturen und Niederschläge auf die Abflussverhältnisse konnten in der Schweiz sieben nicht zusammenhängende Regionen identifiziert werden, innerhalb derer die Auswirkungen ähnlich sind (Abb. 2.6). In allen Regionen ist eine mehr oder weniger starke Abnahme der Abflüsse im Sommer und eine Zunahme der Abflüsse im Winter erkennbar. Es ergibt sich damit eine saisonale Umverteilung der Abflüsse bei nahezu gleichbleibenden jährlichen Abflussmengen. Die Veränderungen werden vermutlich im Alpenraum und in der fernen Zukunft (nach 2050) am grössten sein. Verallgemeinernd können die sieben Regionen wie folgt zusammengefasst werden:

– Das Mittelland und das Südtessin sind vor allem niederschlagsgesteuert: In der nahen Zukunft werden die mittleren Abflüsse praktisch unverändert bleiben, während es in der fernen Zukunft zu einer saisonalen Umverteilung kommen wird. Das Abflussverhalten folgt damit der projizierten Niederschlagsveränderung (s. oben). Die leichte Zunahme der Abflüsse im Winter ist auch auf die Temperaturerhöhung zurückzuführen, die zu einer Abnahme der Speicherung der Niederschläge in Form von Schnee führt.
– Die Abflüsse in den saisonal schneebedeckten und teilweise vergletscherten alpinen Einzugsgebieten sind vor allem temperaturgesteuert, was bedeutet, dass Schnee- und Gletscherschmelze den Abfluss dominieren: Die Erhöhung der Lufttemperatur führt zur Erhöhung der Nullgradgrenze und damit zu einem höheren Anteil an Regen. Dies hat wiederum eine Erhöhung der Abflüsse im Winterhalbjahr zur Folge. Zudem apern die unteren und mittleren Höhenlagen früher aus, und es kommt zu einer früheren Schneeschmelze. Damit nehmen die Abflüsse im Mai und Juni ab. Von Juli bis September werden die Abflüsse infolge verringerter oder gar fehlender Gletscherschmelze weiter abnehmen. Eine Ausnahme bilden die sehr hoch gelegenen Einzugsgebiete im südlichen Wallis, bei denen der temperaturbedingte Wandel weniger stark ausgeprägt ist.

Eine starke Abnahme der sommerlichen Abflussmengen hat weitreichende Folgen für die Wasserversorgung. Gleichzeitig steigt das Risiko für hohe Wassertemperaturen, auch weil sich flache Gewässer stärker erwärmen und somit die Wirkung der projizierten Lufttemperaturerhöhung verstärken. Durch die Temperaturerhöhung und der dadurch bedingten höheren Schneefallgrenze wird in allen Einzugsgebieten der direkte Einfluss des flüssigen Niederschlags zunehmen, was die inner- und interannuelle Abflussvariabilität erhöht. Alle projizierten Veränderungen, die mit der Lufttemperatur verbunden sind, also insbesondere die Umverteilung des Abflusses vom Sommer in den Winter, können als sehr sicher angesehen werden. Diese Kenntnisse erlauben bereits jetzt die Planung und Umsetzung erster Massnahmen zur Anpassung.

Extremereignisse

Noch unsicher sind Aussagen bezüglich der zukünftigen Entwicklung der extremen Hoch- und Niedrigwasser (Kap. 1.8 Klima- und Wetterextreme, S. 52). Dies hängt einerseits damit zusammen, dass die Abbildung von Wetterextremen in Klimamodellen noch grosse Schwächen aufweist. Andererseits ist das Ausmass eines Hochwassers von mehreren Faktoren abhängig, so dass allein aus der klimabedingten Intensivierung der Starkniederschläge nicht auf eine Zunahme grosser Hochwasser und/oder eine Erhöhung der Hochwasserspitzen geschlossen werden kann. Aus der projizierten Temperaturerhöhung kann aber abgeleitet werden, dass sich die Hochwassersaison im Alpenraum verlängern wird (Köplin et al. 2013) und dass die Hochwasservolumina zunehmen werden. Zudem werden Niedrigwasserperioden im Mittelland häufiger auftreten und intensiver ausfallen (BAFU 2012).

Herausforderungen für die Schweiz

Wie eingangs dargelegt, kann durch Minderung des Treibhausgasaustosses am effektivsten auf den Klimawandel und dessen Folgen reagiert werden – auch aus Sicht des Wassers (Rössler et al. 2014). Zusätzlich sind allerdings Anpassungsmassnahmen nötig.

Bei der Planung der Massnahmen zur Anpassung ist eine umfassende Analyse notwendig. Neben dem Klimawandel muss insbesondere auch der sozioökonomische Wandel, der einen grossen Einfluss auf die zukünftige Nachfrage nach Wasser und die Ausgestaltung der Landschaft hat, mitberücksichtigt werden (Reynard et al. 2013). Die Auswirkungen der Sozioökonomie können dabei deutlich grösser als die Folgen des Klimawandels sein, insbesondere im Schweizer Mittelland, im Jura und in den Voralpen (NFP 61 2015). Deshalb sind regionale Planungsinstrumente zu schaffen, die alle Aspekte des Wassers miteinbeziehen. Das Wassermanagement ist so zu gestalten, dass das Dargebot berücksichtigt wird und die Verteilung des nachgefragten Wassers nach klaren und gerechten Regeln geschieht (Abb. 2.5), und dass flexibel auf die zukünftigen Trockenphasen und Hochwasser reagiert werden kann. So könnten beispielweise mit dem Bau neuer Speicher und durch die Mehrfachnutzung bestehender Speicher sommerliche Engpässe überbrückt und Hochwasserspitzen gleichzeitig gedämpft werden. Ziel solcher Massnahmen ist es, das im Winterhalbjahr oder während Hochwasserphasen reichlich vorhandene Wasser zu speichern, um es dann während sommerlicher Trockenperioden für die diversen Wassernutzer verfügbar zu machen.

Referenzen

BAFU (2012) **Auswirkungen der Klimaänderung auf Wasserressourcen und Gewässer**. Synthesebericht zum Projekt «Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz» (CCHydro). Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen 1217: 76 pp.

Deutsche Stiftung Weltbevölkerung (2016) **Steigende Weltbevölkerung und die Hauptursachen**. www.dsw.org

Fischer A, Keller D, Liniger M, Rajcak J, Schär CH, Appenzeller C (2014) **Projected changes in precipitation intensities and frequency in Switzerland: a multi-model perspective**. International Journal of Climatology 35: 3204–3219.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Synthesis Report (SYR)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/syr

Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2012) **Relating climate change signals and physiographic catchment properties to clustered hydrological response types**. Hydrology and Earth System Sciences 16: 2267–2283.

Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2013) **Seasonality and magnitude of floods in Switzerland under future climate change**. Hydrological Processs 28: 2567–2578.

MeteoSchweiz (2013) **Klimaszenarien Schweiz – eine regionale Übersicht**. Fachberichte 243.

NFP 61 (2015) **Nachhaltige Wassernutzung in der Schweiz – NFP 61 weist Wege in die Zukunft**. Gesamtsynthese im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP 61 «Nachhaltige Wassernutzung», Bern. www.nfp61.ch

Reynard E, Bonriposi M, Graefe O, Herweg K, Homewood C, Huss M, Kauzlaric M, Liniger H, Rey E, Rist S, Schädler B, Schneider F, Weingartner R (2013) **MontanAqua**. Anticiper le stress hydrique dans les Alpes – Scénarios de gestion de l'eau dans la région de Crans-Montana-Sierre (Valais).

Rössler O, Addor N, Bernhard L, Figura S, Köplin N, Livingstone DM, Schädler B, Seibert J, Weingartner R (2014) **Hydrological responses to climate change: river runoff and groundwater**. In: CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 57– 66.

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 Haeberli (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 touristisch vermarktet (Haeberli & 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 sozioökonomische 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 irreversiblem 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).

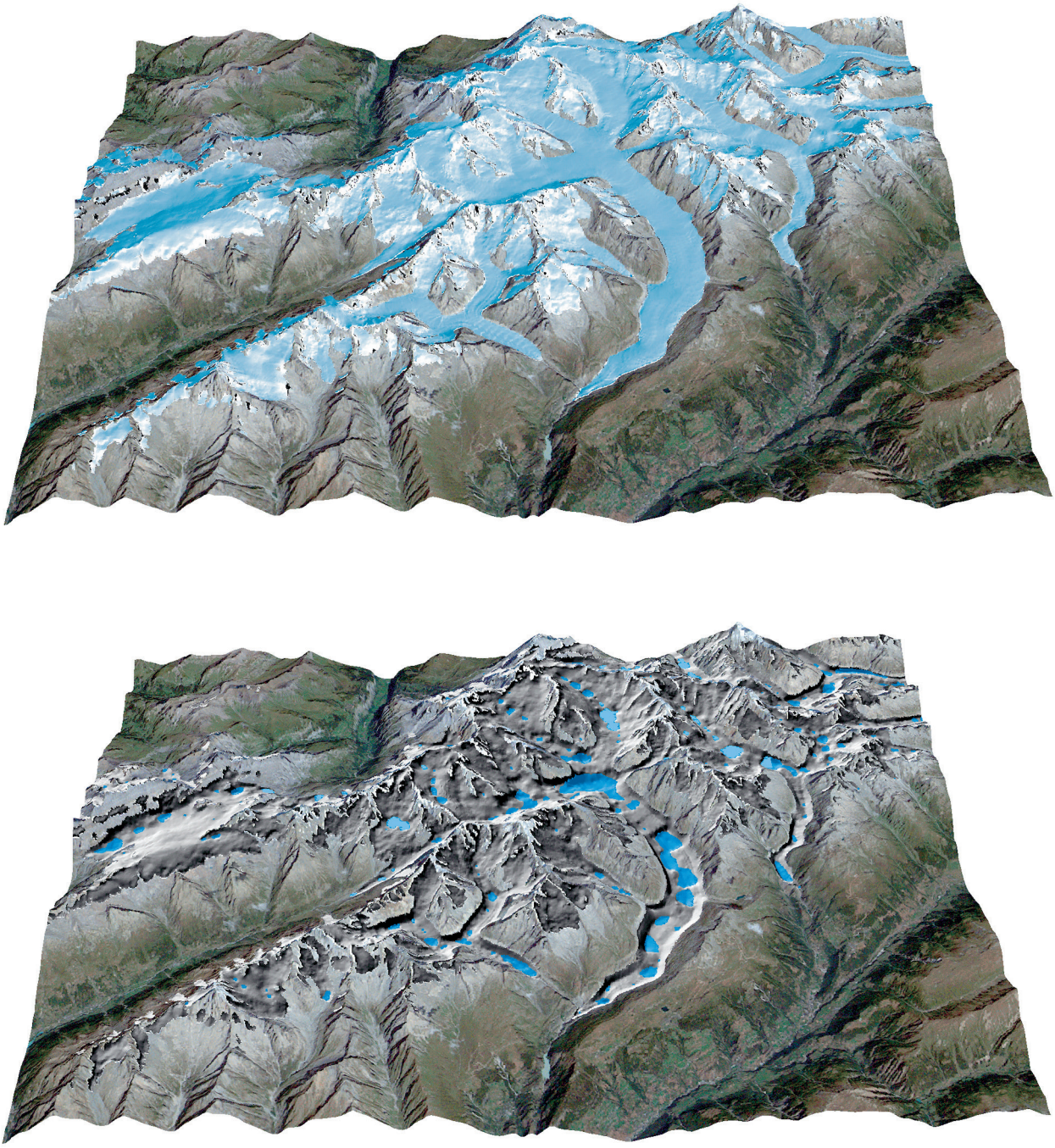


Abbildung 2.7: Region Jungfrau-Aletsch-Bietschhorn (UNESCO Weltnaturerbe) mit und ohne Gletscher. Im Bild ohne Gletscher sind modellierte Gletscherbett-Übertiefungen als potenzielle Seen blau markiert. (Quelle: Andreas Linsbauer, Geographisches Institut, Universität Zürich)

Polargebiete wandeln sich grundlegendend

Der Schwund des nordpolaren Meereises zieht eine Reduktion der schneebedeckten Fläche der Erde und damit eine Reduktion der globalen Albedo[1] 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 Tundrengebiete 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).

1 Mit dem Begriff der Albedo (lat. = «Weisse») wird das Verhältnis zwischen reflektiertem und eingestrahltem 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.

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 (Haeberli 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.

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. Haeberli 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 valutations.** WIREs Climate Change 5: 793–808.

Haeberli 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.

Haeberli 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.

Haeberli 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 (WGI).** Chapter 4 «Observations: Cryosphere». 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

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 18 «Detection and attribution of observed impacts». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

NELAK (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken. Formation des nouveux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – chances et risques.** Forschungsbericht NFP 61. Haeberli 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.

2.6 Naturgefahren ausgelöst durch ein verändertes Klimasystem: Prozessketten und komplexe Risiken

Viele Naturgefahren wie Überschwemmungen, Dürren oder Erdrutsche sind stark beeinflusst durch Veränderungen des Klimasystems, in erster Linie durch die zunehmende Frequenz und Intensität von entsprechenden Extremereignissen. Die Veränderung der Naturgefahren ist das Resultat komplexer Prozesse und beeinflusst den Umfang möglicher Schäden in der Zukunft. Die entsprechenden Risiken sind regional sehr unterschiedlich ausgeprägt und wesentlich von sozioökonomischen und sozialen Faktoren abhängig. Die damit zusammenhängenden Prozesse und Interaktionen sind nur verständlich, wenn das Zusammenspiel der natürlichen und der betroffenen sozialen und sozioökonomischen Systeme umfassend analysiert wird. Gerade in Bezug auf dieses Zusammenspiel gibt es noch viele Lücken und Unsicherheiten.

Martin Hoelzle (Universität Freiburg), Reynald Delaloye (Universität Freiburg), Margreth Keiler (Universität Bern), Nadine Salzmann (Universität Freiburg),Yvonne Schaub (Universität Zürich), Markus Zimmermann (NDR Consulting GmbH und Universität Bern)

Globale Situation

Auf globaler Ebene sind Simulationen des zukünftigen Klimas mit Hilfe von Klimamodellen die Basis für die Abschätzung der Folgen der erwarteten Klimaänderung. Daraus leiten sich folgende Schlüsselherausforderungen für die Menschheit ab:
- Anstieg des Meeresspiegels,
- Erwärmung der Ozeane,
- Intensivierung des Wasserkreislaufes und
- Schleichende Veränderung des Wasserdargebots (zunehmend feucht beziehungsweise trocken).

Die Verstärkung oder auch Beschleunigung des Wasserkreislaufes (mehr Wasser verdunstet und fällt nachfolgend als Niederschlag), die Erwärmung der Ozeane und der Meeresspiegelanstieg führen zu erhöhten Sturm- und Flutgefahren in vielen Küstenbereichen und zu einer Zunahme der Hochwassergefahr in verschiedenen Regionen der Erde («Gefahr», s.a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77). Da viele Küstenregionen bereits dicht besiedelt sind und Städte in diesen Regionen weiterhin wachsen, sind besonders dort in Zukunft hohe Risiken und somit Schäden möglich – einerseits durch die Zunahme exponierter Werte wie öffentlicher Infrastruktur und privater Güter, andererseits durch vermehrte Extremereignisse («Exposition», s.a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77).

In den einzelnen Ländern und auf internationaler Ebene sind grosse Anstrengungen notwendig, um die bestehenden Risiken – insbesondere in Entwicklungsländern – in den kommenden Jahrzehnten auf ein kontrollierbares Niveau zu bringen oder zu halten und die Entstehung neuer Risiken möglichst zu vermeiden. Dabei ist mitentscheidend, wie gross die Möglichkeiten der jeweiligen Gesellschaften in den Bereichen Risikomanagement, Risikoprävention sowie ökonomischer und sozialer Entwicklung sind und wie gross ihre Exposition, Verwundbarkeit und Resilienz (Widerstandsfähigkeit) ist (s.a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77).

Eine grosse Herausforderung bei der Abschätzung der zukünftigen Risiken durch Naturgefahren sind die Unsicherheiten bei der langfristigen Veränderung der natürlichen Klimavariabilität in Kombination mit den anthropogen getriebenen Veränderungen. Aktuelle Studien bestätigen, dass Extremereignisse vor allem im Bereich der Starkniederschläge sowie der Trockenheit generell zunehmen (Rajczak et al. 2013; Fischer et al. 2014; IPCC 2012/SREX; (s.a. Kap. 1.8 Klima- und Wetterextreme, S. 52). Unsicher ist auch, wie sich Exposition und Verwundbarkeit der gefährdeten Gebiete entwickeln, da diese von politischen Entscheidungen, ökonomischen Bedingungen und sozialen Veränderungen abhängen. Auch wenn es Massnahmen zur Risikominderung gibt, die sich ökonomisch lohnen, liegt eine weitere Herausforderung in den oft – technisch oder finanziell – limitierten Möglichkeiten für eine Risikominderung sowie in der komplexen Verkettung von Prozessen. Letzteres führte beispielsweise 2011 in Thailand nach grossflächigen Überschwemmungen zum Ausfall eines grossen Teils der Infrastruktur und in der Folge zu einer massiven Beeinträchtigung der Lebensgrundlage.

Nationale Situation

Veränderte Systeme

Die globalen Veränderungen des Klimas wirken sich lokal sehr unterschiedlich aus, so auch innerhalb von nationalen Grenzen, wenn diese eine hohe räumliche Variabilität in Topographie, Landnutzung etc. aufweisen. Um die

Abbildung 2.8: Prozessketten im Bereich der Naturgefahren in den Schweizer Alpen: Links: An steilen Hängen können aktive gravitative und/oder hydraulische Prozesse relativ viel Lockermaterial direkt aus hoch gelegenen (sogar glazialen und periglazialen) Gebieten in die Täler transportieren. Hier am Beispiel einer tief erodierten Rinne im Mattertal, Wallis. Mitte: Auslösungsphänomene sind komplex, oft aber klimatisch gesteuert. Hier zum Beispiel durch intensive Schneeschmelze ausgelöste Murgänge an der Stirnfront eines mit erhöhter Geschwindigkeit fliessenden Blockgletschers im Juni 2013, bedingt durch die Erwärmung des Klimasystems. Rechts: In den Transport- und/oder Ablagerungszonen liegen oft verschiedene Infrastrukturbauten wie Strassen, Eisenbahnanlagen, Brücken oder Häuser, deren Gefährdung durch Naturgefahren – die teilweise neu entstanden sind – sorgfältig beurteilt werden muss. (Quelle: Reynald Delaloye, 2009-2013, Mattertal – VS)

Entwicklung des lokalen Klimas abschätzen zu können, sind langfristige Beobachtungsdaten im Bereich von Atmosphäre und terrestrischen Systemen notwendig. Diese Daten werden heute global gesammelt unter dem Namen «Essential Climate Variables» (ECV) im Rahmen des Global Climate Observing Systems (GCOS) (2010). Sie erlauben,

- Durch das Klima beeinflusste Prozesse und Prozessketten[1] im Erdsystem besser zu verstehen,
- Klima-, terrestrische und andere Modelle zu validieren und zu kalibrieren,
- Natürliche Variabilitäten der Vergangenheit besser zu erfassen und
- Auswirkungen der Klimaänderung im regionalen Bereich besser abzuschätzen.

Heute existieren erste Ansätze, das Klima beeinflussende Prozessketten gesamtheitlich zu erfassen, wobei noch grosse Unsicherheiten bezüglich vieler Rückkopplungen bestehen. Die meisten Prozessketten sind in Modellen stark hierarchisch strukturiert. Am Anfang stehen globale Klimamodelle, die dann lokale Prozessmodelle antreiben, jedoch von diesen kein Feedback erhalten.

1 Eine Prozesskette stellt hier eine Abfolge von zeitlich hintereinander gestaffelten und gekoppelten Prozessen (z. B. physikalisch, chemisch, anthropogen) dar.

Von der Topographie geprägte Gebiete besonders betroffen

Erste Erfahrungen mit solchen Prozessmodellen zeigen, dass sich die Schweiz auf neuartige Entwicklungen und veränderte Naturgefahren einstellen muss – vor allem in den stark von der Topographie geprägten Gebieten. Während die Jahresmittelniederschläge in den Klimaszenarien keinen eindeutigen Trend erkennen lassen, ist im Sommer – vor allem im Süden – vermehrt mit längeren Trockenperioden zu rechnen. Gleichzeitig sind zunehmende Hitzeperioden im Sommer und der Anstieg der Temperaturen auch im Winter wahrscheinlich (CH2011; (s. a. Kap. 1.6 Temperatur, S. 40, Kap. 1.7 Wasserkreislauf, S. 46).

Gerade Hochgebirgslandschaften verändern sich bei einer solchen Entwicklung stark, beispielsweise durch Auswirkungen auf die Gletscherschmelze und damit auch auf die Wasserverfügbarkeit (Salzmann et al. 2012). Der Klimawandel beeinträchtigt zudem die Hangstabilität sowohl kurz- als auch langfristig (Huggel et al. 2012). Dadurch werden auch gravitative Prozesse wie Rutschungen, Murgänge oder Felsstürze im Bereich der sich schnell ändernden alpinen Kryosphäre stark beeinflusst. Die Bildung neuer Seen ist eine weitere Folge des Gletscherschwundes – eine Entwicklung, die sich in Zukunft verstärken

wird (Linsbauer et al. 2015; NELAK 2013). Viele dieser neuen Seen befinden sich unter Hängegletschern oder am Fusse von sehr steilen und sich destabilisierenden Felshängen. Sie liegen damit in Reichweite von Eislawinen oder Felsstürzen (Schaub 2015). Diese potenziell gefährlichen Situationen können für lange Zeit Bestand haben.

Exposition und Verwundbarkeit durch veränderte Naturgefahren

Um zukünftige Risiken beurteilen zu können, müssen die Dynamiken im Bereich der Naturgefahren wie auch in der Entwicklung der Wirtschaft und der Bevölkerung berücksichtigt werden (Keiler et al. 2010). Beispielsweise können sich Prozessketten, die aufgrund von Veränderungen in Hochgebirgen ihren Anfang nehmen, bis in Talregionen (Schaub 2015) und ins Flachland auswirken wie beispielsweise bei den Hochwassern 2005 (Keiler et al. 2010). Dies beeinträchtigt zum Teil sehr teure Infrastrukturbauten und hat schwerwiegende sozioökonomische Konsequenzen.

Alle Szenarien einer nachhaltigen Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung in der Schweiz gehen von einer anhaltenden Besiedlung und Nutzung des Alpenraums aus (Perlik et al. 2008). Zersiedlungen im ländlichen Raum und Siedlungsverdichtungen mit zunehmender Wertekonzentration in einigen Alpentälern, im städtischen Umfeld und auch in den grossen Flusstälern (z. B. Alpenrhein, Wallis) erhöhen die Exposition gegenüber Naturgefahren und steigern vor dem Hintergrund der erwarteten Zunahme von Schadensereignissen die Risiken, das heisst zukünftige Schäden. Herausforderungen aufgrund der veränderten Verwundbarkeit sind sicherlich die Belastung durch extreme Wetterereignisse (Hitze, Niederschläge, Stürme; s. a. Kap. 1.8 Klima- und Wetterextreme, S. 52) oder Prozessketten, die technische Infrastrukturen (z. B. Strassen- und Schienennetz, Wasserversorgung) tangieren, die in Folge von Unterbrüchen zu hohen indirekten Schäden führen können (OcCC 2007; s. a. Kap. 2.12 Bauten und Infrastrukturen, S. 121). Die betroffenen Regionen sind oftmals intensiv genutzte (z. B. Tourismus) und somit sehr verwundbare Orte, wo nebst aufwändiger Infrastruktur auch zahlreiche Menschen exponiert sind. Dadurch können auch sekundäre und tertiäre Schäden hoch ausfallen, als Folge beispielsweise von Strassen- und Betriebsunterbrüchen oder der Rufschädigung durch negative Schlagzeilen in der öffentlichen Wahrnehmung (Lehmann Friedli 2013; (s. a. Kap. 2.11 Tourismus, S. 117). Die Schweiz ist und bleibt in verschiedener Hinsicht stark verwundbar gegenüber veränderten Gefahren und Prozessketten.

Herausforderungen und Lösungsansätze für die Schweiz

Die Herausforderungen für die Schweiz sind vielfältig; Lösungsansätze sollten auf einem Doppelkonzept basieren, das einerseits die Minderung, das heisst die Bekämpfung der Ursachen des Klimawandels weiter fördert – zum Beispiel durch die Minderung der Treibhausgase (s. a. Teil 4: Klimapolitik, S. 191) – und andererseits Massnahmen zur Anpassung an ein wärmeres Klima unterstützt. Gerade im Bereich der Naturgefahren sind ein vorausschauendes Risikomanagement und eine Definition des Schutzzieles unter voller Berücksichtigung der räumlich-zeitlichen Aspekte sowie ein grundlegendes Verständnis der beteiligten Prozesse und Interaktionen erforderlich (s. a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77). Die Analyse und Bewertung bestehender und neuer Risiken wie auch die Auswahl möglicher Anpassungsmassnahmen unterliegen in einem demokratischen System wie der Schweiz einem schwierigen politischen und gesellschaftlichen Diskurs (vgl. BAFU 2012): Welche Risiken wie stark gewichtet werden und welche Massnahmen nötig sind, wird von unterschiedlichen Interessensgruppen unterschiedlich beurteilt. Mehrzwecklösungen wie die Planung des Überlastfalles im Hochwasserschutz können die Entscheidungsfindung erleichtern (vgl. BAFU 2016). Für den Erfolg von Anpassungsmassnahmen ist nebst der breiten Abstützung wichtig, dass die Diskussionen zeitnah geführt werden: Die Auswahl möglicher Lösungen nimmt mit fortschreitender Zeit ab.

Referenzen

BAFU (2012) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz – Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder.** Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bern, 2012. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2016) **Umgang mit Naturgefahren in der Schweiz.** Bericht des Bundesrats in Erfüllung des Postulats 12.4271 Darbellay vom 14.12.2012. Entwurf Januar 2016.

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011.** Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

Fischer EM, Beyerle U, Knutti R (2013) **Robust spatially aggregated projections of climate extremes.** Nature Climate Change 3: 1033–1038.

Fischer EM, Keller D, Liniger MA, Rajczak J, Schär C, Appenzeller C (2014) **Projected changes in precipitation intensity and frequency in Switzerland: a multi-model perspective.** International Journal of Climatology 35: 3204–3219.

GCOS (2010) **Implementation plan for the global observing system for climate in support of the UNFCCC (2010 update).** TD-No. 1523.

Huggel C, Clague JJ, Korup O (2012) **Is climate change responsible for changing landslide activity in high mountains?** Earth Surface Processes and Landforms 37: 77–91.

IPCC (2012) **Special Report «Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation» (SREX).** www.ipcc.ch/report/srex

Keiler M, Knight J, Harrison S (2010) **Climate change and implications for natural hazards in the Eastern European Alps.** Philosophical Transactions of the Royal Society A 368: 2461–2479.

Lehmann Friedli T (2013) **Ökonomische Relevanz von Klimaanpassungen im Tourismus. Qualitative und quantitative Kosten-Nutzen-Bewertung von Anpassungsmassnahmen im Schweizer Alpenraum.** Doctoral thesis, Research Institute for Leisure and Tourism (CRED), University of Bern, 339 pp.

Linsbauer A, Frey H, Haeberli W, Machguth H, Azam MF, Allen S (2015) **Modelling glacier-bed overdeepenings and possible future lakes for the glaciers in the Himalaya-Karakoram region.** Annals of Glaciology 57: 119–130.

NELAK (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Chancen und Risiken.** Forschungsbericht NFP 61. Haeberli W, Bütler M, Huggel C, Müller H, Schleiss A (eds.). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 300 pp.

OcCC (2007) **Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.** Bern. 168 pp.

Perlik M, Wissen U, Schuler M, Hofschreuder J, Jame A, Keiner M, Cavens D, Schmid WA (2008) **Szenarien für die nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung in der Schweiz (2005 – 2030).** Nationales Forschungsprogramm NFP 54 «Nachhaltige Siedlungs- und Infrastrukturentwicklung», Zürich, 312 pp.

Rajczak J, Pall P, Schär C (2013) **Projections of extreme precipitation events in regional climate simulations for Europe and the Alpine Region.** Journal of Geophysical Research 118: 3610–3626.

Salzmann N, Machguth H, Linsbauer A (2012) **The Swiss Alpine glacier's response to the global «2°C air temperature target».** Environmental Research Letters 7: 044001.

Schaub Y (2015) **Outburst Floods from High-Mountain Lakes: Risk Analysis of Cascading Processes under Present and Future Conditions.** Doctoral thesis, Department of Geography, University of Zurich, 292 pp.

2.7 Alpine Ökosysteme

Die starke Strukturierung der Landoberfläche im Gebirge, die unterschiedliche Hangneigung und die Exposition zur Sonne schaffen auf engem Raum ein buntes Mosaik aus Temperaturverhältnissen, die als Puffer gegen grossräumige Klimaänderungen wirken. Dennoch wirkt sich die Klimaänderung auch auf die alpinen Ökosysteme aus. So ist beispielsweise in der Schweiz – trotz wachsenden Gletschervorfeldflächen – eher eine Abnahme der alpinen Fläche zu erwarten, weil sich die temperaturbestimmte Baumgrenze langfristig nach oben schieben wird. Die Erwärmung des Klimas und das Höherrücken des Bergwaldes führen zu einer klimatischen Verinselung hochalpiner Lagen. Diese Flächenveränderungen müssen berücksichtigt werden, wenn es um die alpine Landnutzung geht. Der bereits rekordhohe und weiter steigende Bestand an Sömmerungsschafen drückt dann auf eine kleiner werdende alpine Fläche. Die Folgen sind vermehrte Trittschäden und Erosion.

Christian Körner (Universität Basel), Eva Spehn (Forum Biodiversität/SCNAT und Universität Bern)

Globale und nationale Situation

Der alpine Lebensraum oberhalb des Bergwaldes umfasst etwa ein Drittel der schweizerischen Landesfläche und repräsentiert die letzten grossen Urlandschaften Mitteleuropas. Ähnliche alpine Ökosysteme gibt es weltweit; sie liegen zwar je nach geographischer Breite in unterschiedlicher Höhe, aber in stets ähnlichem Temperaturklima. Daher eignen sie sich besonders für globale Vergleiche (Körner 2003). Da in der Schweiz im alpinen Lebensraum im Durchschnitt doppelt so viel Niederschlag fällt wie im Tal, liefern diese Hochlagen einen Grossteil des energiewirtschaftlich genutzten Wassers. Die Hänge im alpinen Lebensraum sind allerdings steil und nur so stabil wie ihre Vegetation dicht und vital ist, womit die alpine Pflanzendecke die Sicherheit der Siedlungsräume und Transportrouten sichert. Die Biodiversität ist sehr hoch, etwa ein Viertel aller Blütenpflanzenarten der Schweiz findet sich oberhalb der alpinen Baumgrenze. Der Einfluss des Menschen auf alpine Ökosysteme ist zwar nachweisbar, aber führte zumeist nicht zu einem markanten Umbau der Lebewelt. Eine langfristige Umweltbeobachtung, wie es sie für den Wald gibt, existiert für den alpinen Lebensraum in der Schweiz nicht.

Verletzlichkeit

Im Fünften Sachstandsbericht des IPCC wird den alpinen Systemen – ausschliesslich auf Basis theoretischer Modelle – eine hohe Verletzlichkeit gegenüber dem Klimawandel zugeschrieben: Seltene Arten und Arten mit enger Temperaturtoleranz sollen demnach zurückgehen, da die Veränderungen zu rasch erfolgen oder sie im alpinen Raum irgendwann nicht mehr weiter in die Höhe ausweichen können. Die realen Lebensbedingungen im alpinen Terrain zeigen allerdings ein differenzierteres Bild: Die starke Strukturierung der Landoberfläche im Gebirge, die unterschiedliche Hangneigung und Exposition zur Sonne oberhalb der Waldgrenze schaffen auf engem Raum ein buntes Mosaik von Temperaturverhältnissen, das als Puffer gegen die Wirkung von grossräumigen Klimaänderungen wirkt und das System insgesamt weniger verletzlich macht. Steile klimatische Gradienten über kurze Distanzen erlauben alpinen Organismen ein kleinräumiges Ausweichen (Körner 2003; Scherrer 2010, Abb. 2.9). Auch feinskalige Modelle legen ein grosses Beharrungsvermögen nahe (Randin et al. 2009). Zudem erwiesen sich klonal wachsende Arten (die weit überwiegende Mehrheit der alpinen Arten) als besonders robust gegenüber Klimaänderungen (de Witte et al. 2012). Im Übergangsbereich zum Bergwald droht der alpinen Vegetation ein Flächenverlust durch Vergandung (Rückgang der alpwirtschaftlichen Nutzung) und durch das klimabedingte Hochsteigen der Waldgrenze.

Schleichende Veränderungen

Änderungen der Biodiversität werden im alpinen Lebensraum ab einer durchschnittlichen globalen Erwärmung von mehr als zwei Grad Celsius erwartet (IPCC 2014/WGII/Chap. 4). Langfristig werden im Gebirge nach diesen Modellen Organismenarten höher rücken. Solche Temperaturschwellenwerte sind für kontinuierliche Prozesse zwar etwas Künstliches, eine 2-Grad-Erwärmung würde aber weltweit langfristig die Fläche der unteren alpinen Stufe um ein Viertel reduzieren und die obere alpine Stufe halbieren (Körner 2012; Tab. 5.5). Diese Werte dürften näherungsweise auch für die Schweiz gelten, da auch hier die Position der Waldgrenze von der Temperatur bestimmt wird. Da Pionierarten und Generalisten früher höher rücken als Spezialisten mit sehr engen Lebensraumansprüchen, wird sich die Zusammensetzung der Arten verändern und tendenziell trivialisieren. In der Schweiz wurden entlang von Höhengradienten unterschiedliche

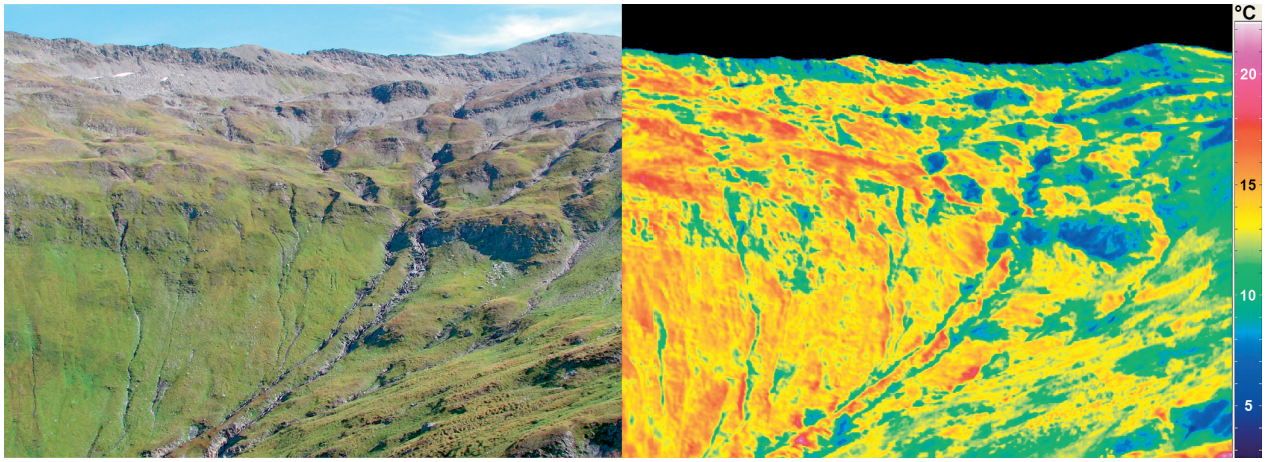


Abbildung 2.9: Geländestruktur, Hangneigung und Exposition schaffen in der baumlosen Hochgebirgslandschaft ein Mosaik an Kleinlebensräumen mit sehr unterschiedlichen Temperaturen. Deshalb sind alpine Organismen weniger gefährdet durch eine allgemeine Erwärmung als Arten in tieferen Lagen. Die Wege zu geeigneteren Lebensräumen sind sehr kurz. Ein Wärmebild zeigt das Wärmemosaik in 2500 Metern Höhe, hier am Beispiel der Furkapass-Region. Während einer Saison unterscheiden sich die Mitteltemperaturen der verschiedenen Kleinlebensräume am Hang um mehr als zehn Grad Celsius. Die Daten wurden mit vielen automatischen Temperatursensoren verteilt über den ganzen Hang ganzjährig erhärtet. (Quelle: Angepasst von Scherrer & Körner 2010)

Wanderungsraten für Pflanzen, Schmetterlinge und Vögel festgestellt (Roth et al. 2014). Vögel folgen dem Klimawandel der jüngsten Zeit rasch; wesentlich langsamer reagieren Pflanzen und die – vermutlich wegen der Raupenstadien – oft an sie gebundenen Schmetterlinge. Die höchsten Berggipfel in den Zentralalpen zeigen eine deutliche Zunahme an Pflanzenarten im Laufe der letzten 100 Jahre (Wipf et al. 2013) durch die Einwanderung von Arten aus tieferen Lagen, die leicht zu verbreitende Samen besitzen und die nun nicht mehr wegen ihres höheren Wärmebedarfes von Gipfelfluren ausgeschlossen bleiben. Während des vergangenen Jahrzehnts wurden also Blütenpflanzen aus tieferen alpinen Lagen auf Bergspitzen in ganz Europa häufiger (Gottfried et al. 2012), zumindest in boreal-temperaten Gebieten (+3,9 Arten im Durchschnitt). In südlichen Teilen der Alpen und in mediterranen Gebirgen hingegen nahmen die Artenzahlen eher ab (–1,4 Arten im Durchschnitt). Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die jüngsten Klimaänderungen die hochsommerliche Verfügbarkeit von Wasser im südlichen Europa vermindert haben (Pauli et al. 2012). Bemerkenswert ist auch, dass letztere Studie die grössten (schnellsten) Veränderungen in der untersten alpinen Stufe feststellte, da dort das Reservoir verfügbarer Arten grösser ist und wegen des günstigeren Klimas die Ausbreitung schneller erfolgen kann.

Alpine Flächen werden eher abnehmen

Der rapide Gletscherrückzug schafft neue Lebensräume, die bis zu ihrer vollständigen Besiedlung durch Pflanzen viele Jahrzehnte lang ein labiles, erosionsanfälliges Terrain darstellen. In der Schweiz ist trotz vergrösserten Gletschervorfeldflächen eine Abnahme der alpinen Fläche zu erwarten, weil sich die temperaturbestimmte Baumgrenze langfristig nach oben schieben wird. Dieses Höhersteigen des Bergwaldes hält anfangs nicht mit der Erwärmung des Klimasystems Schritt und ist noch mit ausgeprägten zeitlichen und räumlichen Unterschieden behaftet. Da der Erfolg von Sämlingen und ganz jungen Bäumen vom zufälligen Zusammentreffen von samenreichen Jahren (Mastjahren) mit klimatisch besonders günstigen Folgejahren bestimmt wird, erfolgt die Besiedlung des alpinen Gürtels durch Bäume schubweise über Jahrzehnte verteilt. Sämlingspopulationen haben daher nur beschränkten Wert als Mass für das Vorrücken des Waldes (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106). Andere Faktoren, die nichts mit dem Klimawandel zu tun haben, wie der Rückgang der Landnutzung, spielen dabei eine wichtige Rolle (Gehrig-Fasel et al. 2007). Gemäss dieser Studie geht der überwiegende Teil der Vermehrung der Bergwaldfläche auf das Konto von Wiederbewaldung (und Verbuschung) von ehemaligem Weidland unterhalb der klimatischen Waldgrenze.

Ob sich die für das Leben im Gebirge entscheidende Dauer der Schneebedeckung im oberen Bereich der alpinen Stufe (>2300 Meter) verändert, ist noch unklar. Unterhalb 1750 Metern über Meer ist ein Rückgang der Schneebedeckung evident (Rebetez 1996; Benniston 1997), in höheren Lagen kann wegen der Zunahme der Gesamtniederschläge eine mächtigere Schneedecke der Wirkung der Klimaänderung auf die Schneedeckendauer entgegenwirken. Dies obwohl die Zahl der Tage mit Schneefall in allen Höhenlagen abnimmt, wenn auch mit zunehmender

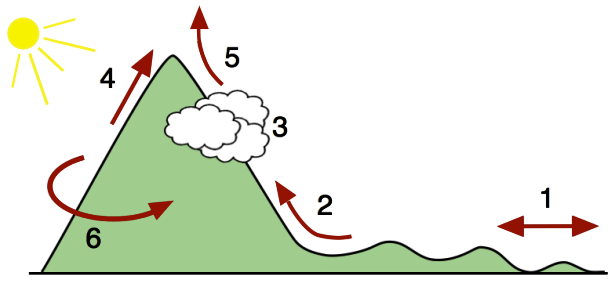


Abbildung 2.10: Wollen Arten der Niederung einer Klimaänderung ausweichen, müssen sie sehr grosse Distanzen überwinden (für sie gibt es kaum einen Ausweg (1). Berge können hingegen ein Fluchtort (Refugium) sein (2, 4) und waren das erdgeschichtlich auch immer. Berge können auch zur Falle werden, wie im Fall schrumpfender Nebelbänke in tropischen Bergnebelwälder oder wenn Organismen Berge besiedeln, die nicht hoch genug sind (3, 5). In aller Regel sind Berge aber eine Chance (6), weil es über sehr kurze Distanzen «Fluchtwege» gibt (6), als Folge des Mosaiks von Kleinklimabedingungen. (Quelle: Körner 2013)

Höhe weniger ausgeprägt (Serquet et al. 2011). In hohen Lagen muss deshalb die schneefreie Zeit trotz eines wärmeren Klimas nicht unbedingt länger werden.

Stickstoff hat grossen Einfluss auf Flora

Es gibt erste Hinweise, dass der Einfluss der atmosphärischen Stickstoffdeposition (durch Verkehr, Viehhaltung und Düngemittel) auf die alpine Flora zurzeit grösser ist als der Effekt der Klimaänderung (Bobbink 2010). Die Folgen sind Verschiebungen in der pflanzlichen Artendominanz hin zu raschwüchsigen Arten, zu Ungunsten langsamwüchsiger, kleiner und oft seltener Arten. Solche Wirkungen wurden von Roth et al. (2013) für die ganze Schweiz auch in tieferen Lagen nachgewiesen. Eine Erhöhung der Produktivität der alpinen Vegetation durch höhere CO_2-Konzentrationen kann nach heutigem Wissen ausgeschlossen werden (Inauen et al. 2012).

Extremereignisse

Extreme Trockenheit und Hitze stellen für alpine Pflanzen nach heutigem Wissen kein existentielles Risiko dar. Das ist eine Folge der Langlebigkeit der meisten alpinen Pflanzenarten, von denen die Bedeutendsten mehrere tausend Jahre alt werden und sich vegetativ (klonal) vermehren (de Witte et al. 2012), was sie relativ robust gegenüber kurzfristigen Schwankungen der Lebensbedingungen macht. Auch die Kürze des Bergsommers und die relativ hohen Niederschläge lassen eine extreme Austrocknung nicht zu. Die negativen Wirkungen solcher Extreme sind daher im Gebirge generell stark abgeschwächt, ja können im Bereich der Waldgrenze und darüber sogar ins Positive wechseln, also zu stärkerem Wachstum führen (Jolly et al. 2009). Vermehrte Wasserausbrüche aus dem Gletschervorfeld als Folge des Gletscherschmelzens gefährden darunterliegende Lebensräume und verzögern die Etablierung einer geschlossenen Pflanzendecke im Gletschervorfeld.

Anpassung an den Klimawandel

Die Fähigkeit der meisten alpinen Pflanzen und Tiere, mit schwankenden Lebensbedingungen umzugehen, ist gross und die vielen Kleinstlebensräume erlauben ein Ausweichen auf kleinem Raum (Scherrer & Körner 2010; Körner 2013; Abb. 2.10). Die Erwärmung des Klimas und das Höherrücken des Bergwaldes führen jedoch zu einer Verinselung der hochalpinen Lagen. Bei der Dimension und Platzierung von Schutzgebieten sind solche Veränderungen zu antizipieren (Korridore, zusammenhängende Hochlagen). Die Sömmerungsnutzung im alpinen Gelände, insbesondere durch Schafe, dürfte weiter zunehmen. Im steilen Gelände entsteht dadurch je nach Witterung ein erhöhtes Erosionsrisiko, insbesondere weil Schafe im zunehmend wärmeren Hochsommer bevorzugt kühle Hochlagen aufsuchen, deren Fläche sich wegen des Klimawandels langfristig deutlich verkleinern wird (siehe oben). Eine strikte und kompetente Behirtung ist nötig, vor allem wenn – wie neuerdings üblich – grosse Herden das Gelände nutzen. Fehler in der alpinen Landnutzung können in Kombination mit dem Klimwandel zu unumkehrbaren Schäden an den fragilen Böden führen, was sich wiederum auf den Wasserhaushalt auswirkt.

Herausforderungen für die Schweiz

Abgesehen von den technischen und touristischen Problemen (Anlagen auf auftauendem Permafrost beziehungsweise abnehmende Schneesicherheit) in Folge einer Erwärmung des Klimasystems (s. a. Kap. 2.3 Schnee, Gletscher und Permafrost, S. 80, Kap. 2.11 Tourismus, S. 117) sind die grössten Herausforderungen für den Naturerhalt im alpinen Lebensraum die Bewahrung und Schaffung grosser, überregionaler Schutzgebiete, die durch Korridore verknüpft sind und so Migrationen besonders von Tieren erlauben. Eine spezielle Herausforderung liegt in der neuerdings massiv angestiegenen Weidenutzung höchster Lagen (Schafe) die ohne Behirtung, bei kleiner werdendem hochalpinen Areal und wärmeren Sommern, massive Boden- und Vegetationsschäden bewirken. Auch wachsende Wildtierpopulationen, wie die des Steinbocks, werden im Sommer durch die Erwärmung in höhere Lagen gedrängt. Ein Artenverlust ist in den höchsten Lagen eher unwahrscheinlich, im Bereich der Waldgrenze (durch Habitatverlust) aber möglich (Verlust von alpinen Wildheuflächen, hochgelegenen Naturwiesen infolge des hochrückenden Bergwaldes). Massnahmen zum bewuss-

ten Offenhalten solcher Flächen sind sicher eine beträchtliche Herausforderung.

Referenzen

Beniston M (1997) **Variation of snow depth and duratio in the Alps over the last 50 years: links to changes in large-scale climatic forcing.** Climatic Change 36: 281–300.

Bobbink R, Hicks K, Galloway J, Spranger T, Alkemade R, Ashmore M, Bustamante M, Cinderby S, Davidson E, Dentener F, Emmett B, Erisman JW, Fenn M, Gilliam F, Nordin A, Pardo L, De Vries W (2010) **Global assessment of nitrogen deposition effects on terrestrial plant diversity: a synthesis.** Ecologial Applications 20: 30–59.

de Witte LC, Armbruster GFJ, Gielly L, Taberlet P, Stocklin J (2012) **AFLP markers reveal high clonal diversity and extreme longevity in four key arctic-alpine species.** Molecular Ecology 21: 1081–1097.

Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann NE (2007) **Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment?** Journal of Vegetation Science 18: 571–582.

Gottfried M et al. (2012) **Continent-wide response of mountain vegetation to climate change.** Nature Climate Change 2: 111–115.

Harsch MA, Hulme PE, McGlone MS, Duncan RP (2009) **Are treelines advancing?** A global meta-analysis of treeline response to climate warming. Ecological Letters 12: 1040–1049.

Inauen N, Körner C, Hiltbrunner E (2012) **No growth stimulation by CO_2 enrichment in alpine glacier forefield plants.** Global Change Biology 18: 985–999.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 4 «Terrestrial and inland water systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps.** Geophysical Research Letters 32: L18409.

Körner C (2003) **Alpine Plant Life (second edition).** Springer, Berlin.

Körner C (2013) **Alpine ecosystems.** In: Levin SA (ed.) Encyclopedia of biodiversity (second edition). Elsevier: 148–157.

Pauli H et al. (2012) **Recent plant diversity changes on Europe's mountain summits.** Science 336: 353–355.

Randin CF, Engler R, Normand S, Zappa M, Zimmermann NE, Pearman PB, Vittoz P, Thuiller W, Guisan A (2009) **Climate change and plant distribution: local models predict high-elevation persistence.** Global Change Biology 15: 1557–1569.

Rebetez M (1996) **Seasonal relationship between temperature, precipitation and snow cover in a mountainous region.** Theoretical and Applied Climatology 54: 99–106.

Roth T, Kohli L, Rihm B, Achermann B (2013) **Nitrogen deposition is negatively related to species richness and species composition of vascular plants and bryophytes in Swiss mountain grassland.** Agriculture, Ecosystems and Environment 178: 121–126.

Roth T, Plattner M, Amrhein V (2014) **Plants, birds and butterflies: short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude.** PLoS ONE 9: e82490.

Scherrer D, Körner C (2010) **Infra-red thermometry of alpine landscapes challenges climatic warming projections.** Global Change Biology 16: 2602–2613.

Scherrer D, Körner C (2011) **Topographically controlled thermal-habitat differentiation buffers alpine plant diversity against climate warming.** Journal of Biogeography 38: 406–416.

Serquet G, Marty C, Dulex JP, Rebetez M (2011) **Seasonal trends and temperature dependence of the snowfall/precipitation-day ratio in Switzerland.** Geophysical Research Letters 38: L07703.

Wipf S, Stöckli V, Herz K, Rixen C (2013) **The oldest monitoring site of the Alps revisited: accelerated increase in plant species richness on Piz Linard summit since 1835.** Plant Ecology & Diversity 6: 447–455.

2.8 Biodiversität und Ökosystemleistungen

Biodiversität ist die Vielfalt des Lebens. Die vielen unterschiedlichen Lebensformen, die es auf unserer Erde gibt, haben eines gemeinsam: Sie sind voneinander abhängig. Wenn sich die Lebenssituation für eine Art ändert, hat das Konsequenzen für andere Lebewesen. Der Mensch profitiert von vielen durch die Biodiversität erzeugten Ökosystemleistungen, die uns seit jeher Nahrung, Fasern für Kleidung, Werk- und Baustoffe sowie medizinische Wirkstoffe liefern. Intakte Ökosysteme reinigen Luft und Wasser, sorgen für fruchtbare Böden, schützen uns vor Überschwemmungen und Hangrutschen und puffern die Auswirkungen des Klimawandels ab. Weltweit und in der Schweiz sind Biodiversität und Ökosystemleistungen aber stark durch Umweltveränderungen betroffen.

Markus Fischer (Universität Bern), Eva Spehn (Forum Biodiversität/SCNAT und Universität Bern)

Ökosystemleistungen sind Funktionen des Ökosystems, die für den Menschen vorteilhaft, oft auch direkt nutzbar sind (Abb. 2.11). Zu den Ökosystemleistungen gehören unter anderem:
- Produktion von Lebensmitteln,
- Wirkstoffe für Medikamente,
- Brenn- und Baumaterialien,
- natürliche Reinigung von Luft und Wasser,
- natürliche Regulierung der Nährstoffkreisläufe und des Mikroklimas,
- Abbau von Schadstoffen,
- Schutz vor Naturgefahren,
- Bestäubung,
- Schutz vor Schädlingen oder biologischen Invasionen und
- Stabilität gegenüber Umweltveränderungen.

Solche Ökosystemleistungen sind zentral für Gesundheit, Sicherheit und Wohlstand. Allerdings gelten die meisten Ökosystemleistungen als öffentliche Güter, die bisher nicht bilanziert werden.

Biodiversität ist eine Voraussetzung für Ökosystemleistungen und unerlässlich für das Funktionieren von Ökosystemen (Cardinale et al. 2012). Gleichzeitig kann man Biodiversität selbst auch als eine Ökosystemleistung mit gesellschaftlichem Wert an sich sehen (Fisher et al. 2009). Lebensräume benötigen eine gewisse Qualität hinsichtlich der Artenvielfalt und -häufigkeit, um die Vielzahl an Ökosystemleistungen zu gewährleisten (Cardinale et al. 2012). Übersteigen Verschiebungen im Artengefüge ein gewisses Ausmass – etwa als Folge von Landnutzungs- oder klimatischen Änderungen – ist zu erwarten, dass bisherige Ökosystemleistungen nicht mehr in derselben Qualität oder Quantität bereitgestellt werden können.

Globale und nationale Situation

Weltweit hoher Druck auf Biodiversität und Ökosystemleistungen

Global ändert sich die Biodiversität mit noch nie dagewesener Geschwindigkeit aufgrund der vom Menschen verursachten Umweltveränderungen (Mace et al. 2005). Der Rückgang der Biodiversität ist eine Folge des menschlichen Eingreifens in die Natur, vor allem durch Landnutzung und damit einhergehender Lebensraumverluste und -degradierungen (Newbold et al. 2015). Eine Schätzung der Intaktheit natürlicher Biodiversität in lokalen Ökosystemen zeigt, dass über die Hälfte der globalen Landfläche als «biotisch kompromittiert» gilt, also einen Verlust von mehr als 20 Prozent der Arten aufzeigt (Newbold et al. 2016). Der Biodiversitätsverlust – sowohl der absolute Verlust an Genen/Arten/Lebensgemeinschaften, als auch deren lokales Verschwinden – wird seinerseits auch als ein Antrieb globaler Umweltveränderungen betrachtet; dies aufgrund seines Ausmasses und wegen der starken Koppelung an Ökosystemleistungen und der gesellschaftlichen Nutzung natürlicher Ressourcen an Biodiversität (Mace et al. 2005).

Ökosystemleistungen sind global und in Europa bis an die Grenzen der Belastbarkeit beansprucht, und die Nachfrage steigt in den meisten Fällen weiterhin stark an (Schröter et al. 2005). Zudem gibt es zahlreiche Hinweise, dass der Klimawandel diese (Über-)Beanspruchung weiter steigern wird (Millennium Ecosystem Assessment 2005; TEEB 2009), da seine negativen Folgen auf Ökosysteme deren Potenzial zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen beeinträchtigen.

Detailliertere Informationen zum weltweiten Zustand von Biodiversität und den Ökosystemleistungen, die sich teilweise auch auf die Schweiz übertragen lassen, sind bis 2019 zu erwarten. Bis dann wird der Weltbiodiversitätsrat IPBES – analog dem IPCC für das Klima – verschiedene

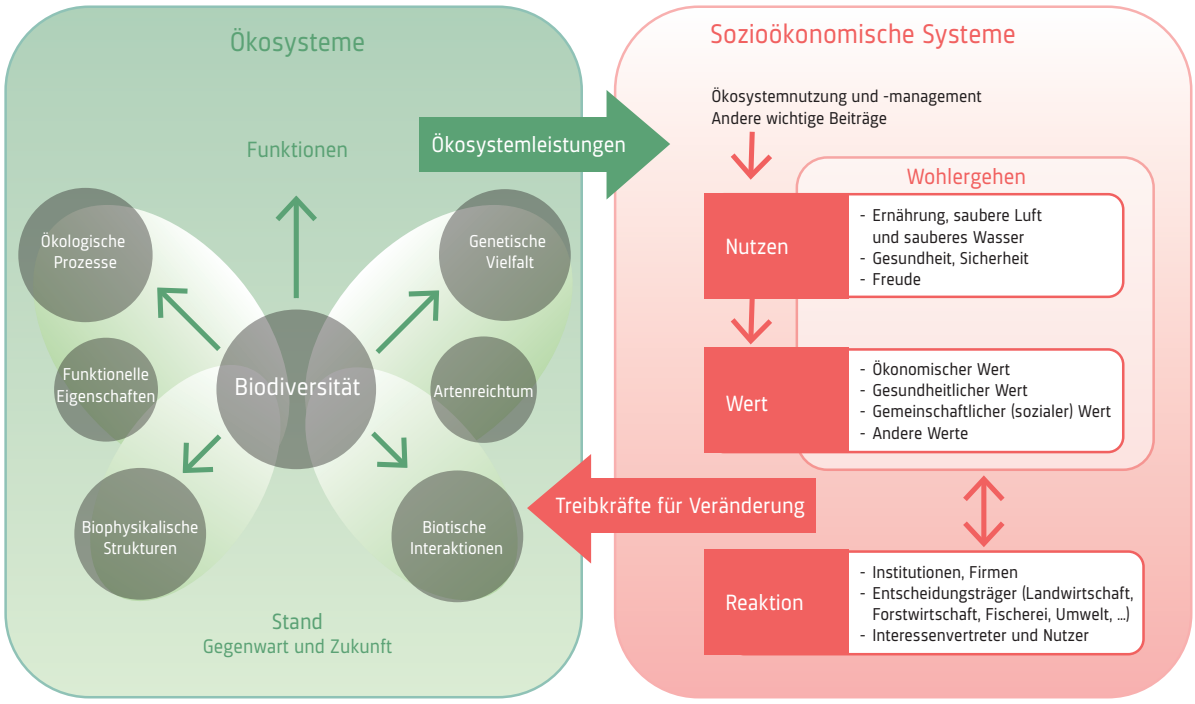


Abbildung 2.11: Konzeptueller Rahmen der MAES Initiative (Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services). Er verbindet sozioökonomische Systeme mit Ökosystemen über den Fluss von Ökosystemleistungen und durch die Triebkräfte für Veränderung, die das Ökosystem auf zweierlei Weise beeinflussen: Entweder durch die direkte Nutzung der Leistungen oder durch die Auswirkungen von menschlichen Aktivitäten generell. (Quelle: Maes et al. 2013)

weltweite, regionale und thematische Berichte über Biodiversität und Ökosystemleistungen erarbeitet haben.

Schweiz: Rückgang der Biodiversität und Ökosystemleistungen

In den letzten Jahrzehnten hat die Biodiversität in der Schweiz einen deutlichen Rückgang erfahren (Lachat et al. 2010). Über ein Drittel der Pflanzenarten und fast die Hälfte der Tierarten stehen auf der roten Liste der Schweiz; der Zustand geschützter Lebensräume wie Moore und Trockenwiesen und Weiden verschlechtert sich weiter. Der Rückgang der Biodiversität ist vor allem durch Landnutzungsänderungen, Zersiedelung, Infrastrukturmassnahmen, Verkehrs-, Stickstoff- und Schadstoffbelastung verursacht (Lebensraumverlust). Die Trockenwiesen und -weiden haben deshalb seit 1900 einen Flächenrückgang von 95 Prozent erlitten (Lachat et al. 2010). In der Schweiz reichen die aktuelle Qualität, Quantität und die Vernetzung vieler Lebensräume nicht aus, um deren Biodiversität und Ökosystemleistungen langfristig zu erhalten. Der tatsächliche Flächenbedarf ist deutlich höher: Je nach Region und Lebensraum wird hierfür rund ein Drittel der Gesamtfläche als notwendig erachtet, in einigen weniger, in anderen mehr (Guntern et al. 2013). Vor allem im Mittelland ist die Biodiversität auf einem bedenklich tiefen Niveau angelangt. Viele Leistungen der Ökosysteme wie die Erholungsfunktion, die Abpufferung von Klimaänderungen und der Hochwasserschutz sind mit einer so stark reduzierten Biodiversität nicht mehr garantiert. Eine Studie in sechs europäischen Ländern zeigte, dass die Biomasseproduktion in Mischwäldern konstanter ist als in Monokulturen (Jucker et al. 2014), und dass Bestände, die aus verschiedenen Baumarten zusammengesetzt sind, generell mehr Ökosystemleistungen erbringen als Monokulturen (Van der Plas et al. 2016). Bei einer grossangelegten Feldstudie in drei Gebieten in Deutschland zeigte sich entsprechend, dass eine Intensivierung der Grünlandnutzung nicht nur zu einem Verlust an Biodiversität führt (Allan et al. 2014), sondern auch zu einem Rückgang in der Bereitstellung vielfältiger Ökosystemleistungen (Allan et al. 2015).

Der Rückgang der Biodiversität konnte bisher trotz zusätzlicher Anstrengungen – etwa im Natur- und Gewässerschutz und beim ökologischen Ausgleich in der Landwirtschaft – nicht gestoppt werden. Stattdessen verstärkt sich der Druck auf die Biodiversität noch weiter durch Entwicklungen wie die steigende Bevölkerungszahl, den Klimawandel oder die Intensivierung der Landwirtschaft an den für Ackerbau und Grünlandnutzung günstigen

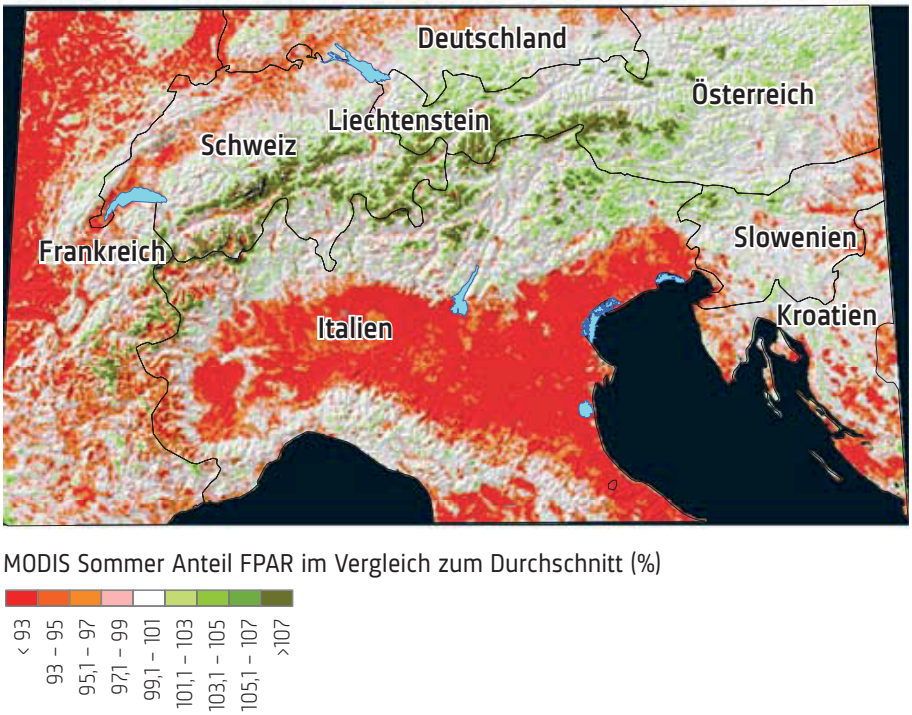


Abbildung 2.12: Anteil der im Sommer 2003 von Pflanzen absorbierten photosynthetisch relevanten Strahlung (FPAR) im Vergleich zum 5-Jahresmittel, gemessen von Instrumenten («MODIS») auf Satelliten. Die roten Bereiche zeigen, wo FPAR und somit das Pflanzenwachstum im Jahr 2003 geringer war als der Mittelwert. Grüne Bereiche zeigen höhere Werte von FPAR und somit besseres Pflanzenwachstum als im Mittelwert. In den weissen Gebieten blieben die Werte unverändert.
(Quelle: Reprinted by permission from John Wiley & Sons Ltd.: Jolly et al. 2005, copyright [2005])

Stellen beziehungsweise die Aufgabe der Nutzung an topographisch schwieriger zu bewirtschaftenden Orten. Ein Beispiel für den Artenverlust durch Intensivierung sind die Fromentalwiesen (Glatthaferwiesen), die bis Mitte des letzten Jahrhunderts weit verbreitet waren. Durch eine starke Intensivierung wurden sie fast vollständig durch artenarmes Wiesland verdrängt (von 85 Prozent aller Wiesen um 1950 zu 2 Prozent heute). Zudem ging die Zahl der für Fromentalwiesen typischen Arten von 25 auf 9 zurück (Bosshard 2015). Im Süssgewässer sind invasive Arten die Hauptursache für den Rückgang einheimischer Arten. Zum Beispiel wurden in den vergangenen 30 Jahren die einheimischen wirbellosen Tiere (Kleinkrebse, Insektenlarven, Schnecken, Muscheln, Würmer), welche die Rheinsohle bewohnten, fast vollständig durch eingewanderte Arten (z. B. asiatische Körbchenmuschel *Corbicula fluminea)* ersetzt (Rey et al. 2005).

Verletzlichkeit

Der Klimawandel zeigt jetzt schon Effekte auf die meisten Ökosysteme (s. a. Kap. 2.7 Alpine Ökosysteme, S. 96, Kap. 2.9 Wald, S. 106, Kap. 2.10 Landwirtschaft, S. 111) und wird künftig stärkere Auswirkungen auf Biodiversität und Ökosystemleistungen haben. Die Auswirkungen der Hitzewelle im Jahr 2003 auf das Pflanzenwachstum sollen exemplarisch zeigen, dass in der Schweiz vor allem die Ökosysteme niedriger Lagen durch Extremtemperaturen betroffen werden, während das Pflanzenwachstum in höheren Lagen sogar besser sein kann als bei bisher normalen Temperaturen (Abb. 2.12; Jolly et al. 2005).

Der Klimawandel verändert sowohl die Phänologie als auch die Verbreitung von Arten in der Schweiz mit der Tendenz zur Ausbreitung in höhere Lagen. Viele untersuchte Arten zeigen ein erhöhtes Risiko lokal zu verschwinden oder auszusterben, entweder direkt durch Klimawandel verursacht oder in Kombination mit anderen Faktoren (Lachat et al. 2010; Bellard et al. 2012; Urban et al. 2012).

Allgemein kann der Klimawandel die Lebensräume der Arten verändern durch:
- Verlagerung des bisherigen Lebensraums, ohne dass die Arten dem folgen können (Abb. 2.13),
- Verlagerung der Arten aus ihrem bevorzugten Lebensraums hinaus oder
- Änderungen in der Qualität des Lebensraums (Urban et al. 2012).

Kipppunkte der Ökosysteme

Der Klimawandel birgt einige Risiken für terrestrische und Süsswasser-Ökosysteme und ihre wichtigsten Ökosystemleistungen (IPCC 2014/WGII/Chap.4). Fast alle Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität sind schleichend, aber es kann auch zu plötzlichen, irreversiblen Veränderungen des natürlichen Gleichgewichts kommen, die zu einer substantiellen Störung von Ökosys-

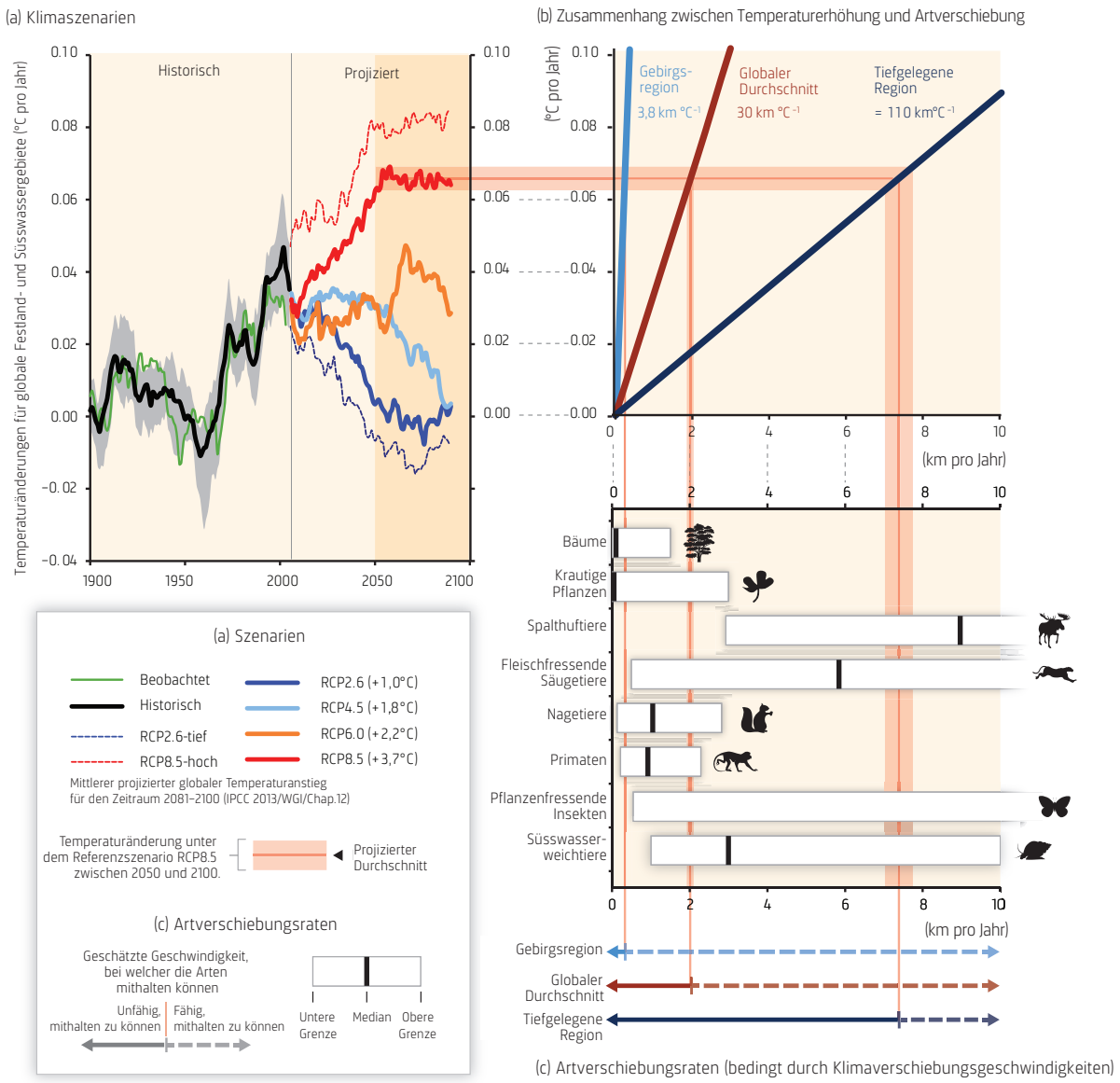


Abbildung 2.13: (a) Klimawandelszenarien, (b) dazugehörige Klimaverschiebungsgeschwindigkeiten und (c) Artverschiebungsraten verschiedener taxonomischer Gruppen. Artengruppen mit langsameren Verschiebungsraten sind wahrscheinlich ohne menschliches Zutun nicht fähig, dem Klimawandel zu folgen. (Quelle: IPCC 2014/WGII/Chap.4/Fig.4–05)

temen führen. In diesem Zusammenhang spricht man von Kipppunkten von Ökosystemen (*tipping points*) (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2014).

Einer der am besten untersuchten Kipppunkte ist der Verlust von Korallenriffen, der bis 2050 erwartet wird (IPCC 2014/WGII). Grund für das Verschwinden der Korallen ist eine Kombination von Verschmutzung, Überfischung, invasiven Arten und Versauerung der Ozeane (wegen der steigenden CO_2-Konzentrationen und steigenden Wassertemperaturen). Auch arktische Ökosysteme sind durch Auftauen des Permafrostes, Verbuschung der Tundra und vermehrten Ausbruch von Krankheiten oder Feuern in nördlichen Wäldern gefährdet («boreal tipping point», IPCC 2014/WGII/Chap.4). Die Möglichkeiten, dieses Umkippen der Wälder durch Anpassung zu verhindern, sind sehr gering. Auch Baumsterblichkeit und Waldverlust nehmen an vielen Orten zu und wurden in manchen Fällen direkt Klimaeffekten und indirekten Effekten (Zunahme von Krankheitserregern und Schädlingen) zugeschrieben (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106).

Schleichende Veränderungen und Anpassung

Klimamodelle sagen voraus, dass viele Arten in den nächsten Jahrzehnten durch langsame klimabedingte Lebensraumveränderungen betroffen sein werden (Urban et al. 2012). Zunehmende Trockenperioden aufgrund geringerer prognostizierter Regenfälle im Sommer könnten zum Beispiel bewirken, dass Wälder im Mittelwallis absterben und Laichgewässer von Amphibien frühzeitig im Jahr austrocknen (Lachat et al. 2010). Besonders gefährdet sind Arten mit geringer Ausbreitungsgeschwindigkeit; vor allem solche, die flache Gebiete besiedeln (Abb. 2.13), in denen die Geschwindigkeit der Klimaänderung hoch ist, und solche, die isolierte Lebensräume wie Berggipfel, Inseln oder kleine Schutzgebiete besiedeln. Im Zuge der Anpassung an ein wärmeres Klima wandern viele Arten im Gebirge schon nach oben. Eine Analyse der seit 2003 erhobenen Daten des Biodiversitätsmonitorings Schweiz zeigte, dass innerhalb von acht Jahren sowohl Pflanzen und Schmetterlinge als auch Vögel ihre Ausbreitung nach oben verlegt haben – im Durchschnitt um 8 Meter, 38 Meter und 42 Meter (Roth et al. 2014). Auch die Baumgrenze verschiebt sich nach oben (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106, Kap. 2.7 Alpine Ökosysteme, S. 96).

Andererseits können wärmeliebende Arten in tieferen Lagen von höheren Temperaturen profitieren. In der Schweiz ist aufgrund der wärmeren und milderen Winter der vergangenen 30 Jahre sowohl im Tessin als auch in der Nordschweiz eine Angleichung der Vegetation an die neuen klimatischen Bedingungen im Gange. So sind beispielsweise wärmeliebende Arten häufiger als noch vor 30 Jahren. In den Wäldern im Tessin sind immergrüne hartlaubige Arten aus den gemässigten bis subtropischen Klimazonen Ostasiens inzwischen recht häufig, wie zum Beispiel Lorbeer, Japan-Liguster, Hanfpalme und Zimtbaum, die in Gärten kultiviert werden und sich von dort aus ausbreiten (Walther et al. 2001). Auch wärmeliebende Insektenarten im Mittelwallis profitieren, beispielsweise der Bläuling *Cupido alcetas*, der sein Verbreitungsgebiet im Hitzesommer 2003 stark erweitert hat (Juillerat 2005).

Langfristig könnten manche Lebensräume durch den Klimawandel ganz verschwinden oder neue Lebensräume entstehen (IPCC 2014/WGII/Chap.4). Mehrere aktuelle Studien zeigen, dass der Klimawandel die Qualität von Lebensräumen schon verändert hat und weiterhin verändern wird. Wie gross der Einfluss von veränderten Lebensräumen auf die Häufigkeit von Arten und deren Aussterberisiko ist, lässt sich nur schwer abschätzen, da manche Arten sich an neue Lebensräume anpassen können (IPCC 2014/WGII/Chap.4) oder durch unterschiedliche Wandergeschwindigkeiten (Abb. 2.13) auf neue Konkurrenten treffen (Alexander et al. 2015). Arten, die auf Synchronizität mit anderen Arten angewiesen sind, reagieren empfindlich auf Veränderungen in der zeitlichen Entwicklung (Phänologie), eine der raschesten Folgen des Klimawandels. So werden Interaktionen zwischen Arten unterbrochen, zum Beispiel wenn die Aktivität der Bestäuber nicht mehr mit der Blütezeit zusammenfällt. Oder wenn der Austrieb der Blätter (*Quercus robur*, Stieleiche) nicht mehr mit dem Schlüpfen der Raupen (*Operophtera brumata*, Kleiner Frostspanner) zusammenfällt, die sich von jungen Eichenblättern ernähren. Dadurch verhungern die Raupen, was wiederum den Bruterfolg von Meisen und Fliegenschnäppern verringert, die ihre Brut mit den Raupen füttern (Visser & Hollemann 2001).

Herausforderungen für die Schweiz

Für die Schweiz sind der Erhalt und die nachhaltige Nutzung ihrer Biodiversität und Ökosystemleistungen eine grosse Herausforderung. Als ein Land mit hoher Bevölkerungsdichte im besiedelbaren Raum stellt sich das Problem der Priorisierung verschiedener Nutzungen auf bestimmten Flächen in besonderem Mass. Im Rahmen nationaler und internationaler Vereinbarungen hat sich die Schweiz verpflichtet, die Biodiversität zu erhalten und ihre Nutzung nachhaltig zu gestalten (u. a. Biodiversitätskonvention, Nagoya-Protokoll).

Der Flächenbedarf für die Erhaltung der Biodiversität und der Ökosystemleistungen beträgt in der Schweiz rund ein Drittel der Landesfläche und geht damit weit über das hinaus, was heute noch an ökologisch wertvollen Flächen vorhanden ist (Guntern et al. 2013). Der Schutz dieser verbliebenen Flächen ist wichtig, bei mehreren Lebensräumen sind aber Aufwertungs- und Wiederherstellungsmassnahmen erforderlich. Naturschutzgebiete mit Arten, für welche die Schweiz Verantwortung trägt, sollten die künftigen Areale dieser Arten berücksichtigen; es geht darum Wanderkorridore zu sichern, weitere Gebiete unter Schutz zu stellen, verinselte Populationen untereinander wieder zu verbinden und ein engmaschiges Netz von Lebensräumen zu knüpfen, das den Bedürfnissen einer grösstmöglichen Anzahl Arten gerecht wird (Lachat et al. 2010).

Die Förderung der Biodiversität ist für Ökosystemleistungen und den Klimaschutz sehr wichtig: Das Ziel sollte deshalb sein, Synergien zu erkennen und zu nutzen. Mögliche Nutzungsanpassungsmassnahmen, welche die Biodiversität betreffen, sind in der Landwirtschaft eine Anpassung der Sorten und die Verwendung diverser Saatmischungen. In der Forstwirtschaft sind es beispielsweise die Vermeidung von empfindlich auf den Klimawandel reagierenden Baumarten, wie etwa Buche und Fichte im Unterland (Schelhaas et al. 2015), und die vermehrte Verwendung von Baumartenmischungen. Zu den wirksamen

Förderungsmassnahmen der Biodiversität gehören Veränderungen und Zersiedelungen der Lebensräume sowie deren Verschmutzung und Übernutzung zu mindern, invasive Arten einzudämmen, Schutzgebiete auszuweiten, die Ausbreitung von Lebensräumen zu unterstützen sowie Arten ex situ zu konservieren. Der Bundesrat hat im April 2012 die Strategie Biodiversität Schweiz (SBS) verabschiedet, die zum Ziel hat, die Biodiversität reichhaltig und gegenüber Veränderungen reaktionsfähig zu halten sowie die durch sie ermöglichten Ökosystemleistungen langfristig zu erhalten (BAFU 2012). Zurzeit wird der Aktionsplan zu dieser Strategie erarbeitet; er greift die oben genannten Förderungsmassnahmen auf (BAFU 2015).

Referenzen

Alexander JM, Diez JM, Levine JM (2015) **Novel competitors shape species' responses to climate change.** Nature 525: 515–518.

Allan E et al. (2014) **Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 111: 308–313.

Allan E et al. (2015) **Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition.** Ecology Letters 18: 834–843.

Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F (2012) **Impacts of climate change on the future of biodiversity.** Ecology Letters 15: 365–377.

BAFU (2012) **Schweizer Biodiversitätsstrategie.** In: Erfüllung der Massnahme 69 (Ziel 13, Art. 14, Abschnitt 5) der Legislaturplanung 2007–2011: Ausarbeitung einer Strategie zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität.

BAFU (2015) **Ergebnisbericht Vorkonsultation Massnahmen Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz.**

Bosshard A (2015) **Rückgang der Fromentalwiesen und die Auswirkungen auf die Biodiversität.** Agrarforschung Schweiz 6: 20–27.

Cardinale BJ, Duffy E, Gonzalez A, Hooper DU, Perrings C, Venail P, Narwani A, Mace GM, Tilman D, Wardle DA, Kinzig AP, Daily GC, Loreau M, Grace JB, Larigauderie A, Srivastava DS, Naeem S (2012) **Biodiversity loss and its impact on humanity.** Nature 486: 59–67.

Fisher B, Turner RK, Morling P (2009) **Defining and Classifying Ecosystem Services for Decision Making.** Ecological Economics 68: 643–653.

Guntern J, Lachat T, Pauli D, Fischer M (2013) **Flächenbedarf für die Erhaltung der Biodiversität und der Ökosystemleistungen in der Schweiz.** Forum Biodiversität Schweiz der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 4 «Terrestrial and inland water systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps.** Geophysical Research Letters 32: L18409.

Jucker T, Bouriaud O, Avakaritei D, Coomes DA (2014) **Stabilising effects of diversity on aboveground wood production in forest ecosystems: linking patterns and processes.** Ecology Letters 17: 1560–1569.

Juillerat L (2005) **Extension rapide de l'aire de distribution de Cupido alcetas (Hoffmansegg 1804) (Lepidoptera, Lycaenidae) en Suisse occidentale en 2003 et 2004.** Bulletin romand d'entomologie 22: 81–95.

Lachat T, Pauli D, Gonseth Y, Klaus G, Scheidegger C, Vittoz P, Walter T (eds.) (2010) **Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?** Zürich, Bristol-Stiftung. Haupt Verlag, Bern.

Maes J et al. (2013) **Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services.** An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg.

Mace G, Masundire H, Baillie J et al. (2005) **Biodiversity.** In: Millennium Ecosystem Assessment. (2005) Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group. Ecosystems and Human Well-being, Volume 1. Island Press, Washington DC.

Millennium Ecosystem Assessment (2005) **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.** Island Press, Washington DC.

Newbold T et al. (2015) **Global effects of land use on local terrestrial biodiversity.** Nature 520: 45–50

Rey P, Ortlepp J, Küry D (2005) **Wirbellose Neozoen im Hochrhein.** Ausbreitung und ökologische Bedeutung. Schriftenreihe Umwelt 380, Bundesamt für Umwelt, Bern.

Roth T, Plattner M, Amrhein V (2014) **Plants, Birds and Butterflies: short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude.** PlOS one: e82490.

Schelhaas MJ, Nabuurs GJ, Hengeveld G, Reyer C, Hanewinkel M, Zimmermann NE, Cullmann D (2015) **Adaptive forest management to account for climate change-induced productivity and species suitability changes in Europe.** Regional Environmental Change 15: 1581–1594.

Schröter D et al. (2005) **Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe.** Science 310: 1333–1337.

Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) **Global Biodiversity Outlook 4.** Montréal, 155 pp. www.cbd.int/GBO4

TEEB (2009) **The Economics of Ecosystems and Biodiversity.** Climate Issues Update, 32 p.

Urban MC, Tewksbury JJ, Sheldon KS (2012) **On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change.** Proceedings of the Royal Society B 279: 2072–2080.

Van der Plas F et al. (2016) **Jack-of-all-trades effects drive biodiversity-ecosystem multifunctionality relationships in European forests.** Nature Communications 7: 11109.

Visser ME, Hollemann LJM (2001) **Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology.** Proceedy of the Royal Society B: 268: 289–294.

Walther G-R, Carraro G, Klötzli F (2001) **Evergreen broad-leaved species as indicators for climate change.** In: G-R Walther, Burga CA, Edwards PJ (eds.), «Fingerprints» of Climate Change – Adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic / Plenum Publishers, New York: 151–162.

2.9 Wald

Die Reaktion der Schweizer Wälder auf schleichende Klimaänderungen und Extremereignisse hängt stark davon ab, in welcher Höhenlage sich der Wald befindet. So wird sich der Wald in den höheren Lagen ausdehnen und besser wachsen, während er in den tiefen Lagen vor allem unter der Trockenheit leiden wird. Zusammen mit Änderungen in der Landnutzung, mit Windwurf, Waldbrand sowie Insekten- und Pilzbefall ergeben sich komplexe Wirkungsgefüge, welche die vielfältigen Ökosystemleistungen des Waldes stark beeinflussen werden.

Andreas Rigling (WSL), Harald Bugmann (ETH Zürich), Martine Rebetez (Universität Neuenburg und WSL), Christian Körner (Universität Basel)

Globale und nationale Situation

Der Wald ist eine bedeutende Ressource und erbringt wichtige Leistungen. Während global die Produktion von Holz, Fasern und Brennmaterial sowie die Kohlenstoffspeicherung und die ausgleichenden Effekte des Waldes auf das Klima im Vordergrund stehen, sind in der Schweiz neben der Holzproduktion vor allem der Schutz vor Naturgefahren, die Biodiversität, die Filterung des Trinkwassers und die Erholungsleistung zentral (Rigling & Schaffer 2015). Diese Waldleistungen geraten durch den Klimawandel unter Druck. Viele Baumarten sind zwar in der Lage, einmalige kurzfristige Ereignisse wie zum Beispiel einen trockenen Sommer zu überstehen, sie sind aber empfindlich, wenn diese Extremereignisse wiederholt auftreten. Zudem können sich auch schleichende Klimaänderungen langfristig nachteilig auf die Waldleistungen auswirken.

Reaktion auf Klimawandel ist abhängig vom Standort

Der Klimawandel wird die Wälder global wie regional verändern. Die Auswirkungen werden räumlich sehr unterschiedlich sein, denn je nach Standort wirken veränderte klimatische Bedingungen stimulierend oder hemmend auf die ökologischen Prozesse (IPCC 2014/WGII). In der Schweiz werden die Wälder im Bereich der oberen Waldgrenze von den wärmeren Bedingungen profitieren (Körner 2012), hingegen wird das Wachstum auf den heute schon warmen und trockenen Standorten zurückgehen (Bugmann et al. 2014; Elkin et al. 2013). Auf Standorten mit guter Wasserversorgung werden viele Baumarten früher austreiben, während auf Trockenstandorten das Wachstum früher in der Vegetationszeit abgeschlossen sein wird. Auch bei unveränderten Niederschlagsverhältnissen wird die Belastung durch Trockenheit zunehmen. Grund dafür sind die höheren Temperaturen und Verdunstung.

Neben den direkten Wirkungen des Klimawandels werden auch indirekte Effekte die Walddynamik weltweit und auch in der Schweiz verändern. Zu den indirekten Effekten gehören zum Beispiel ein höheres Waldbrand-Risiko und häufigere Massenvermehrungen von Borkenkäfern (Temperli et al. 2013).

Verletzlichkeit der Wälder

Schleichende Veränderungen

Die potenziellen Verbreitungsgebiete der Baumarten in der Schweiz werden sich langfristig verändern, doch bestehen nach wie vor grosse Unsicherheiten in der Abschätzung der Veränderungen (Abb. 2.14) (Bugmann et al. 2014; Bircher et al. 2015; WSL 2015). Die tatsächlichen Veränderungen werden langsam ablaufen und mit Verzögerung eintreten, denn auch unter ungünstigen Bedingungen können Baumbestände bei verringerter Produktivität lange überdauern (Elkin et al. 2013).

In der montanen Stufe der Alpen gibt es Hinweise, dass Laubbäume wie Eiche, Buche, Ahorn und Linde deutlich oberhalb der bisherigen Verbreitungsgrenze durch reichlichen Jungwuchs vertreten sind (Vitasse et al. 2012). Falls sich die Jungbäume langfristig behaupten, könnte dies eine Reaktion auf die Erwärmung des Klimasystems sein, die in der Schweiz mit rund 1,5 Grad Celsius seit den 1970er-Jahren weit über dem globalen Durchschnitt von 0,7 Grad Celsius liegt.

Die wärmeren Bedingungen führen auch dazu, dass in höheren Lagen die Bäume besser wachsen und der Wald sich gegen oben ausbreitet. Dieses klimabedingte Höherwandern von Baumarten findet aber nur langsam statt: Die Änderung der Landnutzung durch den Rückzug der Menschen aus der Alpwirtschaft wirkt sich derzeit noch stärker auf die Wälder aus als die Klimaänderung (Gehrig-Fasel et al. 2007; Küchler et al. 2014). Markanter Ausdruck dieser sozioökonomischen Entwicklung ist die vielerorts

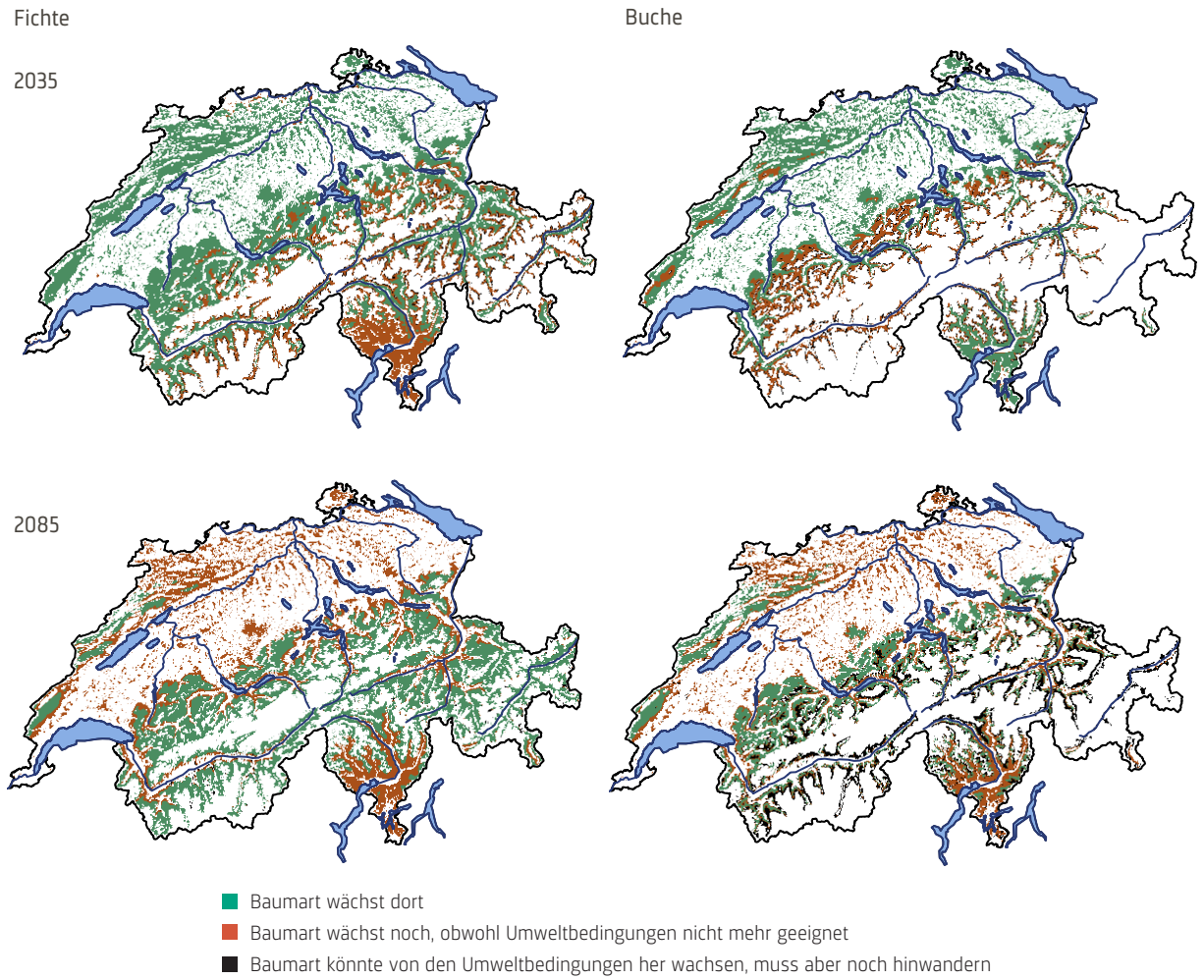


Abbildung 2.14: Vergleich der zukünftigen Eignung der beiden in der Schweiz häufigsten Baumarten Fichte *(Picea abies)* und Buche *(Fagus sylvatica)*. Die Karten zeigen Simulationen aufgrund von empirischen Artverbreitungsmodellen (SDMs) und dem Model TreeMig, das Samenverbreitung und Konkurrenzprozesse mitberücksichtigt. Grüne Flächen zeigen Gebiete, in denen die Arten noch wachsen werden. Rote Flächen zeigen, wo die Baumart noch vorkommt, die Umweltbedingungen aber nicht mehr geeignet sind. Schwarze Flächen markieren Gebiete, in denen die Baumart wachsen könnte, diese aber noch nicht hingewandert ist. (Quelle: Angepasst von Bugmann et al. 2014)

zu beobachtende Verbuschung auf ehemaligem Weideland im Alpenraum (zwischen 1400 und 2200 Metern Höhe), vornehmlich durch Grünerlen, in höheren Lagen auch durch Zwergsträucher (Bühlmann et al. 2014). Diese Verbuschung verzögert die natürliche Wiederbewaldung dieser im Mittelalter gerodeten Flächen.

Natürlich reagieren nicht nur die Bäume auf die schleichenden Veränderungen, sondern sämtliche biotischen Elemente der Ökosysteme, so auch die Insekten (vgl. Bugmann et al. 2014). Zeitpunkt und Art der Reaktion sind aber artspezifisch – die Arten reagieren früher oder später, langsam oder schnell, linear oder erst nach Überschreiten von Schwellenwerten. Davon betroffen sind nicht nur die einheimischen Arten, sondern auch die vermehrt einwandernden Tiere und Pflanzen. Da diese oft aus wärmeren Gebieten stammen, steigen nun ihre Überlebenschancen und sie können sich vermehrt in unseren Ökosystemen behaupten (Rigling & Schaffer 2015).

Extremereignisse

Ein weiterer Grund für die Verzögerungen des klimatisch bedingten Ansteigens der alpinen Waldgrenze ist, dass die Verjüngung der Waldbäume in hohen Lagen eine Sequenz von klimatisch besonders günstigen Jahren benötigt (z. B. Hagedorn et al. 2014). Extremjahre wie zum Beispiel der

Hitzesommer 2003 (ProClim 2005; Rebetez et al. 2006) hatten in den Hochlagen einen stimulierenden Effekt auf das Baumwachstum, während im Mittelland viele Wälder deutliche Wachstumseinbussen verzeichneten (Jolly et al. 2005). Die Auswirkung extremer Trockenjahre variiert also je nach Standort und wirkt auch unterschiedlich auf die Baumarten. So zeigen Befunde aus Trockenregionen wie zum Beispiel den südwestlichen USA, dem Mittelmeerraum und inneralpinen Trockentälern, dass wiederholte Trockenjahre zu Baumsterben führen, was die Artenzusammensetzung langfristig verändern kann. In der Schweiz leidet die Waldföhre auf den Trockenstandorten im Wallis zunehmend unter der Trockenheit, während sich die Flaumeiche dort robust zeigt und sich ausbreitet (Rigling et al. 2013; Mina et al. 2016). Auch in tiefen ausseralpinen Lagen zeigt sich, dass Eichen mit Trockenperioden besser zurechtkommen als Rotbuche, Hagebuche, Kirsche und Linde (Leuzinger et al. 2005; Scherrer et al. 2011).

Die Fichte – der Brotbaum der schweizerischen Waldwirtschaft und gegenwärtig der wichtigste Rohstoff für die holzverarbeitende Industrie – wird aufgrund der Erfahrungen der letzten Jahre in tieferen Lagen noch stärker unter Druck geraten (Lévesque et al. 2014). Dies nicht nur wegen ihrer Empfindlichkeit auf extreme Trockenheit, sondern auch wegen der zu erwartenden Zunahme der Borkenkäferaktivität; Borkenkäfer und andere potenzielle Schadinsekten können von den wärmeren Bedingungen und einem vermehrten Auftreten von Stürmen profitieren und sich stark vermehren (Bugmann et al. 2014). Stürme führen einerseits zu einer Schwächung der Bestände und andererseits zu mehr Brutmaterial für Schadinsekten.

Bei der Abschätzung, wie sich unsere Wälder im Klimawandel entwickeln werden, gilt es also nicht nur klimatische Risiken wie schleichende Veränderungen und Extremjahre zu berücksichtigen, sondern auch die sich verändernde Anfälligkeit auf Störungen wie Windwurf, Waldbrand, Insekten- und Pilzbefall.

Anpassung an den Klimawandel

Für die Anpassung des Waldes an den Klimawandel gibt es verschiedene Ansätze (vgl. Brang et al. 2014; Rigling & Schaffer 2015):

Einerseits ist die Widerstandsfähigkeit der Wälder gegenüber Klimaextremen und biotischen Risiken wie beispielsweise den Borkenkäfern zu erhalten respektive zu erhöhen. Dies verringert das Risiko von grossflächigen Zusammenbrüchen der Wälder und trägt zur Sicherung der wichtigen Waldleistungen bei. Es gilt daher, störungsresistente, tiefwurzelnde und dem Standort angepasste Baumarten zu fördern und die Vitalität und Stabilität der Einzelbäume zu verbessern. Dazu eignen sich zielgerichtete Durchforstungen, um die Baumartenmischung zu regulieren und den verbleibenden Bäumen mehr Ressourcen wie Wasser, Nährstoffe und Licht zur Verfügung zu stellen.

Andererseits gilt es, die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu fördern, indem ihre genetische Vielfalt erhöht, die Vielfalt an Baumarten vergrössert und standortgerechte Baumarten – darunter auch heute seltene Baumarten – gefördert werden. Generell sollte Baumverjüngung bevorzugt werden, die zu einem Baumbestand führt, der mit den zu erwartenden Umweltbedingungen zurechtkommt.

Wald als Kohlenstoffspeicher

Eine Möglichkeit zur Minderung des Klimawandels ist, die Wirkung der Wälder als Kohlenstoffspeicher zu op-

Bäume im urbanen Raum

Bäume sind wichtige Elemente der Grünflächen im urbanen Raum nicht nur wegen ihrer Ästhetik, sondern auch wegen ihrem kühlenden Effekt während der heissen Sommermonate (s. a. Kap. 2.13 Urbaner Raum, S. 126, Kap. 3.8 Urbane Strategien zum Klimawandel, S. 186). Bäume können dazu beitragen, den sogenannten Wärmeinseleffekt in Städten und Agglomerationen zu mindern, wie Messungen in Basel am 16. Juli 2004 gezeigt haben. An diesem heissen Sommertag war die Oberflächentemperatur der Baumvegetation in Alleen und Pärken 7 bis 16 Grad Celsius kühler als diejenige von Strassen ohne Baumbestand und sogar bis 26 Grad Celsius kühler als die Temperaturen auf Dächern (Leuzinger et al. 2010). Der kühlende Effekt der Beschattung durch Bäume zeigt sich eindrücklich beim Vergleich von Wäldern und Wiesenflächen: Je wärmer es auf offenen Flächen ist, desto stärker ist der kühlende Effekt von Wäldern, insbesondere derjenige von Laub- und Mischwäldern. So konnte während der 11-tägigen Hitzeperiode im August 2003 in Wäldern im Durchschnitt eine bis 5,5 Grad Celsius tiefere Lufttemperatur nachgewiesen werden als auf offenen Flächen (Renaud & Rebetez 2009). Bäume könnten also einen wichtigen Beitrag leisten für eine Stadtentwicklung, die dem Klimawandel angepasst ist, aber auch die Lebensraumqualität verbessern und die biologische Vielfalt fördern kann.
In der Schweiz laufen aktuell zwei Pilotprojekte in Bern und in Sitten, die den Zusammenhang zwischen Klimawandel und Baumvegetation in Städten untersuchen und Möglichkeiten sowie Grenzen der Bewirtschaftung von Bäumen für eine klimaangepasste Stadtentwicklung aufzeigen (BAFU 2014).

Waldpolitik 2020

Mit der Waldpolitik 2020 stimmt der Bund die ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Ansprüche an den Wald aufeinander ab. Er stellt eine nachhaltige Bewirtschaftung sicher und schafft günstige Rahmenbedingungen für eine effiziente und innovative Wald- und Holzwirtschaft. Die Waldpolitik 2020 legt insgesamt elf Ziele fest. Diese betreffen das Holznutzungspotenzial, den Klimawandel, die Schutzwaldleistung, die Biodiversität, die Waldfläche, die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit der Waldwirtschaft, den Waldboden (inkl. Trinkwasser und Baumvitalität), den Schutz vor Schadorganismen, das Gleichgewicht von Wald und Wild, die Freizeit- und Erholungsnutzung sowie die Bildung und Forschung (inkl. Wissenstransfer). Für jedes Ziel formuliert die Waldpolitik 2020 mehrere strategische Stossrichtungen sowie verschiedene Massnahmen. Mit den Massnahmen ist in erster Linie der Bund in der Pflicht, es werden jedoch auch die Rolle der Kantone sowie weiterer Akteure angesprochen (Waldeigentümer, Bewirtschafter, Waldfachleute, Verbände etc.). Schliesslich werden auch die rechtlichen und finanziellen Auswirkungen der Waldpolitik 2020 aufgezeigt (BAFU 2015).

timieren und zu erhöhen (IPCC 2014/WGII). Dazu kann entweder die Waldfläche vergrössert oder der Kohlenstoffvorrat pro Fläche erhöht werden. Dies sind jedoch einmalige Massnahmen, die nicht wiederholt werden können.

In der Schweiz wächst zurzeit mit grosser Geschwindigkeit Wald in Weideflächen im Berggebiet ein. Dadurch wird der Kohlenstoffspeicher im Wald dauerhaft erhöht. Diese zusätzlichen Speicher sind aber gemessen an den fossilen Emissionen der Schweiz marginal und zudem bald erschöpft. Ein höherer Kohlenstoffvorrat pro Waldfläche geht zudem einher mit mehr, älteren und höheren Bäumen. Dies erhöht das Risiko von Windwurf bei Sturmextremen markant, womit die Nettoemissionen ansteigen und der Kohlenstoffspeicher im Wald in unregelmässigen Abständen stark reduziert wird, was zu einer Kohlenstoff-Quelle führt. Es ist daher nicht sinnvoll, den Flächenvorrat gesamtschweizerisch zu erhöhen, zumal die Schweiz bereits heute den europaweit höchsten Flächenvorrat an Holz im Wald aufweist.

Eine nachhaltige und effektive Strategie ist, die verschiedenen Kohlenstoffminderungseffekte von Wald und Holz zu kombinieren. Dies ist dann der Fall, wenn die CO_2-Einlagerung im Wald durch gezielte Bewirtschaftung hoch gehalten und fortwährend Holz für die Verarbeitung zu langlebigen Holzprodukten verwendet wird. Mit dem Verbauen von Holz beispielsweise in Häusern geht der im Holz eingelagerte Kohlenstoff in einen langfristigen Speicher über, was gleichzeitig auch die Substitution von CO_2-intensiven Baustoffen erlaubt.

Herausforderungen für die Schweiz

Wälder sind langlebig und entwickeln sich sehr langsam. Im Verlaufe ihres Lebens, vom Sämling bis zum Altbaum, sind Bäume somit wiederholt vielfältigen Risiken ausgesetzt, beispielsweise extremer Trockenheit, Sturm und Krankheiten. Wälder gelten daher als empfindlich gegenüber Veränderungen ihrer Umweltbedingungen wie zum Beispiel dem Klimawandel (s. a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77). Hinzu kommen sich ändernde ökonomische Rahmenbedingungen und sich rasch wandelnde gesellschaftliche Ansprüche an den Wald. Diese Faktoren können sich negativ auf die Bereitstellung der in der Schweiz besonders vielfältigen Waldleistungen auswirken. Ein grundlegendes Prinzip, mit solchen Unsicherheiten umzugehen, ist die Risikoverteilung und -minderung. Risikoverteilung bedeutet hier Förderung der Vielfalt bei Baumarten, Waldstrukturen und genetischen Ressourcen, während eine standortsangepasste Bewirtschaftung und ein allenfalls verkürztes Maximalalter der Wirtschaftswälder das Risiko von grossflächigen Waldschäden vermindern können (Rigling & Schaffer 2015). Dies erfordert aber zwangsläufig Kompromisse hinsichtlich der verschiedenen Waldleistungen. Speziell in Wirtschaftswäldern würde dies einen Paradigmenwechsel voraussetzen, indem die langfristige Minderung der Risiken prioritär gewichtet und kurzfristige Einbussen in der Holzproduktion in Kauf genommen werden müssten. Dies steht wiederum im Konflikt mit der aktuell schwierigen Finanzlage vieler Forstbetriebe und Waldbesitzer, die kurz- und mittelfristig auf Einkünfte aus dem Holzverkauf angewiesen sind.

Referenzen

BAFU (2014) **Pilotprojekte zur Anpassung an den Klimawandel: Cluster «Klimaangepasste Stadt- und Siedlungsentwicklung».** www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2015) **Waldpolitik 2020.** www.bafu.admin.ch/wald

Bircher N, Cailleret M, Bugmann H (2015) **The agony of choice: different empirical mortality models lead to sharply different future forest dynamics.** Ecological Applications 25: 1303–1318.

Brang P, Spathelf P, Larson JB, Boncina A, Chauvin C, Drössler L, Garcia-Güemes C, Heiri C, Kerr G, Lexer MJ, Mason B, Mohren F, Mühlethaler U, Nocentini S, Svoboda M (2014) **Suitability of close-to-nature silviculture for adapting temperate European forests to climate change.** Forestry 87: 492–503.

Bugmann H, Brang P, Elkin C, Henne P, Jakoby O, Lévesque M, Lischke H, Psomas A, Rigling A, Wermelinger B, Zimmermann NE (2014) **Climate change impacts on tree species, forest properties, and ecosystem services.** In: CH2014-Impacts, Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland. OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland: 79–88.

Bühlmann T, Hiltbrunner E, Körner C (2014) **Alnus viridis expansion contributes to excess reactive nitrogen release, reduces biodiversity and constrains forest succession.** Alpine Botany 124: 187–191.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Elkin C, Gutierrez AG, Leuzinger S, Manusch C, Temperli C, Rasche L, Bugmann H (2013) **A 2 °C warmer world is not safe for ecosystem services in the European Alps.** Global Change Biology 19: 1827–1840.

Gehrig-Fasel J, Guisan A, Zimmermann NE (2007) **Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment?** Journal of Vegetation Science 18: 571–582.

Hagedorn F, Shiyatov FG, Mazepa VS, Devi NM, Grygoriev AA, Bartyish AA, Fomin V, Kapralov D, Terentiev M, Bugman H, Rigling A, Moiseev PA (2014) **Treeline advances along the Urals mountain range – driven by improved winter conditions?** Global Change Biology 20: 3530–3543.

Jolly WM, Dobbertin M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps.** Geophysical Research Letters 32: L18409.

Körner C (2012) **Alpine treelines.** Springer, Basel.

Küchler M, Küchler H, Bedolla A, Wohlgemuth T (2014) **Response of Swiss forests to management and climate change in the last 60 years.** Annals of Forest Science 72: 311–320.

Leuzinger S, Zotz G, Asshoff R, Körner C (2005) **Responses of deciduous forest trees to severe drought in Central Europe.** Tree Physiology 25: 641–650.

Leuzinger S, Vogt R, Körner C (2010) **Tree surface temperature in an urban environment.** Agricultural and Forest Meteorology 150: 56–62.

Lévesque M, Rigling A, Bugmann H, Weber P, Brang P (2014) **Growth response of five co-occuring conifers to drought across a wide climatic gradient in Central Europe.** Agricultural and Forest Meteorology 197: 1–12.

Mina M, Martin-Benito D, Bugmann H, Cailleret M (2016) **Forward modeling of tree-ring width improves simulation of forest growth responses to drought.** Agricultural and Forest Meteorology 221: 13–33.

ProClim (ed.) (2005) **Hitzesommer 2003.** Synthesebericht. Bern, 28 pp.

Rebetez M, Mayer H, Dupont O, Schindler D, Gartner K, Kropp J, Menzel A, (2006) **Heat and drought 2003 in Europe: a climate synthesis.** Annals of Forest Science 63: 569–577.

Renaud V, Rebetez M (2009) **Comparison between open-site and below-canopy climatic conditions in Switzerland during the exceptionally hot summer 2003.** Agricultural and Forest Meteorology 149: 873–880.

Rigling A, Bigler C, Eilmann B, Mayer P, Ginzler C, Vacchiano G, Weber P, Wohlgemuth T, Zweifel R, Dobbertin M (2013) **Driving factors of a vegetation shift from Scots pine to pubescent oak in dry Alpine forests.** Global Change Biology 19: 229–240.

Rigling A, Schaffer HP (eds.) (2015) **Forest Report 2015. Condition and Use of Swiss Forests.** Federal Office for the Environment (FOEN), Bern, Swiss Federal Research Institute for Forest, Snow and Landscape (WSL), Birmensdorf, 143 pp.

Scherrer D, Bader MKF, Körner C (2011) **Drought-sensitivity ranking of deciduous tree species based on thermal imaging of forest canopies.** Agricultural and Forest Meteorology 151: 1632–1640.

Temperli C, Bugmann H, Elkin C (2013) **Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach.** Ecological Monographs 83: 383–402.

Vitasse Y, Hoch G, Randin CF, Lenz A, Kollas C, Körner C (2012) **Tree recruitment of Europen tree species at their current upper elevational limits in the Swiss Alps.** Journal of Biogeography 39: 1439–1449.

WSL (2015) **PorTree – A portrait of Central European tree species for Switzerland.** www.wsl.ch/lud/portree

2.10 Landwirtschaft

Mit dem Klimawandel steigt in der Landwirtschaft das Risiko von Ernteausfällen in wichtigen Produktionsgebieten, mit negativen Folgen für die Ernährungssicherheit der Bevölkerung in ärmeren Ländern. In der Schweiz werden kurzfristig sowohl positive wie negative Wirkungen auf die Erträge erwartet, längerfristig steigt aber auch hier das Risiko von Einbussen durch Hitze und Trockenheit.

Jürg Fuhrer (Agroscope)

Globale und nationale Situation

Das Produktionspotenzial in der Landwirtschaft wird massgeblich durch das durchschnittliche lokale und regionale Temperatur- und Niederschlagsregime bestimmt. Zudem unterliegt die aktuelle Produktion den Jahr-zu-Jahr-Schwankungen der Witterung. Es ist aber schwierig, Trends und Variabilität der Erträge ursächlich einzelnen Klimagrössen zuzuordnen; einerseits sind die Erträge zahlreichen Einflussfaktoren ausgesetzt, hauptsächlich jenen der Bewirtschaftung, andererseits stehen meist nur zeitlich begrenzte Datenreihen zur Verfügung. Die Verbindung zwischen Klimadaten und Erträgen kann allerdings mit Hilfe statistischer oder mechanistischer Modelle indirekt analysiert werden.

Weltweit sinkende Erträge

Im Vergleich zu früheren Berechnungen (Vierter IPCC-Sachstandsbericht) liefern die jüngsten Modellstudien gemäss des Fünften IPCC-Sachstandsberichts deutlichere Hinweise auf tiefere Erträge infolge der erfolgten Klimaänderung in den meisten Anbaugebieten – mit Ausnahme einiger nördlich gelegenen Regionen. Dies gilt besonders für Weizen und Mais, in geringerem Ausmass auch für Reis. Das bedeutet, dass der Anstieg der Temperatur während der letzten Jahrzehnte, allenfalls in Kombination mit Wassermangel, bereits ertragsmindernd gewirkt hat, und dass die negativen Wirkungen auf den Ertrag gegenüber den positiven heute überwiegen. Konkret ist dies der Fall beim Anbau von Mais in China und Brasilien oder beim Weizen in Indien, Russland und Frankreich (Lobell et al. 2011). Zudem kann global ein Drittel der jährlichen Ertragsschwankungen während der letzten Jahrzehnte statistisch mit Schwankungen im Klima erklärt werden, in einigen wichtigen Produktionsgebieten wie im mittleren Westen der USA, in Australien oder in Maisanbaugebieten Chinas sogar über 60 Prozent (Ray et al. 2015).

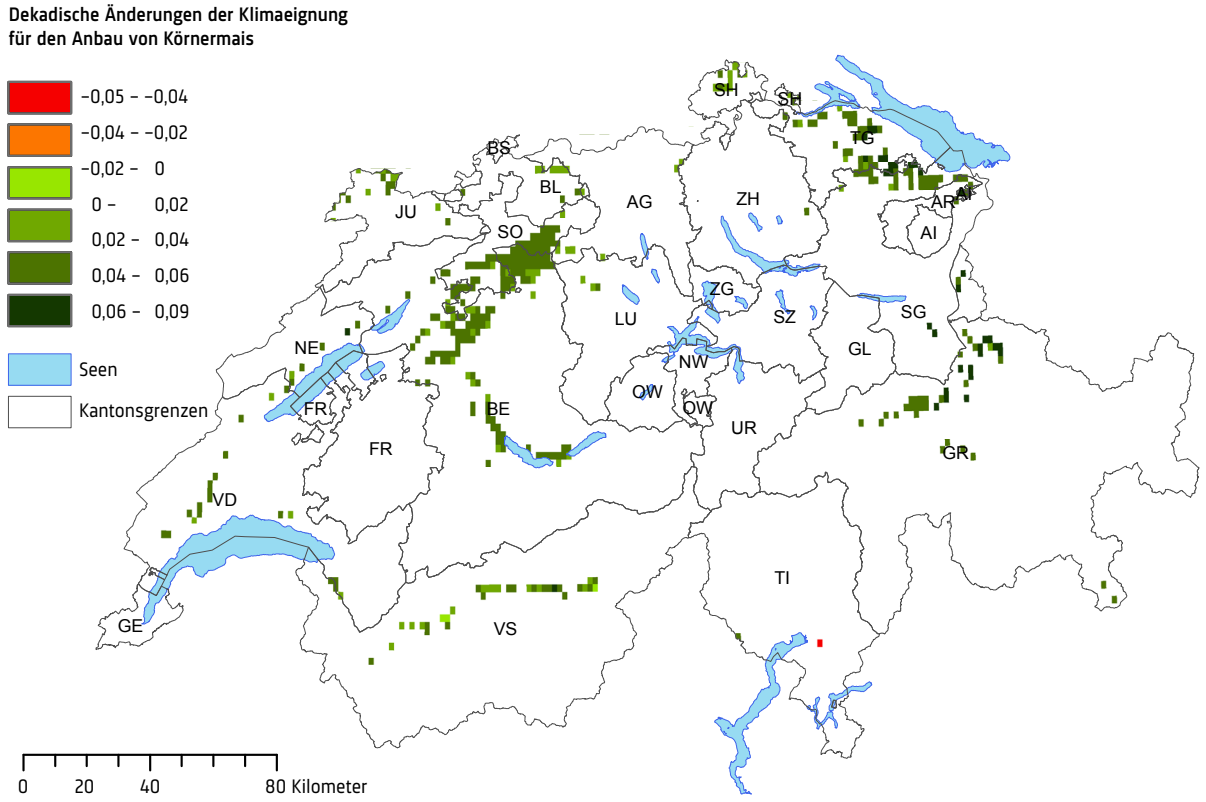
Hitzewellen und Dürreperioden in wichtigen Produktionsregionen führten zu kurzfristigen Ertragseinbrüchen, welche die Nahrungsmittelversorgung unter anderem in Teilen Asiens und Afrikas beeinträchtigten. Dies geschah jüngst bei der Produktion von Weizen und Reis in Russland, den USA und Australien. Gepaart mit anderen Faktoren, wie der Zunahme der Biotreibstoffproduktion, trugen solche Ereignisse zu einem Anstieg der Nahrungsmittelpreise auf dem Weltmarkt bei, und erschwerten so der Bevölkerung in ärmeren Importländern den Zugang zu Grundnahrungsmitteln (Willembockel 2012). Im Gegenzug konnten die Produzenten von höheren Preisen profitieren.

Schweiz: Einfluss politischer Entscheide war bisher grösser als jener des Klimawandels

In der Schweiz ist ein Einfluss des Temperaturanstiegs seit 1980 auf die Erträge von Ackerkulturen kaum feststellbar. Die Modellierung der Klimaeignung für den Anbau einzelner Kulturen lässt allerdings erkennen, dass sich die Bedingungen von 1980 bis 2010 in verschiedenen Regionen für Mais tendenziell verbessert, jene für Winterweizen verschlechtert haben (Abb. 2.15). Auch die Klima-

Welternährung

Die globale Nahrungsmittelproduktion basiert auf einer beschränkten Vielfalt von rund 150 Pflanzenarten. Davon liefern zwölf Sorten rund Dreiviertel der konsumierten Nahrungsmittel. Lediglich drei Sorten liefern über die Hälfte des Energiebedarfs: Mais, Weizen und Reis. Weitere 25 Prozent tragen Sorghum- und Millethirsen, Kartoffel, Süsskartoffel, Soja und Zuckerrohr bei.
Von der gesamten Produktion von Ackerkulturen dienen heute 62 Prozent der menschlichen Ernährung, 35 Prozent der Tierernährung und drei Prozent der Produktion von Energie und anderen industriellen Produkten.
Im Jahr 2050 werden mehr als neun Milliarden Menschen auf der Welt leben. Sie werden mehr Nahrung brauchen und mit wachsendem Wohlstand mehr Fleisch und Milchprodukte konsumieren, deren Produktion im Vergleich zur Pflanzenproduktion deutlich mehr Ressourcen verbraucht.



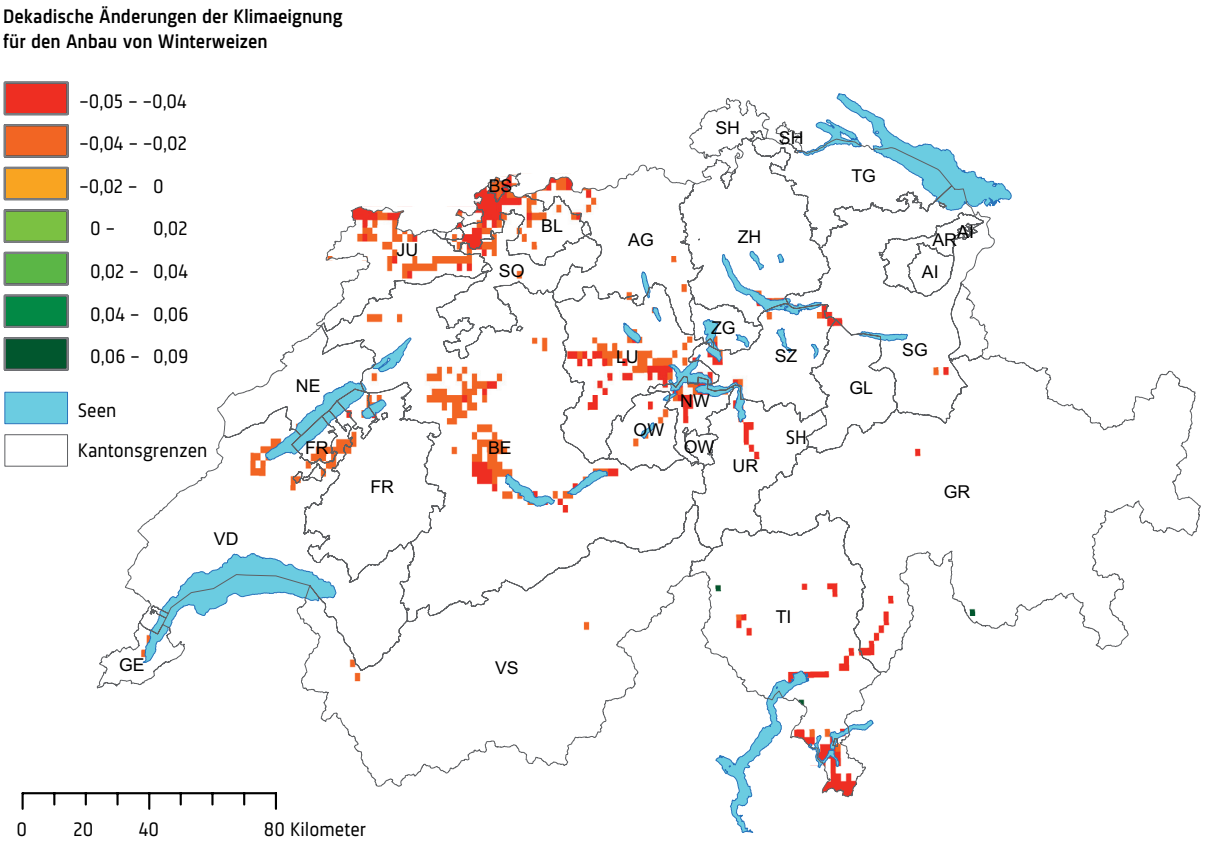


Abbildung 2.15: Änderung im Index der Klimaeignung für Mais (a) und Weizen (b) in Gebieten mit einem signifikanten Trend von 1983 bis 2010. (Quelle: Holzkämper et al. 2014)

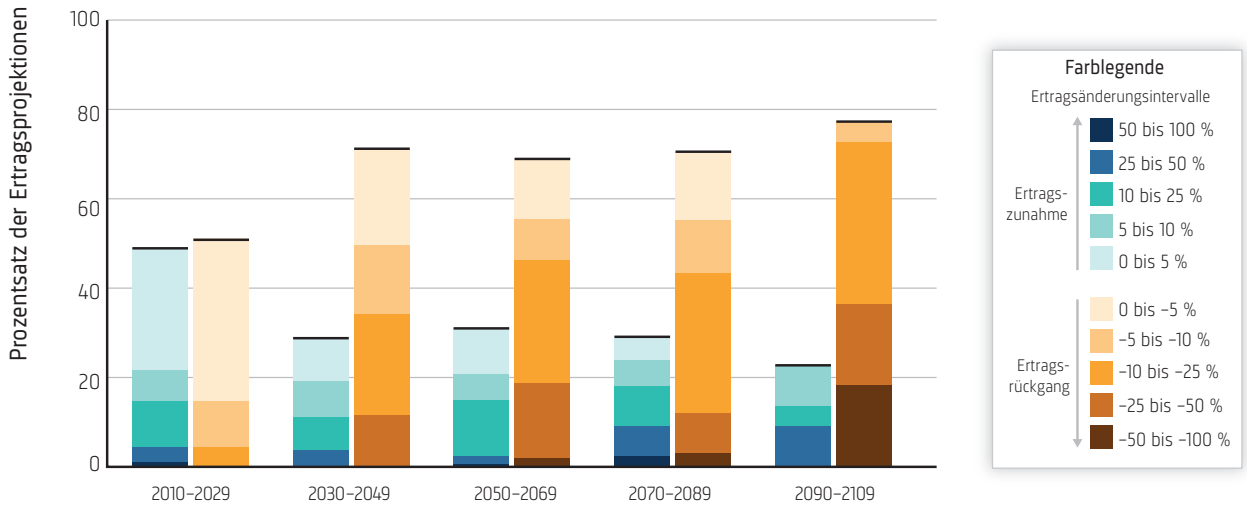


Abbildung 2.16: Relative Anteile der negativen und positiven Projektionen für Änderungen im Ertrag landwirtschaftlicher Kulturen für tropische und gemässigte Klimaregionen. Die Grafik vereint die Ergebnisse für verschiedene Emissionsszenarien sowie für Simulationen mit und ohne Anpassungsmassnahmen (Summe = 100%). Die Grafik zeigt, dass die Anteile der positiven Auswirkungen zunehmend sinken, während jene der negativen Auswirkungen steigen. Die Säulen sind aufgeteilt nach dem Ausmass der Ertragsveränderung (in Prozent) im Vergleich zu den Erträgen Ende des 20. Jahrhunderts. Nach 2050 überwiegen negative Ertragsveränderungen von mehr als fünf Prozent. (Quelle: IPCC 2014/WGII/Chap.7/Fig. 7-05)

eignung für den Rebbau hat sich in den letzten 30 Jahren verbessert und besonders anspruchsvolle Traubensorten profitierten von steigenden Temperaturen (Holzkämper et al. 2013). Im Gegensatz zum Einfluss des Klimawandels ist die Wirkung politischer Entscheide auf die Getreideerträge deutlicher erkennbar, zum Beispiel jene der Einführung der ökologischen Direktzahlungen (Finger 2010).

Hierzulande führten Jahre mit extremer Witterung in der jüngeren Vergangenheit nur bedingt zu spürbaren Veränderungen im Angebot und bei den Produktepreisen. Höhere Preise ergaben sich am ehesten bei regionalen Produkten, zum Beispiel beim Gemüse. Produktionsausfälle wie 2003 wurden teils durch zusätzliche Importe und Importerleichterungen kompensiert (Aussetzung der Zölle beim Tierfutter); in Härtefällen wurden Betriebshilfedarlehen zur Verfügung gestellt. Die Direktzahlungen des Bundes puffern zudem für Ackerbaubetriebe die Schwankungen im Betriebserfolg ab (Lehmann et al. 2013).

Verletzlichkeit

Künftige Veränderungen

Die weitere Entwicklung der klimabedingten Änderungen in der globalen Agrarproduktion wurde anhand der Kombination von Produktionsmodellen und regionalen Klimaprojektionen abgeschätzt. Die Ergebnisse unterliegen den Unsicherheiten im Emissions- und Klimaverlauf, in den agrartechnischen Entwicklungen sowie in den Modellen (Rosenzweig et al. 2014). Für die nächsten Jahrzehnte (2010–2029) zeigt die überwiegende Mehrzahl der Studien, dass sich die positiven und negativen Ertragstrends in etwa die Waage halten (Abb. 2.16). Mittelfristig (Jahre 2046–2065) werden bei ungebremster Emissionsentwicklung (RCP8.5) die negativen Wirkungen in zahlreichen temperierten Regionen der mittleren Breiten und besonders in tropischen Klimaregionen deutlich zunehmen, während für nördliche Breiten weiter positive Auswirkungen erwartet werden. Gegen Ende des Jahrhunderts überwiegen die negativen Ertragsprojektionen deutlich.

In der Schweiz dürfte sich im selben Zeithorizont die Erwärmung weiter positiv auf den Anbau von Mais auswirken, sofern Trockenheit nicht häufiger und auf einer grösser werdenden Fläche ertragslimitierend wirkt. Ebenso positiv entwickelt sich die Klimaeignung für den Rebbau (Holzkämper et al. 2013). Eher negativ wird sich diese Erwärmung auf andere Kulturen wie Winterweizen oder Kartoffeln auswirken. Mit der fortschreitenden Erwärmung dürfte auch der Schädlingsdruck zunehmen. Dieses Risiko wurde bisher noch wenig untersucht. Erste Ergebnisse für den Apfelwickler zeigen jedoch, dass in Zukunft in allen Gebieten jährlich mit zwei bis drei statt wie heute ein bis zwei Folgegenerationen gerechnet werden muss (Hirschi et al. 2012). Zudem wird die Kältebarriere am Alpenkamm schmaler und für invasive Arten besser überwindbar, wie am Beispiel der Wallnussfruchtfliege gezeigt wurde (Aluja et al. 2011).

Der Klimawandel betrifft auch die Tierproduktion. Diesem Bereich wurde im Gegensatz zur Pflanzenproduktion in den bisherigen Untersuchungen deutlich weniger Beachtung geschenkt. Dies obwohl bedeutende negative Auswirkungen auf Futterproduktion, Tiergesundheit sowie Menge und Qualität der tierischen Produkte erwartet werden (IPCC 2014/WGII/Chap. 7). In der Schweiz, mit einem bedeutenden Anteil an Grünland und einem hohen Wert der Fleisch- und Milchproduktion, müssen die Risiken bedingt durch zunehmenden Hitzestress bei Nutztieren vermehrt beachtet werden (Fuhrer & Calanca 2012). Mit der Erwärmung verlängert sich zwar die Vegetationsperiode, was sich positiv auf die Raufutterproduktion und die Wiesenbewirtschaftung auswirkt, sofern in Trockenperioden ausreichend Bewässerung verfügbar ist (Calanca & Fuhrer 2005). Die Tiere müssen aber vorsorglich vor Hitzestress und Wassermangel geschützt werden, um das Risiko von Leistungseinbussen, Krankheiten oder sogar erhöhter Mortalität zu mindern.

Extreme wirken sich auf Weltagrarhandel aus

Mit fortschreitendem Klimawandel werden weltweit negative Auswirkungen auf die Landwirtschaft überhand nehmen und die Ertragsstabilität sinken. Die im Zuge des Klimawandels auftretenden Temperaturextreme dürften häufiger über der physiologischen Toleranzgrenze der meisten Ackerkulturen zu liegen kommen. Damit könnte ein für eine ausreichende weltweite Agrarproduktion kritisches Mass der Klimaänderung erreicht werden. Tiefere und stärker schwankende Erträge in den Hauptproduktionsländern führen trotz wirtschaftlicher Anpassungseffekte zu höheren Weltmarktpreisen (Nelson et al. 2014) und zu stärkeren Preisschwankungen (Calzadilla et al. 2013). In Kombination mit global ändernden Ansprüchen an die Nahrungsmittelverfügbarkeit und -qualität (u. a. mehr tierisches Eiweiss) wird die Ernährungssicherheit für mehr Menschen gefährdet. Sofern die Agrarproduktion wegen des Klimawandels weiter sinkt und die jährlichen Schwankungen zunehmen, würde die Zahl der unterernährten Menschen bis 2050 deutlich steigen (WHO 2014). In vielen Gebieten würde dies den laufenden Anstrengungen zur Verbesserung der Ernährungssituation entgegenwirken. Betroffen wären insbesondere Kinder in Regionen Afrikas und Südasiens (Brown 2014). Zudem wird erwartet, dass die Qualität der Diät vieler Menschen durch den Klimawandel verschlechtert wird und dadurch die Zahl von ernährungsbedingten Todesfällen in vielen Regionen bis 2050 ansteigen wird (Springmann et al. 2016).

Besonders schwierig würde die Situation nach 2050 bei ungebremster Emissionsentwicklung (RCP8.5) mit einer Erwärmung von durchschnittlich vier Grad Celsius bis Ende Jahrhundert, verbunden mit häufigen Extremen. Gleichzeitig wird der Bedarf nach tierischen Produkten weltweit weiter steigen, besonders in Schwellenländern mit einem starken Bevölkerungswachstum und steigenden Ansprüchen an die Qualität der Lebensmittel.

Anpassung

Massnahmen zur Anpassung können den negativen Auswirkungen des fortschreitenden Klimawandels in beschränktem Mass entgegen wirken und helfen, positive Auswirkungen zu nutzen. Mögliche Massnahmen der ackerbaulichen Praxis sind unter anderem (s. a. Fuhrer & Gregory 2014):

- Züchtung und Einsatz von Sorten für ein breites Spektrum von Nutzpflanzen mit höherer Temperatur-, Trockenheits- und Schädlingstoleranz,
- verschieben der Zeiträume für den Anbau,
- zusätzliche Bewässerung im Rahmen einer nachhaltigen Wasserbewirtschaftung,
- schonende Bodenbearbeitung zur Verbesserung des Bodenwasserhaushalts,
- Einführung von Agroforstsystemen, das heisst einer Kombination von mehrjährigen Holzpflanzen und landwirtschaftlichen Kulturen und
- gezielte Information zur Unterstützung der Entscheidungsfindung.

Modellrechnungen zeigen, dass mit solchen Massnahmen, angepasst an die lokalen Bedingungen und Bedürfnisse, klimabedingte Ertragseinbussen reduziert werden können (Challinor et al. 2014). Viele Anpassungsmassnahmen haben generellen Charakter und spielen sowohl im Ausland wie in der Schweiz eine zunehmend wichtige Rolle. Wasser ist auch hierzulande eine begrenzt nutzbare Ressource. Bei steigendem Bedarf nach Wasser durch ein wärmeres und trockeneres Klima wird der schonende Umgang durch den Einsatz effizienter Technik und ein angepasstes Betriebsmanagement wichtiger (Fuhrer et al. 2013). Gleichzeitig muss auch den Auswirkungen von zunehmenden Starkniederschlägen vorgebeugt werden. Deshalb sind Massnahmen wie unter anderem eine schonende Bodenbearbeitung zur Verhinderung von Bodenabtrag nötig.

Anpassungen der Produktionssysteme können laufend und regional oder lokal priorisiert realisiert werden. Sie erfolgen entweder innerhalb der existierenden Strukturen oder in Form von tiefgreifenden Systemänderungen. Letztere schliessen eine stärkere Diversifizierung der bäuerlichen Betriebe und die Verschiebung von Anbauzonen ein. Um der zunehmenden Schwankungen von Produktion und Preisen entgegenzuwirken, sind verschiedene Massnahmen wichtig: Vergrösserung der Reserven, Diversifi-

zierung der Produktion, Anpassungen bei der Lagerung und Verteilung der Grundnahrungsmittel sowie ein verbesserter Versicherungsschutz der Produzenten.

Wie hoch das Potenzial zur Vermeidung negativer Auswirkungen des Klimawandels letztlich ist, bleibt unsicher. Es könnte deutlich höher liegen als aufgrund des heutigen Sachstandes angenommen wird. In wirtschaftlich schwächeren Regionen der Welt kommt der Erhöhung der Anpassungsfähigkeit besondere Bedeutung zu; sie bedingt Verbesserungen bei Wissenstransfer, Investitionen, verbesserte politische und soziale Strukturen und einen vereinfachten Marktzugang.

In der Schweiz sind die Möglichkeiten für eine Anpassung vergleichsweise gross und Massnahmen in der Landwirtschaft können durch Anreizsysteme, Auflagen für Direktzahlungen oder über die Preispolitik gesteuert werden. Zunehmend wird die Frage eines Versicherungsschutzes gegenüber Witterungsrisiken diskutiert. Die Grundlagen für index-basierte Versicherungen gegen Schäden durch Trockenheit wurden erarbeitet (Kapphan et al. 2012) und erste Versicherungsprodukte sind am Entstehen (Schweizer Hagel 2016). Zudem wird der Ausbau der Bewässerung durch eine effiziente Infrastruktur in einzelnen Regionen geplant, zum Beispiel im Berner Seeland. Dazu gehören verlustarme Bewässerungsnetze mit Anschluss an ausgiebige Reservoire wie grössere Flüsse und Seen, die Steuerung der Bewässerungsmenge, so dass sie dem tatsächlichen Bedarf entspricht sowie eine bodennahe Wasserverteilung zum Beispiel durch Tropfbewässerung.

Herausforderungen für die Schweiz

In der Schweiz wurden 2012 bezogen auf die Energiemenge netto[1] rund 55 Prozent des inländischen Bedarfs im Land selbst produziert. Dies ist im Vergleich mit der EU ein tiefer Selbstversorgungsgrad. Die Schweiz importiert hauptsächlich pflanzliche Produkte wie Früchte, Gemüse, Getreide und Fette und dies zumeist aus EU-Ländern. Mit der wachsenden inländischen Bevölkerungszahl nimmt der Nahrungsbedarf zu, was bedeutet, dass zum Erhalt des Netto-Selbstversorgungsgrades bei abnehmender Landwirtschaftsfläche künftig eine Steigerung der Produktivität nötig sein wird. Andernfalls nimmt die Abhängigkeit von Nahrungs- und Futtermittelimporten aus dem Ausland weiter zu und damit auch der Einfluss von Preisschwankungen auf den internationalen Agrarmärkten. Die Herausforderung besteht darin, diese Steigerung unter Schonung der natürlichen Grundlagen (Boden, Wasser, Luft und Klima) und der biologischen Vielfalt zu realisieren, und gleichzeitig die negativen wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels abzufedern sowie neue Möglichkeiten zu nutzen. Besonders hoch ist die Treibhausgasemission der tierischen Produkte (Fleisch und Molkereierzeugnisse), mit einem im Vergleich zu den pflanzlichen Produkten in der Schweiz geringen Importanteil (Bretscher et al. 2014). Eine Umstellung hin zu einer zunehmend vegetarisch orientierten Ernährung wäre daher für die Schweiz günstig.

Eine zentrale Aufgabe wird die künftige Bewirtschaftung der Ressource Wasser sein.[2] Bereits heute ist im Mittelland, im Tessin und in inneralpinen Tallagen Bewässerung nötig (Fuhrer & Jasper 2009). In vielen voralpinen Einzugsgebieten werden die sommerlichen Abflüsse zurückgehen (Köplin et al. 2012; Fuhrer & Calanca 2014) (s. a. Kap. 2.4 Wasser, S. 84). Bei einem steigenden Bedarf an Bewässerung zur Sicherung von Ertrag und Qualität bei Acker- und Spezialkulturen (Obst- und Rebbau) sowie im Futterbau entsteht vermehrt Konkurrenz mit anderen Wassernutzern um ein knapper werdendes Wasserdargebot (Lanz et al. 2014). Möglichkeiten, den Bedarf nach Bewässerung zu mindern, sind nebst der Verbesserung der Bewässerungseffizienz auch Verschiebungen im Mix der angebauten Kulturen hin zu mehr Winterkulturen wie Winterraps oder -gerste und eine Bodenbearbeitung, welche die Bodenstruktur schont und die Wasserrückhaltung fördert.

Aber auch die Organisation der Kulturlandschaft muss überdacht werden: Anspruchsvolle Kulturen sollten dort angebaut werden, wo die Bedingungen in Bezug auf Klima- und Bodeneignung sowie Zugang zu nachhaltig nutzbaren Wasserressourcen günstig sind. Zudem können Landwirtschaftsbetriebe aufgrund von Änderungen im Wasserpreis oder durch die Einführung von Entnahmekontingenten dazu gebracht werden, Massnahmen zur Minderung ihres Wasserverbrauchs zu ergreifen, womit künftig die Übernutzung der Gewässer und einige mit einer intensiven Bewässerung verbundenen Umweltwirkungen verhindert werden, ohne dass dadurch der Betriebserfolg wesentlich geschmälert wird (Fuhrer et al. 2013).

1 Netto bedeutet hier, dass nur jener Anteil der Inlandproduktion berücksichtigt wird, der mit inländischen Futtermitteln produziert wurde.

2 Siehe auch www.nfp61.ch

Referenzen

Aluja M, Guillén L, Rull R, Höhn H, Frey J, Graf B, Samietz J (2011) **Is the alpine divide becoming more permeable to biological invasions? – Insights on the invasion and establishment of the Walnut Husk Fly, Rhagoletis completa (Diptera: Tephritidae) in Switzerland.** Bulletin of Entomological Research 101: 451–465.

Bretscher D, Leuthold-Stärfl S, Felder D, Fuhrer J (2014) **Treibhausgasemissionen aus der schweizerischen Land- und Ernährungswirtschaft.** Agrarforschung Schweiz 5: 458–465.

Brown ME (2014) **Food Security, Food Prices and Climate Variability.** Routledge, New York.

Calzadilla A, Rehdanz K, Betts R, Falloon P, Wiltshire A, Tol RSJ (2013) **Climate change impacts on global agriculture.** Climatic Change 120: 357–374.

Challinor AJ, Watson J, Lobell DB, Howden SM, Smith DR, Chhetri N (2014) **A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation.** Nature Climate Change 4: 287–291.

Finger R (2010) **Evidence of slowing yield growth – the example of Swiss cereal yields.** Food Policy 35: 175–182.

Fuhrer J, Calanca P (2012) **Klimawandel beeinflusst das Tierwohl bei Milchkühen.** Agrarforschung Schweiz 3: 132–139.

Fuhrer J, Calanca P (2014) **Bewässerungsbedarf und Wasserdargebot unter Klimawandel: eine regionale Defizitanalyse.** Agrarforschung Schweiz 5: 256–263.

Fuhrer J, Gregory PJ (eds.) (2014) **Climate Change Impact and Adaptation in Agricultural Systems.** CABI Climate Change Series.

Fuhrer J, Jasper K (2009) **Bewässerungsbedürftigkeit von Acker- und Grasland im heutigen Klima.** Agrarforschung Schweiz 16: 396–401.

Fuhrer J, Tendall D, Klein T, Lehmann N, Holzkämper A (2013) **Water demand in Swiss Agriculture – Sustainable Adaptive Options for Land and Water Management to Mitigate Impacts of Climate Change.** ART Schriftenreihe 19: 56.

Hirschi M, Stoeckli S, Dubrovsky M, Spirig C, Calanca P, Rotach MW, Fischer AM, Duffy B, Samietz J (2012) **Downscaling climate change scenarios for apple pest and disease modeling in Switzerland.** Earth System Dynamics 3: 33–47.

Holzkämper A, Fossati D, Hiltbrunner J, Fuhrer J (2014) **Spatial and temporal trends in agroclimatic limitations to production potentials for grain maize and winter wheat in Switzerland.** Regional Environmental Change 15: 109–122.

Holzkämper A, Fuhrer J, Frei C (2013) **Temperaturtrends und Rebbau in der Schweiz.** Schweizer Zeitschrift für Obst- und Weinbau 149: 6–9.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 7 «Food security and food production systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kapphan I, Calanca P, Holzkaemper A (2012) **Climate change, weather insurance design and hedging effectiveness.** The Geneva Papers 37: 286–317.

Köplin N, Schädler B, Viviroli D, Weingartner R (2012) **Relating climate change signals and physiographic catchment properties to clustered hydrological response types.** Hydrology and Earth System Sciences 16: 2267–2283.

Lanz K, Fuhrer J, Haeberli W, Stamm C (2014) **Steigender Nutzungsdruck im Wasserschloss.** Aqua & Gas 11: 24–29.

Lehmann N, Briner S, Finger R (2013) **The impact of climate and price risks on agricultural land use and crop management decisions.** Land Use Policy 35: 119–130.

Lobell DB, Schlenker W, Costa-Roberts J (2011) **Climate trends and global crop production since 1980.** Science 333: 616–620.

Nelson GC, Valin H, Sands RD, Havlík P, Ahammad H, Deryng D, Elliott J, Fujimori S, Hasegawa T, Heyhoe E, Kyle P, Lampe von M, Lotze-Campen, Mason d'Croz, van Meijl H, van der Mensbrugghe D, Müller C, Popp A, Robertson R, Robinson S, Schmid E, Schmitz C, Tabeau A, Willenbockel D (2014) **Climate change effects on agriculture: economic responses to biophysical shocks.** PNAS 111: 3274–3279.

Ray DK, Gerber JS, MacDonald GK, West PC (2015) **Climate variation explaines a third of global crop yield variability.** Nature Communications 6: 5989.

Rosenzweig C, Elliott J, Deryng D, Ruane AC, Müller C, Arneth A, Boote KJ, Folberth C, Glotter M, Khabarov N, Neumann K, Piontek F, Pugh TAM, Schmid E, Stehfest E, Yang H, Jones JW (2014) **Assessing agricultural risks of climate change in the 21st century in a global gridded crop model intercomparison.** PNAS 111: 3268–3273.

Schweizer Hagel (2016) **Produkte: Die APV+.** www.hagel.ch/de/produkte/apv

Springmann M, Mason-D'Croz D, Robinson S, Garnett T, Godfray HCJ, Douglas G, Rayner M, Ballon P, Scarborough P (2016) **Global and regional health effects of future food production under climate change: a modelling study.** The Lancet 387: 1937–1946.

WHO (2014) **Quantitative risk assessment of the eff ects of climate change on selected causes of death, 2030s and 2050s.** Geneva: World Health Organization, 128 pp.

Willenbockel D (2012) **Extreme weather events and crop price spikes in a changing climate.** Oxfam Research Reports, September 2012.

2.11 Tourismus

Der Klimawandel führt bereits heute zu einer Verschlechterung der Schneebedingungen im Winter. Darunter leidet auch der Schweizer Tourismus, insbesondere die Wintersportgebiete unterhalb von 2000 Metern. Das steigende Naturgefahrenpotenzial und Landschaftsveränderungen erhöhen die Verletzlichkeit des Schweizer Tourismus und können im Schadensfall hohe direkte und indirekte Kosten verursachen. Chancen ergeben sich für den Schweizer Tourismus unter anderem durch die Verlängerung der Sommersaison in den Frühling und Herbst hinein. Insgesamt wird sich der Tourismus in der Schweiz in verschiedenen Bereichen und Regionen anpassen müssen; insbesondere sind neue und erweiterte Angebote gefragt, die unabhängig von Schnee sind. Oberste Priorität haben jedoch Anpassungsmassnahmen, um mögliches Schadenspotenzial zu minimieren.

Martine Rebetez (Universität Neuenburg und WSL), Therese Lehmann Friedli (Universität Bern)

Globale und nationale Situation

Im Bereich des Tourismus sind global gesehen der Küstentourismus, der ländliche/alpine Tourismus und der Skitourismus vom Klimawandel am stärksten betroffen. Im Winter führt die Klimaänderung bereits heute zu einer Verschlechterung der Schneebedingungen in tieferen Lagen und allgemein im Norden: in Kanada, Skandinavien und im europäischen Alpenraum einschliesslich der Schweiz (IPCC 2014/WGII). Verlierer im Alpenraum sind insbesondere Wintersportgebiete unterhalb 2000 Meter über Meer.

Soll die Schneesicherheit[1] in diesen Regionen aufrechterhalten werden, müssen hohe Summen in die technische Beschneiung investiert werden, die ihrerseits mit einem hohen Ressourcenverbrauch (Energie, Wasser) einhergeht.

Im Sommer sind im Norden und in höheren Lagen, beispielsweise in den Schweizer Alpen, durch höhere Temperaturen positive Auswirkungen auf den Tourismus zu erwarten. In der Schweiz dürften Seenregionen und alpine Regionen von einer in den April und Mai und vor allem in den September und Oktober verlängerten Sommersaison profitieren (IPCC 2014/WGII; Perch-Nielsen et al. 2010; Serquet & Rebetez 2011). Sommerliche Trockenperioden könnten sich zudem in den höheren Lagen positiv auf touristische Outdoor-Aktivitäten auswirken.

In südlichen Tourismusregionen hingegen könnten zunehmende Hitze- und Trockenperioden im Sommer zu einem Nachfragerückgang beziehungsweise zu einer Verschiebung der Gästeströme in die Herbstmonate führen. Dies gilt insbesondere für Küstengebiete, so zum Beispiel im Mittelmeerraum.

1 30 Zentimeter Schneedecke während 100 Tagen in mindestens sieben von zehn Jahren.

Verletzlichkeit

Schleichende Veränderungen

Schleichende Klimaänderungen stellen den Tourismussektor weltweit vor Herausforderungen, die jedoch immer wieder in den Hintergrund gedrängt werden von den Herausforderungen durch kurzfristig eintretende oder unerwartete Ereignisse anderer Ursache. Kleine Betriebe und Tourismusunternehmen nehmen den Klimawandel auf kurze Sicht als geringe Bedrohung wahr verglichen mit den anderen Geschäftsrisiken, denen sie ausgesetzt sind (IPCC 2014/WGII/Chap.9). Wenn beispielsweise die Gäste aus dem Euroraum wegen des starken Frankens nicht in die Schweiz kommen, bedroht dies viele touristische Leistungsträger in ihrer Existenz – Massnahmen zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit stehen dann zuoberst auf der Agenda.

Wintertourismus unter Druck

Die Verletzlichkeit des Schweizer Tourismus durch den Klimawandel ist hauptsächlich in Gegenden und Jahreszeiten gross, in denen die touristischen Aktivitäten vom Schnee abhängig sind. Die Winter werden milder, was vor allem in tieferliegenden Regionen sowie zu Beginn und am Ende der Wintersaison zu einer Abnahme der natürlichen Schneesicherheit führt, und dies trotz einer tendenziellen Zunahme der Winterniederschläge (s. a. Kap. 1.6 Temperatur, S. 40, Kap. 1.7 Wasserkreislauf, S. 46) (CH2014-Impacts 2014; Serquet et al. 2013; Klein et al. 2016). Dies kann dazu führen, dass sich Wintersportler vermehrt für Tagesausflüge statt Skiferien oder für höhergelegene Wintersportgebiete entscheiden, um kurzfristig auf die herrschenden Schneebedingungen reagieren zu können. Im ohnehin rückläufigen Skitourismus übt ein Rückgang des wertschöpfungsstarken Übernachtungstourismus weiteren Druck auf die Anbieter aus, da Tagestouristen weniger Wertschöpfung generieren (Lehmann 2013).

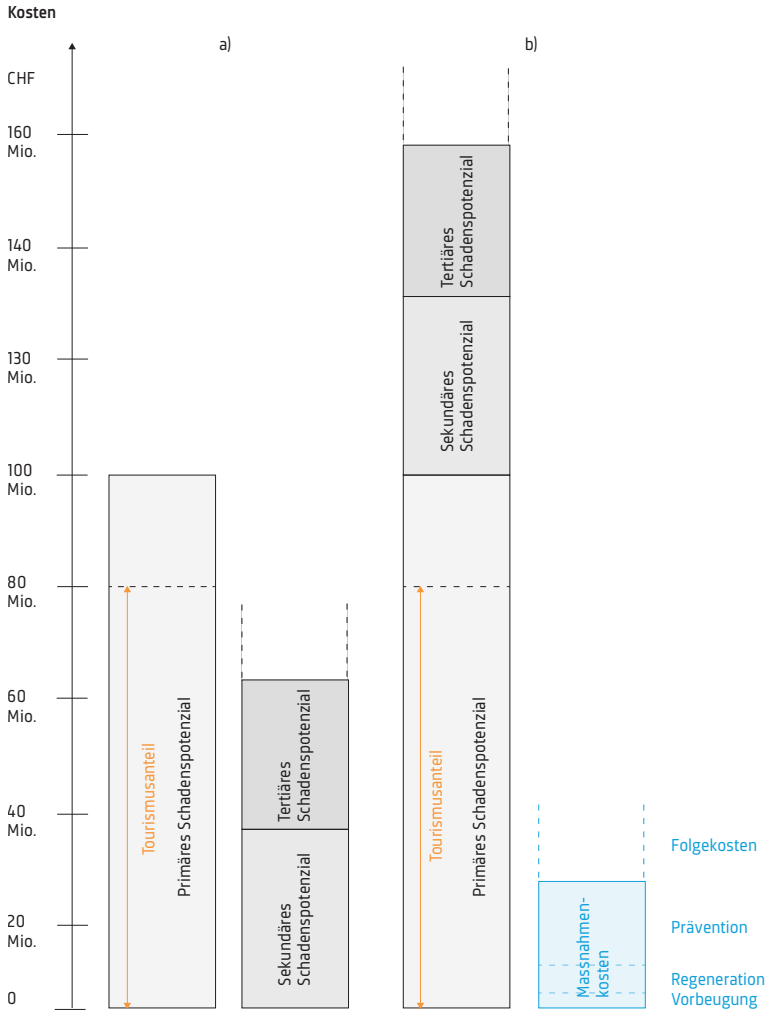


Abbildung 2.17: Kosten-Nutzen-Analyse für den Stollen Grindelwald. a) Gegenüberstellung von direktem (primärem) Schadenspotenzial wie Schäden an Gebäuden und Infrastruktur und indirektem Schadenspotenzial wie Betriebsausfälle (sekundäres Schadenspotenzial) oder Imagekosten (tertiäres Schadenspotenzial). b) Gegenüberstellung von gesamtem Schadenspotenzial und Kosten für Anpassungsmassnahmen (Bau des Stollens und weitere Massnahmen, wie die Einrichtung von Frühwarnsystemen oder die Erstellung von Evakuierungskonzepten). Die potenziellen Schadenskosten übersteigen die Anpassungsmassnahmen um ein Vielfaches. (Quelle: Lehmann & Schaub 2013)

Da in den Skiregionen ein beträchtlicher Anteil des Jahresumsatzes zwischen Weihnachten und Neujahr generiert wird, ist bereits jetzt das unsichere Einschneien im Dezember eine Herausforderung (Serquet et al. 2013). Eine Studie für den Kanton Graubünden zeigt für das Jahr 2035 im Szenario ohne explizite Massnahmen zum Klimaschutz (kurz: Referenzszenario) SRES-A2, dass über Weihnachten in 70 Prozent der Skigebiete die natürliche Schneesicherheit nicht mehr gegeben sein wird (CH2014 2014). Mit ihren vielen hoch gelegenen Skigebieten verfügen Graubünden und auch das Wallis im Vergleich mit österreichischen Skigebieten jedoch diesbezüglich über komparative Vorteile. Diese gehen aber mit einem grossen Aufwand an technischer Beschneiung im November und Dezember einher (Steiger & Abegg 2013). Insgesamt dürften aufgrund der höheren Temperaturen die Tage, an denen eine Beschneiung möglich ist, zurückgehen (CH2014 2014).

Landschaftsveränderungen und steigendes Naturgefahrenpotenzial erhöhen Verletzlichkeit

Die Verletzlichkeit im Tourismus wächst durch den Rückgang von Gletschern und dem Auftauen von Permafrost und als Folge davon auch durch Landschaftsveränderungen und ein steigendes Naturgefahrenpotenzial. Die Tourismusbranche muss damit rechnen, dass solche Klimafolgen – wenn auch regional sehr unterschiedlich – zu Veränderungen von touristischen Attraktionen und Aktivitäten führen.

Insbesondere im Sommer ist und bleibt die Landschaft für den Tourismus eines der wichtigsten Angebotselemente. Inwiefern sich die Attraktivität der Landschaft durch den Klimawandel verändert, ist kaum zu prognostizieren. Beispielsweise könnten neue Gletscherseen zu einer Aufwertung der Landschaft führen, hingegen die zunehmende Kargheit durch grosse Geröllfelder, die durch den Rückzug der Gletscher oder durch grossflächige Felsstürze entstehen, zu einer Abwertung (Haeberli et al. 2013; Lehmann 2013). Mit dem Verschwinden eines Gletschers kann auch ein zentrales Marketingelement verschwinden, was die Attraktivität der entsprechenden Destination schmälert. Und doch haben menschliche Eingriffe in die Landschaft einen grösseren Einfluss als der Klimawandel.

Bei Naturgefahrenereignissen können indirekte Schadenskosten durch Attraktivitäts- oder Imageverlust auf lange Sicht durchaus hoch ausfallen, wenn Gäste ausbleiben, da sie die Destination aufgrund eines Ereignisses als gefährlich einschätzen (Abb 2.17; tertiäre Kosten). Eine Kosten-Nutzen-Analyse am Fallbeispiel «Stollen Grindelwald» bestätigt dies: Ohne Anpassungsmassnahmen würden bei einem Ausbruch des Gletschersees nebst den direkten Schadenskosten an Infrastruktur und Gebäuden zusätzlich mehr als die doppelten Kosten für indirekte Schäden wie Imageveränderung und Betriebsausfälle entstehen. Grundsätzlich ist der klimabedingte Anteil an den gesamten Schadenskosten eines Na-

turgefahrenereignisses allerdings schwierig abzuschätzen (Haeberli et al. 2013; Lehmann 2013).

Verteilung von Wasser wird zum Thema
Stärker in den Vordergrund treten wird die Wasserversorgung, speziell die Frage nach einer gerechten Verteilung der Wasserressourcen – dies besonders in der Zeit nach 2050, wenn das bisher im Sommer durch die Gletscherschmelze vorhandene Wasser fehlen wird. Speicherseen, die bisher den Wasserkraftunternehmen zur alleinigen Nutzung zur Verfügung standen, werden vermehrt auch anderen Nutzern zur Verfügung gestellt werden müssen. Im Bereich Tourismus könnte der Wasserbedarf wegen der Produktion von technischem Schnee steigen (Weingartner et al. 2014).

Verlängerung der Zwischensaisons
Die Temperaturvariabilität wird zwar nicht abnehmen, aber im Frühling werden immer früher sommerliche Bedingungen herrschen, die auch weiter in den Herbst reichen. Daraus bieten sich Chancen, das saisonale Tourismusangebot auszudehnen und die touristisch weniger frequentierten Zwischensaisons besser auszulasten. Potenzielle Gästegruppen sind in dieser Zeit insbesondere ältere Reisende, deren Zahl zunimmt sowie Gästegruppen von ausserhalb Europas.

Extreme

Die allgemeine Temperaturzunahme im Sommer wird in der Schweiz zu häufigeren Hitzeperioden führen (CH2014-Impacts 2014) (s. a. Kap. 1.6 Temperatur, S. 40, Kap. 1.8 Klima- und Wetterextreme, S. 52). Die in tiefee ren Lagen und explizit in südlichen Regionen wie dem Tessin oder dem Mittelmeerraum herrschende Hitze kann Touristen von Juni bis August in höhere Gegenden locken («Sommerfrische»). Steigende Zahlen der Hotellogiernächte zeigen, dass diese Gegenden davon durchaus profitieren könnten (Serquet & Rebetez 2011).

Intensive Niederschlagsereignisse werden in Kombination mit der steigenden Schneehöhe, dem Abschmelzen der Gletscher sowie dem Auftauen von Permafrostböden das Risiko von Naturgefahren (Überschwemmungen, Murgänge oder Erdrutsche) erhöhen. Dies kann im alpinen Tourismus zunehmend zu Infrastrukturschäden, zu Betriebsausfällen oder gar zu Imageverlust führen (Lehmann 2013).

Anpassung

Einige Folgen der Klimaänderung können zum Vorteil für den alpinen Tourismus werden, sofern sie zur touristischen Weiterentwicklung einer Region genutzt und zur Geltung gebracht werden. Dabei spielen Massnahmen in den Handlungsfeldern Angebotsentwicklung, Gefahrenminimierung und Kommunikation eine zentrale Rolle, um die negativen Auswirkungen zu verringern (Müller & Lehmann 2010). Bei der Entwicklung neuer Angebote könnten beispielsweise klimaunabhängige Angebote wie Festivals geschaffen werden. Zudem gilt es möglichst nachhaltige Techniken in der Beschneiung zu fördern. Im Bereich der Kommunikation sind mit Klimalehrpfaden oder geführten Exkursionen zudem Schulungsbeispiele möglich, die eine Gelegenheit bieten, die Spuren des Klimawandels aufzuzeigen und die Touristen für das Thema zu sensibilisieren. Oberste Priorität haben im Bereich Anpassung jedoch Massnahmen zur Gefahrenminimierung, wie die erwähnte Kosten-Nutzen-Analyse «Stollen Grindelwald» zeigt (Abb. 2.17).

Die Mehrheit der bereits umgesetzten Anpassungsmassnahmen im Bereich Tourismus wurde durch private Akteure initiiert und finanziert. In Zukunft werden auch die öffentlichen Akteure zunehmend zur Kasse gebeten, wenn umfangreiche planerische, organisatorische und bauliche Massnahmen notwendig werden. Präventiv geht es beispielsweise um den Ausbau von Schutzgebieten, um die Entwicklung weiterer Naturgefahrenszenarien für Regionen, die Förderung von Lehre und Forschung zu Anpassungsprozessen, die Bildung und Koordination von Gremien zum Erfahrungsaustausch oder die Erarbeitung von Handlungskonzepten. Dies erfordert eine Bewertung der möglichen Anpassungsmassnahmen nach Kriterien wie Zusatznutzen, Priorität, Machbarkeit, Effektivität, Akzeptanz und Kosteneffizienz (IPCC 2014/WGII; Lehmann 2013).

Herausforderungen für die Schweiz

Insgesamt wird sich der Tourismus in der Schweiz in verschiedenen Bereichen und Regionen anpassen müssen. Besonders betroffen ist der Wintertourismus in mittleren Lagen, der in der wertschöpfungsstarken Zeit zwischen Weihnachten und Neujahr durch vermehrten Schneemangel betroffen sein wird. Dies erfordert vor allem neue und erweiterte schneeunabhängige Angebote. Im Sommer werden tiefe Lagen zunehmend von Hitzeperioden betroffen sein. Aufgrund der herrschenden Sommerfrische in alpinen Regionen und der mediterranen Atmosphäre in Seenregionen werden diese Gebiete attraktiver für den Tourismus, was mit entsprechenden Angeboten vermarktet werden kann. Wie in anderen Bereichen haben auch für den Tourismus Massnahmen im Bereich der Gefahrenminimierung oberste Priorität, da potenzielle Schadenskosten beispielsweise durch einen Gletscherseeausbruch, die Kosten von Anpassungsmassnahmen um ein Vielfa-

ches übersteigen können. Dies deshalb, weil im Tourismus bei einem Schadensereignis nebst den direkten Kosten an Gebäuden und Infrastruktur auch Betriebsausfälle und Imageschäden stark ins Gewicht fallen.

Referenzen

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland**. Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

Haeberli W, Bütler M, Huggel C, Müller HR, Schleiss A (eds.) (2013) **Neue Seen als Folge des Gletscherschwundes im Hochgebirge – Formation de nouveaux lacs suite au recul des glaciers en haute montagne – Chancen und Risiken – chances et risques**. Nationales Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61).

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 9 «Rural Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Klein G, Vitasse Y, Rixen C, Marty M, Rebetez M (2016) **Shorter snow cover duration since 1970 in the Swiss Alps due to earlier snowmelt more than to later snow onset**. Climatic Change (in press).

Lehmann Friedli T (2013) **Ökonomische Relevanz von Klimaanpassung im Tourismus – Qualitative und quantitative Kosten-Nutzen-Bewertungen von Anpassungsmassnahmen im Schweizer Alpenraum**. Berner Studien zu Freizeit und Tourismus, Heft 58, Bern.

Lehmann Friedli T, Schaub Y (2013) **Neue Gletscherseen im Alpenraum – Schaden- und Nutzenpotential für den Schweizer Tourismus**. In: Bieger T, Beritelli P, Laesser C (2012) Nachhaltigkeit im alpinen Tourismus, Schweizer Jahrbuch für Tourismus 2012: 111–126.

Müller HR, Lehmann Friedli T (2010). **Der Schweizer Tourismus im Klimawandel**. Auswirkungen und Handlungsoptionen. SECO, Bern.

Perch-Nielsen S, Amelung B, Knutti R (2010) **Future climate resources for tourism in Europe based on the daily Tourism Climatic Index**. Climatic Change 103: 363–381.

Serquet G, Marty C, Rebetez M (2013) **Monthly trends and the corresponding altitudinal shift in the snowfall/precipitation day ratio**. Theoretical and Applied Climatology 114: 437–444.

Serquet G, Rebetez M (2011) **Relationship between tourism demand in the Swiss Alps and hot summer air temperature associated with climate change**. Climatic Change 108: 291–300.

Steiger R, Abegg B (2013) **The Sensitivity of Austrian Ski Areas to Climate Change**. Tourism Planning & Development 10: 480–493.

Weingartner R, Schädler B, Reynard E, Bonriposi, Graefe O, Herweg K, Homewood C, Huss M, Kauzlaric M, Liniger H, Rey E, Rist S, Schneider F (2014) **MontanAqua: Wasserbewirtschaftung in Zeiten von Knappheit und globalem Wandel – Wasserbewirtschaftungsoptionen für die Region Crans-Montana-Sierre im Wallis**. Nationales Forschungsprogramm «Nachhaltige Wassernutzung» (NFP 61), Forschungsbericht, Zürich.

2.12 Bauten und Infrastrukturen

Technische Infrastrukturen wie Gebäude, Verkehrswege und Energieversorgungssysteme haben in der Regel Investitionszyklen von mehreren Jahrzehnten. Aber auch die sozialen Infrastrukturen wie Spitäler, Polizei oder Militär lassen sich nur langsam reorganisieren. Die Klimaänderung erfordert Anpassungen, reduziert aber gleichzeitig die Planungssicherheit. Die direkten Auswirkungen der Klimaänderung für die Schweiz bezüglich Bauten und Infrastrukturen dürften relativ gering sein, da die schweizerischen Bauten und Infrastrukturen im Vergleich zu anderen Ländern sehr gut an mögliche Klimaänderungen angepasst sind und teilweise auch von einer mässigen Erwärmung des Klimasystems profitieren könnten. Stärker als die direkten Auswirkungen werden uns voraussichtlich die indirekten Auswirkungen der Klimaänderung treffen. Die Schweiz ist eng verbunden mit der Weltwirtschaft, die in vielen Regionen grossen gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen ausgesetzt sein wird. Diese Veränderungen können global wie auch in der Schweiz zu grossen Fehlinvestitionen führen und die Bauten und Infrastrukturen wesentlich stärker treffen als die direkten Folgen der Erwärmung des Klimasystems.

Christoph Ritz (ProClim/SCNAT), Mark Zimmermann (EMPA)

Globale Situation

Eine Jahresmitteltemperatur von 13 Grad Celsius wird in der Literatur als optimal für die wirtschaftliche Entwicklung angesehen (Burke et al. 2015). Diese Jahresmitteltemperatur dürfte auch für Bauten und viele Infrastrukturen günstige Voraussetzungen bieten, da die bauphysikalische Beanspruchung moderat ist und für hohe Wirtschaftsleistung und Komfort weder stark geheizt noch stark gekühlt werden muss (Wyon 2000). Die meisten heutigen Industrienationen liegen in klimatischen Gunstregionen mit Temperaturen unter oder nicht weit über 13 Grad Celsius Jahresmittel. Die Bauten und Infrastrukturen der Industrienationen weisen in der Regel relativ hohe Sicherheitsstandards und eine gute Bauqualität auf. Wie Abbildung 2.18 illustriert, dürften die nördlichen Industrienationen sogar unter dem Szenario ohne explizite Massnahmen zum Klimaschutz (kurz: Referenzszenario) RCP8.5 wirtschaftlich geschont bleiben, weniger aber die südeuropäischen Länder, Teile der USA und Chinas sowie Australien.

Viele Regionen in den Tropen und Subtropen weisen hingegen deutlich höhere Jahresmitteltemperaturen als 13 Grad Celsius auf. Zudem sind viele dieser Regionen bereits heute ungenügend an die natürlichen Schwankungen und Extreme angepasst. Es ist absehbar, dass bei einer Klimaänderung in diesen Entwicklungs- und Schwellenländern nicht nur die Gefährdung von Bauten und Infrastrukturen durch Klimaextreme steigt, sondern wegen der erwarteten Verringerung der Wirtschaftsleistung (Abb. 2.18) gleichzeitig auch die Anpassungsfähigkeit beziehungsweise die Kapazität für Prävention geringer wird. Im Vordergrund stehen dabei die Auswirkungen von Überschwemmungen und Stürmen, denen die Bauten oft nicht standhalten. Aber auch zunehmende Hitze und Trockenheit verursachen grosse Schäden und Beeinträchtigungen.

Nationale Situation

Im schweizerischen Mittelland beträgt die Jahresmitteltemperatur zirka 9,5 Grad Celsius. Die Schweiz kann somit wie die meisten gemässigten und nördlichen Klimazonen von einer mässigen Erwärmung des Klimasystems auch profitieren (Abb. 2.18). Das milder werdende Klima verringert den Heizenergiebedarf und das Ausmass der Frost- und Schneeschäden. Umgekehrt erhöht sich der Bedarf für die sommerliche Kühlung. Allerdings wird dieser erst bei einer starken Erwärmung markant zunehmen. Ein erhöhtes Bauschadenrisiko durch Wind und verstärkten Schlagregen (starker Regen bei hohen Windgeschwindigkeiten) ist denkbar, aber noch nicht schlüssig nachweisbar. Am kritischsten dürften Hochwasser und Murgänge sein, die mindestens lokal zu grossen Schäden führen können.

Die *technischen Infrastrukturen* der Schweiz wie Gebäude, Energiegewinnungs- und -transportinfrastruktur, Verkehrswege oder Kommunikationssysteme sind – im Vergleich zur Situation in den meisten Weltregionen – sehr gut an die *direkten Auswirkungen* der heutigen Klimaverhältnisse angepasst. Hinzu kommen gut ausgebaute Beobachtungssysteme, um gravierende Naturgefahren frühzeitig zu erkennen und Massnahmen einzuleiten.[1] Die Schweiz verzeichnete deshalb in den letzten Jahrzehnten nur wenige Todesfälle aufgrund extremer Wetterereignisse, mit Ausnahme der rund 1000 vorzeitigen Todesfälle während des Hitzesommers 2003. Die technischen Infrastrukturen dürften auch in Zukunft den klimatischen Herausforderungen weitgehend genügen oder können angepasst werden. Allerdings wurden beim Hochwasser 2005 doch Sachschäden von 3 Milliarden Franken registriert.

1 Zum Beispiel das regelmässige Ausmessen von Gebirgshängen rund um Gebirgsstauseen oder fest installierte Messstellen für Erdrutschungen oder Steinschlag an gefährdeten Verkehrsachsen im Gebirge.

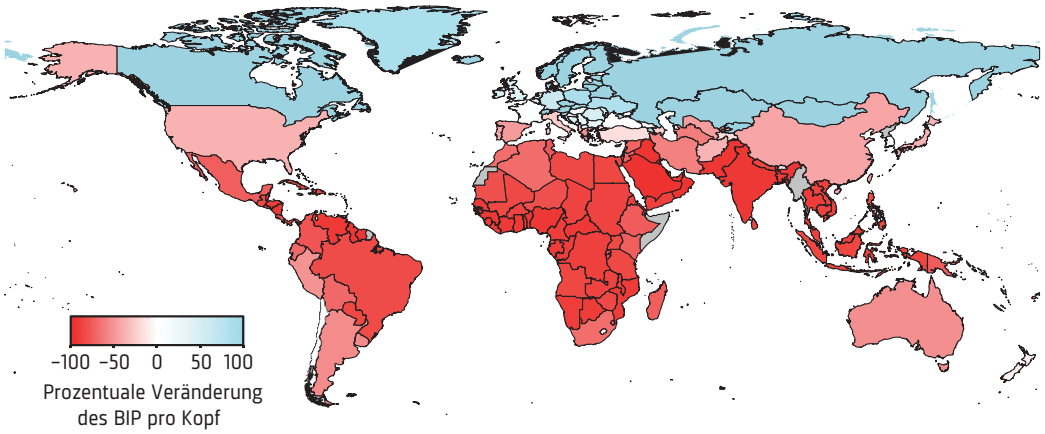


Abbildung 2.18: Projizierte Veränderung des Bruttoinlandprodukts im Jahr 2100 für das Szenario RCP8.5 verglichen mit einer Entwicklung unter heutigem Klima. Die meisten Industrieländer mit ihren Bauten und Infrastrukturen liegen in gemässigten Gebieten mit mittleren Jahrestemperaturen in der Nähe der idealen 13 Grad Celsius. Sie dürften relativ geringe Auswirkungen auf das Bruttoinlandprodukt BIP erfahren. Die erwarteten negativen Auswirkungen auf das BIP in den meisten Entwicklungsländern dürfte die Anpassung der Bauten und Infrastrukturen stark erschweren. (Quelle: Reprinted by permission from Macmillan Publishers Ltd: Burke et al. 2015, copyright [2015])

Weniger klar ist, wie gut die Schweiz bei den *sozialen Infrastrukturen* für zukünftige Klimaereignisse gewappnet ist: Das Gesundheitssystem mit Spitälern und Rettungsdiensten oder Sicherheitseinrichtungen wie Polizei, Militär, Zivilschutz wurden bisher kaum in Katastrophensituationen getestet. Der warme Sommer 2015 hat immerhin gezeigt, dass Lehren aus dem Hitzesommer 2003, beispielsweise Anpassungen in der Gesundheitsversorgung, die Verletzlichkeit sehr wahrscheinlich verringerte.

Aus verschiedenen sozioökonomischen Gründen besteht bei allen Infrastrukturen und Bauten der Schweiz trotzdem ein Anpassungsbedarf. Dieser wird durch die Folgen der Klimaänderung mindestens teilweise noch verstärkt:

– Mit wachsender Bebauungsdichte, Zersiedelung und zunehmender Mobilität nimmt die *Exposition* von Menschen, Gebäuden und Infrastrukturen gegenüber Naturereignissen zu, und das Risiko von Schäden steigt entsprechend. Zum Beispiel wächst das Personenschadensrisiko mit erhöhter Zugsdichte und Anzahl beförderter Personen, auch wenn die Eintrittshäufigkeit des Naturereignisses (*Gefährdung)* gleich bleibt. Eine Erhöhung der Eintrittshäufigkeit aufgrund des Klimawandels erhöht die Gefährdung und damit das Risiko zusätzlich (s. a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77).
– Die Gesellschaft akzeptiert immer weniger Risiken – insbesondere wenn es externe Einwirkungen betrifft. Insbesondere nimmt die Akzeptanz von Risiken ab, wenn es um sehr seltene Ereignisse geht, die jedoch katastrophale Auswirkungen haben (Sunstein 2003). Einige Bauten liegen bereits heute in Gefahrenzonen, in denen nach heutigem Stand des Wissens und bei heutiger Risikoakzeptanz nicht mehr gebaut werden dürfte. Eine Verstärkung der Häufigkeit und Intensität von Ereignissen aufgrund des Klimawandels kann lokal zu einer Vergrösserung der Gefahrenzonen führen, womit zusätzliche bestehende Bauten und Infrastrukturen in Gefahrenzonen zu liegen kommen.

Schleichende Veränderungen, Extreme und Anpassung

Technische Infrastrukturen haben in der Regel Investitionszyklen von mehreren Jahrzehnten. Um unvorhergesehene Wertverluste zu vermeiden, muss beim Bau oder Umbau die zu erwartende Klimaänderung über den ganzen Investitionszyklus eingeplant werden.

Besonderes Augenmerk gilt den Infrastrukturen der *dicht besiedelten Gebiete* – der Städte und deren Agglomerationen – wo sich 80 Prozent der Arbeitsplätze befinden (Bundesrat 2015) und bei einem Extremereignis viele Menschen betroffen sind. Der IPCC-Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe II hat die Auswirkungen der Klimaänderung auf diese urbanen Gebiete gesondert untersucht. In Abbildung 2.19 sind die für die Schweiz wichtigsten Risikotypen aufgeführt, zusammen mit ihren klimatischen Ursachen.

Urbane Regionen in der Schweiz

Infrastruktur	Anpassungsbelange und Perspektiven	Klimatische Einflussfaktoren
Frischwasserversorgung	Die Wasserversorgung in der Schweiz ist für die meisten Städte gesichert. Für langanhaltende Hitzeperioden sind Korrekturen am Versorgungsnetz (z.B. grössere Verbünde), Massnahmen zur Reduzierung des Verbrauchs und ein integrales Verbrauchsmanagement für Wasserkraft, Bewässerung und Trinkwasser erforderlich.	
Abwassersystem	Verschmutztes Abwasser aus Haushalten, Industrie und stark befahrenen Strassen wird meist nicht getrennt von unverschmutztem Abwasser (z. B. von Hausdächern). Die Bevölkerungszunahme und grössere Niederschlagsspitzen führen zu überlasteten Systemen und zu direktem Überlauf in die Gewässer. Durch Neudimensionierung und Trennung lassen sich bei der Erneuerung von überalterten Systemen die Kosten optimieren.	
Energieversorgung	Die Energieversorgung von städtischen Gebieten mit ihren Industrien ist besonders während grossräumigen Hitzeperioden oder Kälteeinbrüchen gefährdet. Dies gilt insbesondere dann, wenn die 40 Prozent Stromerzeugung der KKW nicht durch erneuerbare Energien ersetzt wurden und der Verbrauch, trotz Effizienzmassnahmen zunimmmt. Durch lokale Produktion (z. B. Photovoltaik) lassen sich Engpässe im Sommer minimieren.	
Nahrungsmittel-versorgung	Die Nahrungsversorgung der Schweizer Agglomerationen ist globalisiert und damit stark beeinflusst durch die globalen Preise und die lokale und nationale landwirtschaftliche Produktivität. Die Anpassung der städtischen Nahrungs-mittelversorgung stellt eine grosse Herausforderung dar. Einschneidende Veränderungen in der Herstellung, Lagerung, Weiterverarbeitung und Transport von Nahrungsmitteln sowie die Reduktion von Abfall sind erforderlich.	
Transport und Kommunikation	Schweizer Agglomerationen und im Speziellen die grösseren urbanen Regionen verfügen über ein dichtes öffentliches Verkehrssystem und Kommunikations-netz. Diese Netze sind zwar verwundbar, aber durch ihre gegebene Redundanz auch bei klimatischen Extremereignissen gut verfügbar. Bergregionen sind hier verletzlicher, da alle Transportwege und Kommunikationsinfrastrukturen in den Tälern nahe beeinander liegen.	
Behausung	Schweizer Agglomerationen bestehen aus einer grossen Zahl von alten (oft geschützten) Gebäuden mit schlechter Isolation im Sommer und Winter. Zudem stehen verschiedene Gebäude in Gefahrenzonen bezüglich Überschwem-mungen. Während grössere Anstrengungen zur Reduktion des Heizenergie-verbrauchs bereits unternommen werden, wird dem Hitzestau in Gebäuden durch ungenügenden Sonnenschutz noch wenig Beachtung geschenkt.	
Gesundheitssystem	Die Gesundheitsüberwachung und Pflege durch das Schweizer Gesundheits-system ist reaktionsfähig. Während länger andauernden Hitzeperioden erfordern besonders ältere, chronisch kranke und sehr junge Menschen gezielte Hilfe.	
Hauptwirtschaftssektoren und Dienstleistungen	Die Schweizer Wirtschaft wird dominiert durch den Dienstleistungssektor und durch global tätige Firmen, welche abhängig sind von Klimarisiken der externen Märkte. Unterbrüche der essentiellen Infrastrukturen wie Transport- und Energienetzwerke haben kurzfristige Auswirkungen.	

Legende der klimatischen Einflussfaktoren

Abbildung 2.19: Klimarisiken auf Infrastrukturen in Städten und Agglomerationen der Schweiz. Dargestellt sind die Schlüsselrisiken und deren klimatische Ursachen. (Quelle: Design nach IPCC 2014/WGII/Chap.8/Tab.8–6 (London) und Tab.8–3 (generisch), Inhalt angepasst auf die Schweiz)

Das Abwassersystem als Beispiel (zweites Schlüsselrisiko in der Abbildung 2.9) ist besonders durch Klimagefahren aufgrund von Starkniederschlägen und Überflutungen gefährdet. Heute sind die Risiken an den meisten Orten noch gering. Sie können jedoch an exponierten Stellen (Schmutzwasser aus Kläranlagen, das bei Extremniederschlägen in die Flüsse gelangt) bereits heute mittelhoch sein.

In der Schweiz sind die *ländlichen Gebiete* mit wenigen Ausnahmen sehr eng mit den städtischen Räumen verwoben. Sie dienen als Wohnort für Menschen, die in den Städten arbeiten und werden von Personen aus den Agglomerationen als Naherholungsgebiet genutzt. Zudem sind die urbanen Räume abhängig von ländlichen Gebieten und deren Ressourcen wie Trinkwasser, Nahrungsmittel und Energie. Extremereignisse in den ländlichen Gebieten können damit auch die Versorgung der städtischen Gebiete empfindlich treffen.

In einigen ländlichen Räumen, insbesondere im Gebirge, kommen weitere spezifische Infrastrukturrisiken hinzu: Bei Unterbrüchen von Transportwegen gibt es oft keine Umfahrungsmöglichkeiten. Die Versorgungssicherheit ganzer Regionen – allerdings mit schwacher Besiedelung – kann so gefährdet sein. Alpenquerende Verkehrsachsen bergen daneben weitere Risiken. Oft befinden sich dort auf engem Raum in der Talsohle neben Bahn und Strasse auch Gas- oder Ölpipelines und Hochspannungsleitungen. Ein einzelnes Extremereignis kann zu Versorgungslücken führen, die weit über das Tal hinaus die Wirtschaft und die Bevölkerung betreffen.

Herausforderungen für die Schweiz

Teure zukünftige Investitionen aufgrund veränderter klimatischer Verhältnisse und ausserhalb der normalen Sanierungen von Gebäuden und Infrastrukturen lassen sich minimieren, indem die über den ganzen Lebenszyklus der Bauten zu erwartenden Klimaänderungen bereits bei deren Bau berücksichtigt werden. Voraussetzung sind verlässliche Klimaprojektionen, darauf basierende Gefahrenkarten und eine konsequente Umsetzung der Erkenntnisse durch konkrete und überprüfbare Gesetze und Regeln und/oder mit finanzieller Unterstützung (z. B. durch einen Fonds der öffentlichen Hand). Da der Lebenszyklus der Bauten und Infrastrukturen oft weit mehr als 50 Jahre beträgt, sind Anpassungsstrategien in zweifacher Hinsicht eine Herausforderung:

– Die heute nötigen Anpassungen bei einem Bau oder einer Erneuerung hängen vom Erfolg der weltweiten Klimaschutzmassnahmen ab: Die zu tätigenden Anpassungen an ein Klima mit einer Erwärmung von zwei Grad Celsius sind anders als diejenigen an ein Klima mit vier Grad Celsius Erwärmung.
– Die Beschränkung der Erwärmung auf zwei Grad Celsius setzt eine Dekarbonisierung voraus: Eine weitgehend CO_2-emissionsfreie Welt stellt andere Anforderungen an Bauten und Infrastrukturen (z. B. Strassenausbauten oder Flughäfen) als eine mehrheitlich auf fossiler Energieversorgung basierte Welt.

Wichtig ist deshalb, dass bei den Anpassungsanstrengungen auch berücksichtigt wird, welche Auswirkungen die nationalen und internationalen Massnahmen zur Eindämmung des Klimawandels – die je nach Klimapolitik grosse wirtschaftliche und gesellschaftliche Veränderungen auslösen können – haben werden. Die Schweiz ist den Folgen solcher Veränderungen aufgrund ihrer starken globalen Vernetzung massiv ausgesetzt. Die Planungssicherheit beim Bau oder Unterhalt von Infrastrukturen wird dadurch eingeschränkt. Nachfolgend sind einige Beispiele aufgeführt:

– Vor allem aufgrund veränderter Energiepreise (z. B. durch Lenkungsabgaben) oder einer veränderten Energienachfrage (z. B. durch grössere Effizienz oder bessere Nachfragesteuerung) können sich heutige Investitionen im Energiebereich im Nachhinein als unrentabel erweisen und Arbeitsplätze in wichtigen Bereichen gefährden. Bereits heute müssen beispielsweise grosse Investitionen in den Umbau des Stromnetzes getätigt werden,[2] um die durch Photovoltaik- und Windanlagen dezentral erzeugte erneuerbare Energie räumlich und zeitlich umverteilen zu können. Der benötigte Ausbaugrad hängt jedoch stark vom Ausbau beziehungsweise der Förderung der unterschiedlichen Energiequellen und von den technischen Entwicklungen bei der lokalen Energienachfrage (lokale Speicherung, Smart Grids etc.) ab.
– Veränderte Mobilitäts- und Tourismusbedürfnisse können neue Investitionen erfordern und gleichzeitig andere in Frage stellen. Der Tourismusbereich reagiert sehr sensibel auf Veränderungen des wirtschaftlichen Umfelds. Es ist absehbar, dass sich der Schweizer Tourismus aufgrund des Klimawandels neu ausrichten und dazu grosse Investitionen in Infrastrukturen tätigen muss, deren Rentabilität aufgrund ungewisser Entwicklungen im nationalen und globalen sozioökonomischen Umfeld mit einer grossen Unsicherheit behaftet ist (s. a. Kap. 2.11 Tourismus, S. 117).

Die schwierigste Aufgabe dürfte die Anpassung der sozialen Infrastrukturen sein. Das von unserem Wirtschaftssystem vorausgesetzte Wachstum von Konsum und Produktion und die zur Eindämmung des Klimawandels notwendigen Einschränkungen derselben stehen sich gegenüber und mindern durch die entsprechende, riesige

2 Gemäss Schätzungen von Swissgrid werden rund 10 bis 16 Milliarden Franken für das Übertragungs- und Verteilnetz benötigt. Einige dieser Investitionen fallen auch im Rahmen der normalen Erneuerung an. Die Aufrüstung des lokalen Netzes mit Mess-, Steuer- und Regeltechnik zur Bewältigung der lokalen Stromeinspeisung dürfte gemäss den Bernischen Kraftwerken (BKW) den Investitionsbedarf gegenüber heute mehr als verdoppeln.

Bandbreite möglicher gesellschaftlicher und wirtschaftlicher Entwicklungen die Planungssicherheit und erhöhen damit das Risiko von Fehlinvestitionen.

Forschungsbedarf

Vertiefte Systemanalysen sind nötig, um die komplexen Zusammenhänge zu verstehen zwischen Energiebereitstellung und Energienutzung, der veränderten Nutzung von Bauten und Infrastrukturen und deren Abhängigkeiten von Kosten, Marktregulierungen und Marktchancen. Nebst den technischen Risiken müssen auch die zukünftigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen verstärkt in Entscheidungen einbezogen werden. Es braucht dazu mehr als das Wissen zu saisonalen Temperatur- und Niederschlagsveränderungen und zur Häufigkeit und Dauer von intensiven Ereignissen (Gefährdung), um die Risiken für Infrastrukturen und die Möglichkeiten zur Anpassung abschätzen zu können. Weitere Parameter wie die Exposition, die Verletzlichkeit und Anpassungsfähigkeit der Infrastrukturen sind ebenfalls entscheidend. Zur Abschätzung der Verletzlichkeit und zur Wahl geeigneter Anpassungsmassnahmen sind Projektionen von Zeitreihen von Klimaparametern in täglicher oder stündlicher Auflösung erforderlich, die mit weiteren Risikoparametern gekoppelt werden können, wie dem Energiesystem und Transportsystem oder gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Veränderungen.

Referenzen

Bundesrat (2015) **Agglomerationspolitik des Bundes 2016+. Für eine kohärente Raumentwicklung Schweiz**. Bericht vom 18. Februar 2015, Bern.

Burke M, Hsiang SM, Miguel E (2015) **Global non-linear effect of temperature on economic production**. Nature 527: 235–239.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 8 «Urban Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 9 «Rural Areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Sunstein CR (2003) **Terrorism and Probability Neglect**. The Journal of Risk and Uncertainty 26: 121–136.

Wyon DP (2000) **Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings**. Proceedings of the conference «E-Vision 2000», Department of Energy, Washington DC: 11–13.

2.13 Urbaner Raum

Der Klimawandel verändert den Lebensraum. Für den urbanen Raum sind global gesehen, je nach Lage, grössere Hitzebelastungen, der Anstieg des Meeresspiegels, Hochwasser an Küsten und Fliessgewässern, extreme Niederschlagsereignisse, Trockenheit, Hangrutschungen, Luftverschmutzung und Wasserknappheit die grössten Klimarisiken. Besonders verletzlich sind Menschen, Wirtschaftsaktivitäten und Ökosysteme, die nicht über vorsorgende und schützende Infrastrukturen und Dienste wie beispielweise Warnsysteme verfügen. Für die Schweiz wurde die grössere Hitzebelastung in den Agglomerationen und Städten als eine der grössten Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel identifiziert. Hinzukommt, dass der urbane Raum durch seine hohe Bevölkerungsdichte und Wertekonzentration besonders verletzlich ist gegenüber einer klimabedingten Zunahme von Extremereignissen. Für die Anpassung an die Folgen des Klimawandels ist die Raumplanung von grosser Bedeutung.

Marco Pütz (WSL)

Globale und nationale Situation

Der Klimawandel verändert den Lebensraum. Der urbane Raum, das heisst die Städte und Agglomerationen, der Raum, in dem sich die meisten Aktivitäten der Menschen konzentrieren und Siedlungen weiterentwickeln, ist weltweit insbesondere den folgenden Risiken aufgrund des Klimawandels ausgesetzt (IPCC 2014/WGII/SPM):
– grössere Hitzebelastungen,
– Anstieg des Meeresspiegels,
– Hochwasser an Küsten und Fliessgewässern,
– extreme Niederschlagsereignisse,
– Trockenheit,
– Hangrutschungen,
– Luftverschmutzung und
– Wasserknappheit.

Besonders verletzlich sind die Menschen, Wirtschaftsaktivitäten und Ökosysteme, die nicht über vorsorgende und schützende Infrastrukturen und Dienste wie Hochwasserschutzdämme oder Warnsysteme verfügen. Ausserdem sind Städte und Regionen gefährdet, die besonders exponiert gegenüber Naturgefahren liegen, zum Beispiel an Küsten und Fliessgewässern.

Auch in der Schweiz wird das Leben im urbanen Raum zunehmend durch Extremereignisse geprägt sein. Ereignisse wie extreme Niederschläge treten häufiger auf (s. a. Kap. 1.8 Klima- und Wetterextreme, S. 52, Kap. 1.7 Wasserkreislauf, S. 46) und gefährden vermehrt Infrastrukturen und Siedlungen. Die grössere Hitzebelastung in den Agglomerationen und Städten wurde in der Schweizer Klimaanpassungsstrategie als eine der grössten Herausforderungen bei der Anpassung an den Klimawandel identifiziert und betrifft vor allem die Sektoren Raumentwicklung, Gesundheit und Energie im urbanen Raum (BAFU 2012).

Verletzlichkeit: Wärmeinsel-Effekt verstärkt die Folgen

Der urbane Raum ist in zweierlei Hinsicht vom Klimawandel betroffen. Zum einen kann die Wirkung hoher Temperaturen durch stadtspezifische Gegebenheiten verstärkt werden. So tragen zum Beispiel eingeschränkte Windzirkulation, fehlende Beschattung und Grünflächen, Absorption der Sonnenstrahlung durch versiegelte Flächen sowie Abwärme von Industrieanlagen, Gebäuden und Verkehr zum sogenannten Hitze- oder Wärmeinsel-Effekt bei: stärkere Aufheizung tagsüber und weniger Abkühlung nachts. Bereits heute können sich die Temperaturen zwischen urbanem und ländlichem Raum um bis zu zehn Grad Celsius unterscheiden.

Zum anderen ist der urbane Raum aufgrund seiner hohen Bevölkerungsdichte und Wertekonzentration besonders verletzlich gegenüber einer klimabedingten Zunahme von Extremereignissen. Neben direkt spürbaren Klimafolgen, zum Beispiel, wenn Menschen oder Sachgüter durch Naturgefahrenereignisse zu Schaden kommen, kann der urbane Raum auch indirekt stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen sein: Es kann zum Unterbruch wichtiger Infrastrukturen, sogenannter «kritischer» Infrastrukturen kommen, und so Probleme beim Verkehr, der Telekommunikation oder der Versorgung mit Trinkwasser und Energie auslösen (s. a. Kap. 2.12 Bauten und Infrastrukturen, S. 121).

Anpassung: Raumplanung spielt wichtige Rolle

Die räumliche Planung ist von grosser Bedeutung für die Anpassung an den Klimawandel, weil viele Folgen des Klimawandels direkt raumwirksam sind und die Raumnutzung beeinflussen können. Da der urbane Raum besonders sensitiv für die zu erwartende Zunahme von Hit-

Projekte zur Klimaanpassung von Städten, Gemeinden und Regionen in der Schweiz

In der Schweiz bestehen verschiedene, umsetzungsorientierte Projekte zu den Herausforderungen des Klimawandels für Städte, Gemeinden und Regionen und möglichen Anpassungsstrategien:

Projekte des Bundes
Im Pilotprogramm «Anpassung an den Klimawandel» (2014 – 2016) unterstützt der Bund Projekte zur Klimaanpassung in den Kantonen, Regionen und Städten. Drei Projekte widmen sich in einem eigenen Themencluster der «klimaangepassten Stadt- und Siedlungsentwicklung». Im Pilotprojekt «ACCLIMATASION» arbeitet die Stadt Sitten auf öffentlichen und privaten Grundstücken daran, den Wärmeinseleffekt und das Hochwasserrisiko zu verringern, um so Entscheidungsträger und Bevölkerung für die Notwendigkeit der Klimaanpassung zu sensibilisieren. Im Pilotprojekt «Urban Green & Climate Bern» werden Konzepte, Methoden und Finanzierungsmöglichkeiten für eine nachhaltige Bewirtschaftung des städtischen Baumbestandes entwickelt. So soll das Wissen zur klimabedingten Vulnerabilität und zu den Ökosystemleistungen (u. a. Kohlenstoffsenke) von urbanen Baumbeständen verbessert werden. In einem weiteren Pilotprojekt werden schweizweit der «Effekt von Hitzeperioden auf die Sterblichkeit und mögliche Adaptionsmassnahmen» untersucht. Am Beispiel der Kantone Tessin und Genf werden besonders stark betroffene Bevölkerungsgruppen und gesundheitsrelevante Wettermerkmale ermittelt.

CLISP: Herausforderungen für den Alpenraum
Im vom Bundesamt für Raumentwicklung ARE koordinierten Projekt «CLISP: Climate Change Adaptation by Spatial Planning in the Alpine Space» (2008 – 2011) wurden die konkreten Herausforderungen des Klimawandels für die Raumplanung im Alpenraum bearbeitet und erste Ansätze für eine «klimasichere» Raumentwicklung entwickelt. Entstanden ist unter anderem ein Leitfaden zur Bewertung der «Klimawandelfitness» von Raumplanungsinstrumenten (ARE 2013), in den die Erfahrungen aus 10 Modellregionen im Alpenraum eingeflossen sind (Kruse & Pütz 2014).

Klimaanalysen in Zürich, Genf und Basel
In den letzten Jahren haben die Schweizer Kantone und Städte verschiedene Studien durchgeführt, um zukünftig stadtklimatische Aspekte besser in planerische, gestalterische und bauliche Entscheide einbeziehen zu können. So hat zum Beispiel die Stadt Zürich in einer Klimaanalyse (2009 – 2011) ihr Stadtklima untersucht und dabei die akuten und zu erwartenden Belastungen wie Überwärmung, eingeschränkte Durchlüftung und erhöhte Luftbelastung identifiziert. 2015 wurden eine Klimastrategie vorgelegt und ein Massnahmenplan zur Verminderung der Treibhausgase und zur Anpassung an den Klimawandel erarbeitet. Der Kanton Genf hat 2015 einen «Plan climat cantonal» entwickelt und Risiken und Chancen des Klimawandels analysiert. Der Kanton Basel hat 2011 einen Bericht über die Folgen des Klimawandels vorgelegt und darauf aufbauend Massnahmen für die verschiedenen betroffenen Sektoren entwickelt sowie Risiken und Chancen des Klimawandels ermittelt.

zewellen ist, zielen Anpassungsaktivitäten im urbanen Raum in der Regel darauf ab, Grünräume und Freiflächen aufzuwerten und neu zu schaffen sowie die Durchlüftung zu fördern. Für die räumliche Planung bestehen damit jedoch potenziell Zielkonflikte mit der Siedlungsentwicklung nach innen oder dem verdichteten Bauen. Auch zwischen Naturgefahrenprävention und Siedlungsentwicklung können Raumnutzungskonflikte bestehen. Hier nicht vorsorgend zu handeln, erhöht die Verletzlichkeit von Städten, Gemeinden und Regionen. Damit besitzt die räumliche Planung grosses Potenzial, die Anpassung an die Folgen des Klimawandels massgeblich zu steuern und die Widerstandsfähigkeit gegenüber ungünstigen Einwirkungen zu verbessern. Es ist jedoch eine grosse Herausforderung, die Raumplanung und die raumwirksamen Fachplanungen so zu gestalten, dass sektorübergreifende Synergien entstehen, eine hohe bauliche Qualität gewährleistet ist und genügend Freiräume erhalten und geschaffen werden. Dies gilt insbesondere für die Schweiz mit ihren kleinteiligen, föderalen Strukturen und ihrem bestehenden und künftigen Siedlungsdruck.

Herausforderungen für die Schweiz

Für viele Städte, Gemeinden und Regionen ist das Thema Klimawandel noch relativ neu und nur eines von vielen. Zusammen mit Energie und Ressourcenknappheit wird eine energie- und klimaschonende Stadtentwicklung und -planung jedoch immer wichtiger. Aus Sicht vieler Städte liegen die Herausforderungen dabei vor allem in energiesparenden, integrierten Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklungen, einer klimaverträglichen Energieversorgung sowie bei Gebäudesanierungen und Ersatzneubauten (vgl. ECOPLAN 2012). Mit den Folgen des Klimawandels und dem klimawandelbedingten Schutz vor Naturgefahren beschäftigen sich bisher jedoch nur wenige Gemeinden und dies oft nur indirekt, zum Beispiel mit dem Erstellen von Gefahrenkarten.

Da konkrete Anpassungsstrategien und Anpassungsmassnahmen auf lokaler und regionaler Ebene bisher nur vereinzelt und eher als Pilotaktivitäten entwickelt werden (s. a. Box Projekte zur Klimaanpassung von Städten, Gemeinden und Regionen in der Schweiz, S. 127), spielt derzeit der Erfahrungsaustausch zwischen Städten und Agglomerationen sowie die Zusammenarbeit von Gemeinden, Kantonen und Bund eine grosse Rolle. So zielen im Aktionsplan der Schweizer Klimaanpassungsstrategie (BAFU 2014) die Massnahmen im Handlungsfeld Raumentwicklung unter anderem darauf ab, sich am «Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel» zu beteiligen und die Entscheidungsgrundlagen für Planer zu verbessern, zum Beispiel durch Arbeitshilfen (ARE 2013). Zahlreiche Städte beschäftigen sich seit Jahren mit Massnahmen zur Verbesserung der Lebensqualität, zur Aufwertung von Freiräumen und generell zur Verbesserung der grünen Infrastruktur, so dass grosse Erfahrung und viel Expertise zur Anpassung vor Ort vorhanden sind. Allerdings wurden diese Aktivitäten nicht unbedingt immer direkt auf den Klimawandel bezogen. Die Hitzesommer 2003 und 2015 haben jedoch in den Städten das Bewusstsein für den Klimawandel weiter geschärft. Falls der Klimawandel als raumordnungspolitische Herausforderung ins Raumplanungsgesetz aufgenommen würde, müssten Städte und Regionen verstärkt Klimawandel-Aktivitäten entwickeln und der Bund könnte diese besser unterstützen und koordinieren. Es bleibt allerdings offen, inwiefern dies zurzeit politisch umsetzbar ist und auch seitens der Raumplanung unterstützt wird.

Referenzen

ARE (2013) **Klimawandel und Raumentwicklung**. Eine Arbeitshilfe für Planerinnen und Planer. Bern.

BAFU (2012) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder**. Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bern. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2014) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014 – 2019**. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. Bern. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

ECOPLAN (2012) **Urbane Herausforderungen aus Bundessicht. Ein Diskussionsbeitrag zur Weiterentwicklung der Agglomerationspolitik**. Auftraggeber: Bundesamt für Raumentwicklung ARE, Staatssekretariat für Wirtschaft SECO, Bern.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kruse S, Pütz M (2014) **Adaptive Capacities of Spatial Planning in the Context of Climate Change in the European Alps**. European Planning Studies 22: 2620 – 2638.

2.14 Auswirkungen des Klimawandels auf das Energiesystem der Schweiz

Gestützt auf internationale und nationale Studien lassen sich bezüglich der Auswirkungen des Klimawandels auf das Schweizer Energiesystem folgende qualitative Trends ableiten: Der erwartete Einfluss des Klimawandels ist im Vergleich zu demographischen, wirtschaftlichen und technologischen Entwicklungen weitestgehend von untergeordneter Bedeutung, zumindest kurz- (2030) bis mittelfristig (2050). Sowohl auf der Nachfrage- als auch auf der Angebotsseite halten sich positive und negative Auswirkungen die Waage beziehungsweise überwiegen die günstigen Effekte leicht. Gefahren für die Energieinfrastruktur sind trotzdem erkennbar. Langfristig (zweite Hälfte des 21. Jahrhunderts) bestehen noch erhebliche Unsicherheiten.

Konstantinos Boulouchos (ETH Zürich)

Energienachfrage und -nutzung

Kühlen und Heizen

Die projizierte direkte Erwärmung in der Schweiz von 1,5 bis 4 Grad Celsius (sowohl regional- als auch jahresgemittelt) wird in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts (um 2085 herum) zu einer Abnahme des Heizwärmebedarfs um 7 bis 20 Prozent führen; wenn ein konstanter Gebäudetechnikstandard vorausgesetzt wird. Entsprechend würde sich eine Zunahme des Strombedarfs für Kühlung ergeben. Beide Effekte sind relativ klein und würden sich vermutlich bis zu einem gewissen Grad energetisch kompensieren. Allerdings trägt die Reduktion des Wärmebedarfs direkt zur Absenkung des CO_2-Ausstosses bei, während die Zunahme des Kühlbedarfs durch den fürs Jahr 2050 erwarteten CO_2-armen Schweizer Strommix wohl einen entsprechend kleineren Effekt haben dürfte (CH2014-Impacts 2014). Insgesamt jedoch würde der direkte Effekt der Klimaerwärmung auf den CO_2-Ausstoss, verglichen mit den Herausforderungen vor allem im Verkehrsbereich aber auch mit der Technikentwicklung im Gebäudebereich, von klar untergeordneter Bedeutung sein. Je nach Klimaszenario sind dabei maximale CO_2-Einsparungen von 0,9 bis 3,7 Prozent zu erwarten. Geht man aber von einer erfolgreichen Umsetzung der Energiestrategie 2050 (BFE & Prognos 2012) aus und damit von einer weit höheren Energieeffzienz der Gebäude, würden die durch den Klimawandel bedingten Einsparungen beim Heizwärmebedarf deutlich kleiner. Hingegen sind in der Zukunft effziente Kühlsysteme vor allem im Dienstleistungssektor erforderlich, da dort höhere Abwärmemengen aus der massiv zunehmenden Nutzung von IT-Systemen erwartet werden.

Ein positiver Aspekt einer Verschiebung vom Winter- zur Sommerelektrizitätsnachfrage ist die bessere Ausgeglichenheit des Elektrizitätsbedarfs zwischen Sommer und Winter. Diese wird der zukünftigen Angebotsstruktur des Schweizer Elektrizitätssystems etwas entgegenkommen, da mit einem höheren Anteil an Photovoltaik-Produktion gerechnet wird, was insbesondere im Sommer zu einer Zunahme der Elektrizitätserzeugung führt.

Verkehr

Im Sektor Verkehr lässt sich als direkter Effekt der Klimaänderung – nebst dem Zusatzaufwand für die Fahrzeugklimatisierung – eine Zunahme des Verkehrs von den Ballungszentren aus voraussagen: einerseits hin zu den immer höher liegenden Wintersportdestinationen (sofern der Wintersport den langfristigen Klimawandel überlebt; s. a. Kap. 2.11 Tourismus, S. 117), andererseits hin zu Regionen ausserhalb der Städte im Sommer (OcCC & ProClim 2007). Mit einer Verkehrszunahme verbunden ist die Zunahme des Treibstoffverbrauchs. Das Ausmass dieser Erhöhung der Energienachfrage muss über die Zeit beobachtet werden, ist schwer zu quantifizieren und fällt gegenüber den übrigen Treibern (Raumplanung, Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung) weniger ins Gewicht.

Energieangebot

Auf der Seite des Energieangebots lassen sich verschiedene Folgen des Klimawandels – insbesondere mit Bezug auf die Elektrizitätserzeugung – ausmachen. Dabei ist zu beachten, dass die Schweiz auch stark durch Veränderungen im europäischen Energieangebot betroffen ist, die möglicherweise bedeutender sind, als der Einfluss des Klimawandels.

Wasserkraft

Für den mit Abstand wichtigsten Beitrag zur Elektrizitätsproduktion, nämlich denjenigen der Wasserkraft, sa-

gen neuere Studien (CH2014-Impacts 2014) bis etwa 2050 geringfügige, wahrscheinlich leicht positive Erträge im Jahresmittel von 0,9 bis 1,9 Prozent voraus – allerdings mit gewissen regionalen Unterschieden. Wichtiger jedoch ist die projizierte Erhöhung der Winterstromproduktion um etwa zehn Prozent und die gleichzeitige Abnahme der Sommerstromproduktion um vier bis sechs Prozent, unter anderem aufgrund der Veränderungen des saisonalen Wasserangebots. Von Vorteil ist, dass diese saisonale Verschiebung den Ertragsüberschuss im Sommerhalbjahr verringern würde, der aufgrund des erwarteten hohen Beitrags der Photovoltaik in Zukunft steigen dürfte. Allerdings existieren noch keine belastbaren Aussagen für die Zeit nach 2050, für die eine Abnahme des Gletschervolumens um 60 bis 80 Prozent befürchtet wird (CH2014-Impacts 2014, Szenario mit mittleren Emissionen SRES-A1B). Zudem könnten veränderte Geschiebefrachten erhöhte Anforderungen an die Infrastruktur stellen. Es sind technische Möglichkeiten zur diesbezüglichen Anpassung bekannt, die jedoch einen entsprechenden Einsatz finanzieller Mittel erfordern würden.

Thermische Grosskraftwerke

Höhere Temperaturen führen in der Regel zu einer Leistungsabnahme und in geringerem Ausmass zu einer Verringerung des Wirkungsgrades thermischer Grosskraftwerke, insbesondere bei einer verminderten Verfügbarkeit von Kühlwasser im Spätsommer. Da jedoch in der Schweiz von einer Abschaltung der Kernkraftwerke noch deutlich vor 2050 ausgegangen werden kann und Kohlekraftwerke nicht in Betracht gezogen werden, dürfte dieses Problem langfristig von geringer Bedeutung sein. Sollten in Zukunft Gaskraftwerke zur Deckung des inländischen Energiebedarfs erforderlich werden, so würden sie vorzugsweise im Winterhalbjahr eingesetzt, in dem die Kühlproblematik leichter zu beherrschen ist.

Photovoltaik

Von Bedeutung könnte die erwartete Temperaturerhöhung durch den Klimawandel für die Photovoltaik sein, deren Potenzial gegen Mitte des Jahrhunderts auf etwa 20 Prozent des Schweizer Strombedarfs geschätzt wird. Eine Temperaturerhöhung von einem Grad Celsius führt üblicherweise zu einer Abnahme des Wirkungsgrades um etwa 0,5 Prozent (IPCC 2014/WGII/Chap.10), abhängig von der Photovoltaik-Technik. Der Effekt ist absolut gesehen nicht sehr gross, zumal Techniken wie Hybridkollektoren mit rückseitiger Kühlung der Solarpanels zur gleichzeitigen Wärmenutzung, zum Beispiel für Warmwasser, gerade auf den Markt kommen. Relevant könnten jedoch in der Schweiz Extremereignisse, wie zum Beispiel Hagel, werden, die Schutzmassnahmen für die betroffenen Infrastrukturen erforderlich machen würden.

Biomasse

Obwohl regional unterschiedlich (in höheren Lagen durch die Erwärmung grössere, in tieferen Lagen durch sommerliche Trockenheit kleinere Produktion) ist in der Tendenz mit einer aufgrund des Klimawandels höheren Biomasseverfügbarkeit zu rechnen. Das heutige ökologisch vertretbare Energienutzungspotenzial macht etwa 10 bis maximal 15 Prozent der gegenwärtigen Endenergie der Schweiz aus (OcCC & ProClim 2007). Die Biomassenutzung ist ein wesentlicher Teil der Energiestrategie 2050. Allerdings ist für eine optimale Nutzung des Biomassesortiments darauf zu achten, dass diese wertvolle chemische Energie nicht einfach zur Deckung des Wärmebedarfs, sondern für die kombinierte Strom-/Wärmeerzeugung und/oder – zum Beispiel in Form von synthetischem Methan – für den Ersatz fossiler Treibstoffe verwendet wird.

Wind

Gemäss Energiestrategie 2050 wird ein Beitrag der Windenergie zur Deckung des Schweizer Elektrizitätsbedarfs von etwa vier Terawattstunden jährlich angestrebt. Quantitative Schätzungen zum Einfluss des Klimawandels sind zum jetzigen Zeitpunkt nicht bekannt. Die projizierte Häufigkeit von Extremereignissen lässt einen zusätzlichen Aufwand für die Gewährleistung der Robustheit und Funktionstüchtigkeit der Anlagen erwarten; dies gilt auch für die Infrastruktur in den Bereichen Wasserkraft und allgemein Verkehr und Energie.

Fazit

Zumindest bis etwa Mitte des Jahrhunderts sind die erwarteten Auswirkungen des Klimawandels auf das Schweizer Energiesystem sehr moderat und in der Tendenz voraussichtlich mehrheitlich positiv. Grössere Herausforderungen sind erkennbar einerseits bei den Anforderungen an die Energieinfrastruktur und andererseits in Zusammenhang mit dem langfristigen Beitrag der Wasserkraft.

Referenzen

BAFU (2012) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder.** Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2014) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz.** Aktionsplan 2014 – 2019. Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2015) **Treibhausgasinventar 2015.** www.bafu.admin.ch/treibhausgasinventar

BFE, Prognos (2012) **Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000–2050.** Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem.

BFE (2014) **Schweizer Gesamtenergiestatistik 2014.** www.bfe.admin.ch

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 10 «Key economic sectors and services». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

OcCC, ProClim (eds.) (2007) **Klimaänderung und die Schweiz 2050. Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.** Bern.

2.15 Gesundheit

Direkte und indirekte gesundheitliche Folgen des Klimawandels sind heute gut belegt. Betroffen werden vor allem die ärmsten Länder und Bevölkerungsgruppen sein. In der Schweiz können Anpassungsstrategien die gesundheitlichen Folgen der bei uns wichtigsten Klimafolgen – Hitzewellen und andere klimatische Extremsituationen – deutlich verringern. Insgesamt dürfte in der Schweiz die gesundheitliche Bedeutung des Klimawandels weniger durch das Klima und seine direkten und indirekten Folgen bestimmt sein als durch politische Entscheide zum Klimaschutz respektive durch Anpassungsstrategien. Die Anpassung an häufigere und intensivere Hitzewellen, die Überwachung von Krankheitsüberträgern und Infektionskrankheiten bei Mensch und Tier sowie eine mit der Luftreinhaltung vereinbarte Energiepolitik sollen zentrale Bestandteile der Vorsorge sein.

Nino Künzli (Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut und Universität Basel)

Globale und nationale Situation

Der Klimawandel kann direkte und indirekte Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Temperaturschwankungen, extreme Niederschläge, Hitzewellen oder Waldbrände verursachen direkt Krankheit und Tod. Ernteausfälle, veränderte Verbreitung von Krankheitsüberträgern[1], Wasserhygiene und -mangel oder die Migration wegen Dürre (Flüchtlinge) wirken sich hingegen indirekt auf die Gesundheit aus (IPCC 2014/WGII/Chap. 11). Die Einflüsse können positiver oder negativer Art sein: Geographische Verschiebungen der Nahrungsmittelproduktion, die Abnahme von vektorübertragenen Krankheiten oder von Kältewellen werden in einigen Regionen gesundheitliche Vorteile bringen. Global betrachtet sind diese positiven Folgen jedoch geringer als die negativen Auswirkungen. Zum Beispiel wird sich die geographische Verteilung einiger Krankheitsüberträger – und der von ihnen übertragenen Krankheiten – mit dem Klimawandel, aber vor allem auch durch die globalisierten Migrations- und Warenströme weiter verändern. In Ländern mit hohem Fleischkonsum kann der Wechsel zu einer weniger fleischlastigen Ernährung zur Minderung von klima- und gesundheitsrelevanten Schadstoffen beitragen. Für die Gesundheit in der Schweiz spielt der Klimawandel verglichen mit anderen gesundheitlich relevanten Problemfeldern wie der Zunahme nichtübertragbarer Krankheiten und der damit verbundenen Kostenentwicklung, eine eher untergeordnete Rolle; bis 2050 wird er vor allem bereits bestehende gesundheitliche Herausforderungen wie den Umgang mit Hitzewellen oder die Verbreitung von übertragbaren Krankheiten akzentuieren. Längerfristig gewinnen diese Verstärkungseffekte des Klimawandels an Bedeutung.

Verletzlichkeit

Wie hoch die Verletzlichkeit des Gesundheitszustands der Bevölkerung für direkte und indirekte Folgen des Klimawandels ist, hängt von der geografischen Lage, von Ausbildungsstatus und Einkommen oder vom Alter und Gesundheitsstatus ab, aber auch von der Fähigkeit der Regierungen, wirksam auf Herausforderungen zu reagieren (IPCC 2014/WGII/Chap. 11). Vom Klimawandel am stärksten betroffen sein werden die Gesundheitssysteme der ärmsten Länder sowie küstennaher Regionen mit hoher Überschwemmungsgefahr. Klimafolgen, welche die Gesundheit beeinflussen, wie zum Beispiel Hitzewellen, werden die Jüngsten und Ältesten besonders treffen sowie die sozial isolierten Menschen und jene mit bestehenden Krankheiten wie Nierenleiden, psychischen Erkrankungen oder allergischem Asthma.

In Folge der weltweiten Verbesserung der Gesundheit hat die Lebenserwartung in fast allen Ländern stark zugenommen. Der Anteil von Menschen im höheren Alter und mit nichtübertragbaren chronischen Krankheiten nimmt deshalb stetig zu. Somit wird der Bevölkerungsanteil, der von extremen Klimasituationen besonders betroffen sein kann, zunehmend grösser.

Bis Mitte des Jahrhunderts muss bei fortschreitendem Klimawandel vor allem in armen Ländern mit einem erhöhten gesundheitlichen Risiko gerechnet werden; dies aufgrund von Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen und Feuersbrünsten, Unterernährung in Folge verschlechterter Nahrungsmittelproduktion sowie der Zunahme von Erkrankungen durch Wasser- und Nahrungsverunreinigungen und von vektorübertragenen Erkrankungen (IPCC 2014/WGII/Chap. 11).

Mit dem Klimawandel könnten auch die Belastung durch bodennahes Ozon sowie die Dauer der Pollensaison zu-

1 Krankheitsüberträger (Vektoren) übertragen Erreger, die eine Infektionskrankheit auslösen können, von einem Wirt auf einen anderen Organismus, ohne dabei selbst zu erkranken. Die Übertragung geschieht beispielsweise über einen Stich.

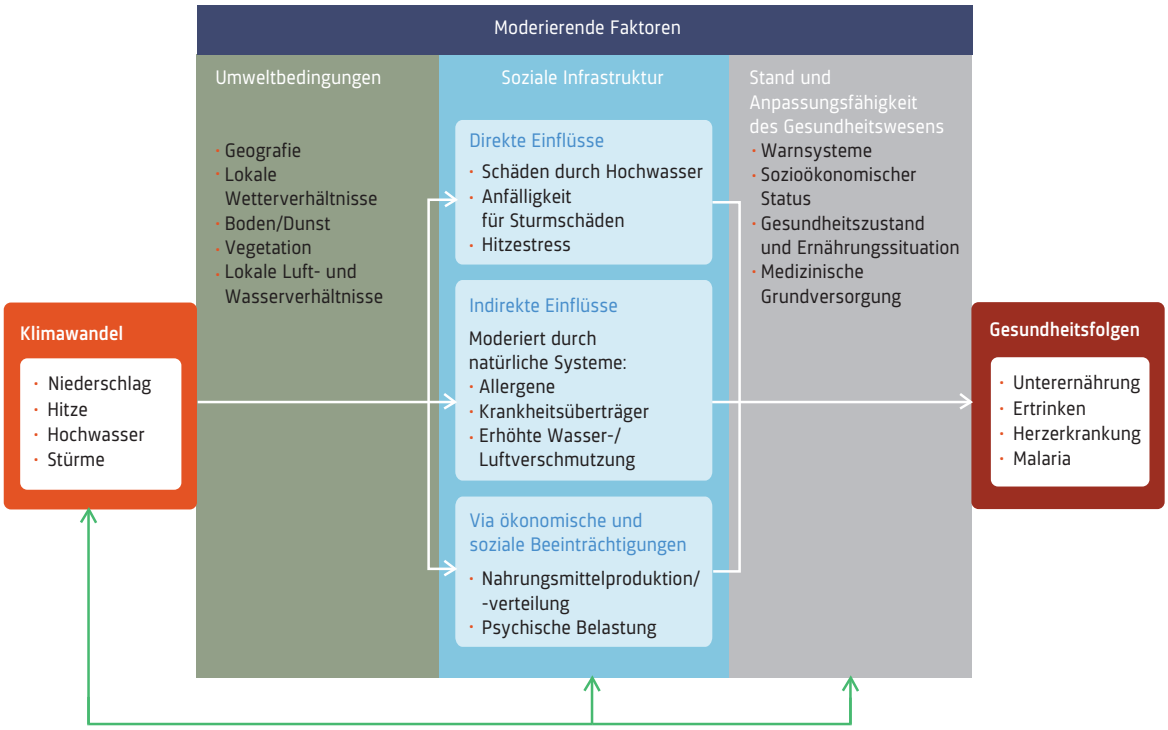


Abbildung 2.20: Das Diagramm zeigt drei Hauptwege, wie der Klimawandel die Gesundheit beeinflusst: Direkt durch Wettervariablen wie etwa Hitze und Stürme, indirekt durch natürliche Systeme wie Krankeitsüberträger sowie durch den Menschen geprägte Faktoren wie beispielsweise Unterernährung. Der grüne Kasten umfasst die lokalen Umweltbedingungen, welche die Ausprägung der Klimawandel-Einflüsse in einer bestimmten Population mitbestimmen. Die graue Box zeigt, dass das Ausmass der tatsächlichen Gesundheitsbelastungen aufgrund des Klimawandels durch Faktoren wie die öffentliche Gesundheit und die sozioökonomischen Bedingungen sowie durch die getroffenen Anpassungsmassnahmen beeinflusst beziehungsweise moderiert wird. Die grünen Pfeile am unteren Rand zeigen positive oder negative Rückkopplungsmechanismen zwischen den sozialen Infrastrukturen, dem Gesundheitswesen, den Anpassungsmassnahmen sowie dem Klimawandel selbst. Zum Beispiel können Massnahmen zur Verbesserung der Gesundheit auch Treibhausgasemissionen reduzieren, was wiederum das Ausmass und die Geschwindigkeit des Klimawandels bremst und die lokale Gesundheit verbessert. Die Beispiele sind eine Auswahl und dienen der Illustration. (Quelle: IPCC 2014/WGII/Chap.11)

nehmen, was vor allem Leute mit Asthma oder Allergien betreffen würde.

Übertragbare Krankheiten

Für die Schweiz dürften die prognostizierte Zunahme von Hitzewellen (CH2014 2014), Veränderungen bei krankheitsübertragenden Vektoren und eine allfällige Verlängerung der Pollensaison gesundheitlich relevant sein. Bei den krankheitsübertragenden Vektoren muss die Rolle des Klimawandels aber in Bezug zu anderen ursächlich wichtigen Faktoren gesetzt werden. So führen die im Rahmen der Globalisierung weltweit zunehmenden Migrations- und Materialflüsse zu klimaunabhängigen, globalen Verschleppungen von Vektoren und Krankheitserregern, wie das Beispiel der im Tessin und nunmehr auch in der Nordschweiz heimisch gewordenen Tigermücke (Aedes albopictus) zeigt (Kutlar 2010; Suter et al. 2015). Das Beispiel der Malaria, die bis zur ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts auch im kühleren Klima in der Schweiz vorkam (Kutlar 2010), zeigt, dass gesundheitspolitische Strategien wie die Bekämpfung der Infektionsquellen respektive der infizierten Überträger (Vektoren) – im Fall der Malaria durch die Trockenlegung von Sumpfgebieten – einen viel stärkeren Einfluss auf die Gesundheit haben können als der Klimawandel. Entscheide in gesundheitlich relevanten Politikbereichen sowie das Verhalten der Bevölkerung dürften in der Schweiz auch in Zukunft die Bedeutung der durch Vektoren übertragenen Krankheiten stärker beeinflussen als das Klima. Generell dürften der hohe Gesundheitsstatus und die in der Schweiz starken Ressourcen zur Anpassung die Verletzlichkeit im Bereich der Gesundheit verringern.

Extremereignisse

Die Zunahme von Extremereignissen wie Hitzewellen oder Starkniederschläge wird global für die betroffenen

Bevölkerungen – insbesondere bei Menschen, die beruflich im Freien arbeiten – gesundheitliche Folgen haben (IPCC 2014/WGII/Chap.11). Die Arbeitskapazität und Leistungsfähigkeit wird durch extreme Klimabedingungen beeinträchtigt. Zudem können bei nicht sachgemässer Lagerung von Nahrungsmitteln während Hitzewellen Lebensmittelvergiftungen zunehmen. Dürreperioden, Waldbrände oder schwere Regenfälle und Überschwemmungen haben direkte und indirekte gesundheitliche Auswirkungen. Beispiele aus Australien, Kalifornien und Russland zeigen, dass bei ungünstigen Windverhältnissen grossflächige Waldbrände – auch weit ab von Agglomerationen – zu massiven und langanhaltenden gesundheitsschädigenden Smogbelastungen in Grossstädten führen können (IPCC 2014/WGII/TS). In der Schweiz sind die Auswirkungen von Hitzewellen auf die Sterberaten sowie Spitaleinweisungen dokumentiert (CH2014 2014; Grize et al. 2005; Manser et al. 2013).

Anpassung

In Regionen mit wachsendem Wohlstand können die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels limitiert respektive durch für die Volksgesundheit förderlichen gesellschaftlichen Fortschritte kompensiert werden. Die gesundheitlich wirksamsten Anpassungen sind identisch mit den global wichtigsten, klimaunabhängigen gesundheitspolitischen Strategien. Dazu gehören zum Beispiel:

- Sicherer Zugang zu sauberem Trinkwasser, medizinische Grundversorgung und Impfprogramme,
- Bekämpfung der Armut und
- Programme für den wirksamen Umgang mit Naturkatastrophen und zur Erhaltung einer gesunden Umwelt.

Falls arme Länder am Fortschritt nicht genügend teilhaben können, werden dort die gesundheitlichen Folgen des Klimawandels zunehmen und den Fortschritt weiter verlangsamen. Für die Schweiz sollte dies jedoch kein Problem darstellen.

Hitzeereignisse

Ob und in welchem Ausmass die für die Schweiz wichtigsten gesundheitlich relevanten Faktoren des Klimawandels (Hitzewellen, extreme Niederschläge) die Gesundheit der Schweizer Bevölkerung beeinträchtigen werden, lässt sich aus Beobachtungen in der Vergangenheit (Grize et al. 2005) ohne Berücksichtigung der Anpassungen nicht abschliessend beurteilen. So konnten nach den extremen Hitzewellen von 2003 dank gesundheitspolitischen Massnahmen die Folgen späterer Extremereignisse in Frankreich (Fouillet et al. 2008) und Europa (Kovats 2006) deutlich reduziert werden. Verschiedene Kantone (z. B. Waadt) haben in den letzten Jahren Massnahmenpläne entwickelt um die Folgen von Hitzewellen zu dämpfen. Die Auswirkungen der Hitze können verringert werden durch:

- Anpassen des Verhaltens: direkte Sonneneinstrahlung vermeiden, Flüssigkeitsaufnahme erhöhen, kühlende Speisen zu sich nehmen, sportliche Aktivitäten im Freien während Spitzenbelastungen vermindern beziehungsweise danach den Salz- und Wasserverlust ausgleichen; Wohnung und Körper möglichst kühl halten,
- Massnahmen bei der baulichen Infrastruktur: hohe Isolation und/oder Klimaanlagen und
- Freiraumgestaltung: Begrünung, Beschattung, Durchlüftung, offene Wasserflächen und -läufe (Wärmeinseleffekte reduzieren).

Langfristig erfolgt eine physiologische Anpassung des Menschen an die schleichende Zunahme der mittleren Temperatur. So steigt grundsätzlich zwar überall die Sterblichkeit während Hitzewellen wie auch Kältewellen. Die optimal mittlere Tagestemperatur – das heisst die Temperatur mit der niedrigsten Sterberate – hängt hingegen von der Klimazone ab.

Klimawirksame Schadstoffe beeinträchtigen auch die Gesundheit

Mit Ausnahme des CO_2 haben alle klimaaktiven Schadstoffe wie Russ oder Schwefeldioxid bei den in der Umwelt vorkommenden Konzentrationen direkte Auswirkungen auf die Gesundheit. Global lassen sich mehr als sieben Prozent aller Krankheiten und Todesfälle der globalen Krankheitslast[1] den Folgen dieser Luftschadstoffe zuordnen. Eine Senkung dieser Emissionen trägt nicht nur zum Schutz des Klimas sondern auch der Gesundheit bei. Eine Energiepolitik, die auf erhöhter Energieeffizienz und erneuerbaren Energien beruht, und die gleichzeitig die gesundheitsschädigenden Schadstoffemissionen mindert, leistet sowohl einen klima- wie auch gesundheitspolitischen Beitrag. Werden in der Schweiz die Immissionen der Russpartikel um 80 Prozent reduziert – wie dies von der Eidgenössischen Kommission für Lufthygiene gefordert wird – dient dies der Klimapolitik und bringt sofortigen und langfristigen gesundheitlichen Nutzen. Denn in der Schweiz lassen sich jedes Jahr mehrere tausend Todesfälle sowie eine erhebliche Zahl an Krankheitsfällen den Schadstoffen aus der Verbrennung zuordnen (ECOPLAN 2014).

1 Die Krankheitslast umfasst alle Lebensjahre, die wegen vorzeitigem Tod verloren oder wegen Krankheiten qualitativ eingeschränkten sind. Diese verlorenen oder eingeschränkten Lebensjahre können verschiedenen Ursachen zugeordnet werden. www.healthdata.org

Mobilität und Raumplanung

Die Raumplanung bietet mit dem Ausbau und der Förderung städtischer Transportsysteme Möglichkeiten sowohl zur Anpassung als auch zur Minderung: Diese Transportsysteme, die aktive Mobilität, dämmen den motorisierten Individualverkehr ein und führen damit zu erhöhter körperlicher Aktivität und reduzierten Schadstoffemissionen. Auch eine an die Klimaänderung angepasste Raum- und Siedlungsentwicklung kann zum Schutz des Klimas beitragen und die Gesundheit positiv beeinflussen, zum Beispiel durch vermehrte Grünflächen, die Vermeidung von Hitzeinseln und Verdichtung statt Zersiedelung (s. a. Kap. 2.13 Urbaner Raum, S. 126).

Herausforderungen für die Schweiz

In Risikoanalysen der Verwaltung (BAFU, BABS) wurde die Zunahme von Hitzewellen als wichtiges Risiko für die Schweiz identifiziert. Hingegen wurde bisher keine umfassende gesamtschweizerische Beurteilung der gesundheitlichen Relevanz von Klimawandel und Klimapolitik vorgenommen, die auch die Krankheitslast und -dynamik berücksichtigt. In einigen regionalen Studien (Aargau, Basel Stadt) wurde dies bereits gemacht. Eine umfassende Beurteilung muss auch einen Vergleich mit den Gesundheitsfolgen anderer Ursachen beinhalten, um die gesundheitliche Bedeutung des Klimawandels im Vergleich zu anderen Herausforderungen angemessen zu gewichten. In der Schweiz lassen sich beispielsweise weniger als ein Prozent der Spitaleinweisungen wegen Magen-Darm-Infektionen den Hitzewellen zuordnen (Manser et al. 2013). Ein grosser Anteil lebensmittelbedingter Infektionserkrankungen liesse sich jedoch durch klimaunabhängige Hygienemassnahmen vermeiden (Bless et al. 2014). Insgesamt dürfte in der Schweiz die Bedeutung des Klimawandels weniger durch seine direkten und indirekten Folgen bestimmt sein als durch politische Entscheide zum Klimaschutz und zur Anpassungsstrategie (BAFU 2014).

So dürfte für die Schweiz die wichtigste Strategie, die sowohl dem Klima wie der Gesundheit dient (Win-Win-Strategie) (Cheng 2013), in der aktiven Energie- und Luftreinhaltepolitik liegen. Nicht nur für Verkehrsmittel sondern auch für Holzfeuerungen müssen strengste Emissionsvorschriften gelten, falls man vermeiden möchte, dass die energiepolitisch sinnvolle Förderung von klimaneutralen Holzfeuerungen zu erhöhter Luftverschmutzung führt. Man kann für die Schweiz davon ausgehen, dass der direkte gesundheitliche Nutzen einer klimarelevanten Luftreinhaltepolitik höher ist, als die möglicherweise zu erwartenden gesundheitlichen Folgen des Klimawandels (s. a. Box Klimawirksame Schadstoffe beeinträchtigen auch die Gesundheit, S. 134).

Zentrale Bestandteile einer für die Gesundheit sinnvollen Vorsorgepolitik sind nebst der mit der Luftreinhaltung vereinbarten Energiepolitik auch die Anpassung an Hitzewellen sowie die Überwachung von Vektoren und Infektionskrankheiten bei Mensch und Tier. Wichtig ist, Entscheide zu vermeiden, die dem Klima dienen aber die Gesundheit schädigen.

Referenzen

BAFU (2014) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014 – 2019.** Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. Bern. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

Bless PJ, Schmutz C, Suter K, Jost M, Hattendorf J, Mäusezahl-Feuz M, Mäusezahl D (2014) **A tradition and an epidemic: determinants of the campylobacteriosis winter peak in Switzerland.** European Journal of Epidemiology 29: 527–537.

Cheng JJ, Berry P (2013) **Health co-benefits and risks of public health adaptation strategies to climate change: a review of current literature.** International Journal of Public Health 58: 305–311.

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, and ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

ECOPLAN, INFRAS (2014) **Externe Effekte des Verkehrs 2010. Monetarisierung von Umwelt-, Unfall- und Gesundheitseffekten.** Schlussbericht 18. Juni 2014.

Fouillet A, Rey G, Wagner V, Laaidi K, Empereur-Bissonnet P, Le Tertre A, Frayssinet P, Bessemoulin P, Laurent F, De Crouy-Chanel P, Jougla E, Hémon D (2008) **Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003?** A study of the 2006 heat wave. International Journal of Epidemiology 37: 309–317.

Grize L, Huss A, Thommen O, Schindler C, Braun-Fahrländer C (2005) **Heat wave 2003 and mortality in Switzerland.** Swiss Medical Weekly 135: 200–205.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 11 «Human health: impacts, adaptation, and co-benefits». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Technical Summary (TS). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kovats RS, Kristie LE (2006) **Heatwaves and public health in Europe.** European Journal of Public Health 16: 592–599.

Kutlar Joss M (2010) **Klimawandel und Gesundheit. Durch Mücken übertragene Infektionskrankheiten in der Schweiz.** Universitäten Basel, Bern und Zürich.

Manser CN, Paul M, Rogler G, Held L, Frei T (2013) **Heat waves, incidence of infectious gastroenteritis, and relapse rates of inflammatory bowel disease: a retrospective controlled observational study.** The American Journal of Gastroenterology 108: 1480–1485.

Suter T, Flacio E, Farina BF, Engeler L, Tonolla M, Müller P (2015) **First report of the invasive mosquito species Aedes koreicus in the Swiss-Italian border region.** Parasit Vectors 8: 402.

Xiao J, Peng J, Zhang Y, Liu T, Rutherford S, Lin H, Qian Z, Huang C, Luo Y, Zeng W, Chu C, Ma W (2014) **How much does latitude modify temperature-mortality relationship in 13 eastern US cities?** International Journal of Biometeorology 59: 365–372.

2.16 Globale Zusammenhänge und Migration

Die Schweiz entwickelt sich in einer zunehmend vernetzten Welt. Die Folgen des Klimawandels – sogar solche, die geografisch weit entfernt sind – können daher äusserst konkrete Auswirkungen auf die Schweizer Gesellschaft haben. Dies gilt auch für die Folgen des Klimawandels auf die Gesellschaft im Zusammenhang mit Sicherheit und Entwicklung. Einer der Hauptmechanismen, der die diesbezüglichen weltweiten Entwicklungen mit der Schweiz verbindet, ist die Migration.

Etienne Piguet (Universität Neuenburg)

Klimawandel, Sicherheit und Entwicklung

In den Kapiteln 12 (Human security) und 13 (Livelihoods and poverty) des Fünften IPCC-Sachstandsberichts (IPCC 2014/WGII/Chap.12 und Chap.13) werden die Folgen des Klimawandels auf die Sicherheit und die Entwicklung behandelt. Unter dem Begriff «menschliche Sicherheit» sind unter anderem zusammengefasst:
- die sicherheitsrelevanten Herausforderungen im engeren Sinne, insbesondere die Gefahr von Gewalt und Konflikten,
- Themen der materiellen Sicherheit, zum Beispiel Ernährungssicherheit und
- Themen der immateriellen Sicherheit, zum Beispiel bedrohte Lebensbedingungen einer Bevölkerung im Bereich der Freiheit oder der Kultur.

Die im Bericht zusammengestellten Forschungsarbeiten zeigen: Obwohl nie nur ein einzelner Faktor für die Gefährdung der menschlichen Sicherheit verantwortlich ist, ist das Klima diesbezüglich ein entscheidender Faktor (IPCC/WGII/Chap.12).

Materielle Sicherheit

Die meisten Studien zur Nahrungsmittelproduktion sagen ab 2050 einen Ernterückgang voraus (s. a. Kap. 2.10 Landwirtschaft, S. 111). Es hat sich bereits gezeigt, dass die Erwärmung Ressourcen wie Wasser, Fischbestände oder Viehzucht negativ beeinflusst. Jenseits bestimmter CO_2-Grenzwerte (Zeithorizont 2100 im Szenario ohne explizite Massnahmen zum Klimaschutz [kurz: Referenzszenario] RCP8.5) gefährdet die Kombination von hohen Temperaturen und Feuchtigkeit in gewissen Regionen die landwirtschaftlichen Tätigkeiten und die Arbeit ausserhalb der Wohnhäuser und erhöht so die Risiken für die Ernährungssicherheit signifikant (IPCC 2014/WGII/TS).

Die armen Bevölkerungsschichten sind besonders stark von den landwirtschaftlichen Ressourcen abhängig und anfällig für Preisschwankungen – und zwar gleichermassen in ländlichen als auch in städtischen Gebieten. Es bleibt zu hoffen, dass die technischen Fortschritte – zum Beispiel neues Saatgut und neue Düngemittel – diese Trends auffangen können. Auch falls sich diese Hoffnung erfüllen sollte, würden diese Neuerungen teuer und wären damit vor allem eher für die Reichen bestimmt. Eine Quantifizierung ist zwar nach wie vor schwierig, aber die zunehmende Intensität bestimmter klimatischer Extremereignisse wie beispielsweise tropischer Wirbelstürme (s. a. Kap. 1.8 Klima- und Wetterextreme, S. 52) wird ebenfalls Auswirkungen auf die armen Bevölkerungsschichten haben. Diese sind aufgrund ihrer Behausungen, der hohen Bevölkerungsdichte und dem fehlenden Zugang zum Gesundheits- und Rettungswesen häufig viel verletzlicher («Verwundbarkeit», s. a. Kap. 2.2 Das neue IPCC-Risikokonzept, S. 77).

Die extremste Form des verwehrten Zugangs zu den Ressourcen ist eindeutig der Verlust des eigenen Lebensraumes. Sofern keine Anpassungsmassnahmen ergriffen werden, werden bis Ende des 21. Jahrhunderts hunderte Millionen von Menschen davon bedroht sein (IPCC 2014/WGII/TS; IPCC 2014/WGII/Chap.5). Auch hier sind die armen Bevölkerungsschichten in allen Bereichen als erste betroffen:
- Die schutzbedürftigsten Länder – beispielsweise Bangladesch (IPCC 2014/WGII/Chap.5) – gehören zu den ärmsten Ländern,
- gefährdete Regionen sind häufig Küstenstädte mit benachteiligten Bevölkerungsgruppen wie Alexandria, Port-au-Prince oder Jakarta (IPCC 2014/WGII/Chap.5) und
- in diesen Städten sind die hochwassergefährdeten Quartiere häufig Slums und informelle Siedlungsgebiete.

Der Klimawandel beeinflusst auch die kulturellen Praktiken und Lebensformen sowie die identitätsstiftende Zugehörigkeit der Gemeinschaften zu ihrem Lebensraum (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Dies ist insbesondere der Fall in Ökosystemen, die fragil und stark von der Umwelt abhängig sind (z. B. Inuit in der Arktis).

Abbildung 2.21: In Saint-Louis im Senegal ist das Fischerquartier vom Wasseranstieg bedroht. (Quelle: Etienne Piguet)

Einigen Studien zufolge führen die Umweltzerstörungen zwangsläufig zu Teufelskreisen von Konflikten und Migration. Die direkte Verbindung zwischen Umweltbeeinträchtigungen und sich entwickelnden individuellen oder kollektiven Gewalttaten wird jedoch in der Wissenschaft kontrovers diskutiert. Weniger umstritten ist die Tatsache, dass klimabedingte Gefährdungen wirtschaftliche und politische Probleme und damit indirekt die Risiken von Gewalt verschärfen können (IPCC 2014/WGII/Chap.23). Unabhängig von ihrer Ursache scheinen Konflikte die Verletzlichkeit der betroffenen Gesellschaften gegenüber dem Klimawandel zu erhöhen.

Migration und Bevölkerungsbewegungen

Die historische Erfahrung mit klimatischen Extremsituationen wie Überschwemmungen und Dürren zeigt, dass diese grosse Bevölkerungsgruppen vertreiben können (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Die aktuellen Beobachtungen und die Modelle legen nahe, dass Überflutungen von Küstenabschnitten und schwindender Permafrost in Berggebieten zur Notwendigkeit einer Bevölkerungsumsiedlung und zu Migration führen können (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Bei klimabedingten Gefährdungen bewegen sich die Migranten grösstenteils auf die Städte zu, die oftmals jedoch selber sehr verletzlich sind (IPCC 2014/WGII/Chap.12), was die betroffenen Bevölkerungsschichten zusätzlich verletzlicher macht und ihnen sogar die nötigen Ressourcen rauben kann, mit denen sie vor Katastrophen flüchten könnten. Deswegen wächst die Bevölkerung der exponiertesten Städte und insbesondere der Küstenstädte paradoxerweise am schnellsten durch die Migration.

Trotz des Ernstes dieser Entwicklungen lässt der Grossteil der Studien den Schluss zu, dass die Schweiz nicht durch umweltbedingte Migrationswellen betroffen sein wird. Die durch klimatische Faktoren ausgelösten Bevölkerungsbewegungen finden tatsächlich vor allem über kurze Distanzen, innerhalb von Staaten und in geringerem Ausmass zwischen benachbarten Staaten statt. Zudem ist bei extremen Ereignissen von kurzer Dauer, wie beispielsweise bei Zyklonen, festzustellen, dass die vertriebenen Bevölkerungsgruppen anschliessend wieder an die Orte der Katastrophen zurückzukehren scheinen, um ihr Leben dort wieder aufzubauen (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Nur eine Minderheit fasst eine endgültige Migration über weite Distanzen ins Auge.

Die Ursachen für Migrationen sind vielfältig und weder Konflikte, noch Armut oder das Klima sind alleinige Faktoren einer Migration, es spielen häufig auch ökonomische Faktoren eine wichtige Rolle (Wirtschaftsflüchtlinge). Es ist nicht auszuschliessen, dass eine Kombination von Faktoren in bestimmten Gebieten zu akuten Krisen oder chronischen Schwierigkeiten führt und so einen Migrationsdruck auf die Schweiz erzeugen könnte. Dies ist insbesondere möglich, wenn bereits eine grössere Zahl von Menschen aus den betroffenen Regionen in der Schweiz lebt («Diaspora»). Diese Art der Migration wird jedoch bei weitem nicht das Ausmass erreichen wie Wanderungen über kurze Distanzen.

Herausforderungen für die Schweiz

Aus dem Fünften IPCC-Sachstandsbericht zu den Themen Entwicklung, Konflikte und Migration geht hervor, dass die Herausforderungen für die Schweiz vor allem indirekter Art sind. Zu den Herausforderungen gehören weniger die Asyl- und Migrationspolitik, sondern die Katastrophenhilfe vor Ort, die Entwicklungszusammenarbeit und die Friedensförderung.

Asylpolitik

Es existieren derzeit keine internationalen Rechtstexte, die in globalem Massstab Vertriebenen Schutz gewähren, wenn sie vor umweltbedingten Gefährdungen flüchten. Auch das Schweizer Recht kennt diesen Asylgrund nicht. Bis heute hat denn auch niemand Asyl oder eine vorläufige Aufnahme aufgrund einer «Umweltflucht» erhalten. Dies wird sich auch in Zukunft nicht gross ändern. Die Schweiz könnte hingegen eine Rolle bei der Umsetzung von besseren Aufnahmebedingungen für Umweltflüchtlinge in den Nachbarländern spielen, indem sie Bemühungen wie die Nansen-Initiative, in der sie an der Seite von Norwegen bereits eine wichtige Rolle übernimmt, weiterverfolgt und unterstützt (The Nansen Initiative 2016).

Migrationspolitik

Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass tendenziell bewegungsunfähige Bevölkerungsgruppen (z. B. aufgrund fehlender ökonomischer Ressourcen) zu den Hauptopfern klimabedingter Gefährdungen gehören. Eine erleichterte Migration kann daher eine wirkungsvolle Anpassungs- und Überlebensstrategie sein (IPCC 2014/WGII/Chap.12). Dieser Ansatz könnte im Rahmen von Migrationspartnerschaften und des internationalen Dialogs über die Migration verstärkt werden (EDA 2016b).

Katastrophenhilfe und Friedensförderung

Extreme Wetterereignisse werden häufiger und heftiger, Notsituationen nehmen zu. Da die darauf folgenden Verschiebungen von Bevölkerungsgruppen in der Regel zeitlich begrenzt sind und über kurze Distanzen erfolgen, verlangen sie vor allem eine humanitäre Nothilfe vor Ort und Massnahmen für den Wiederaufbau, zu deren Unterstützung die Schweiz verpflichtet ist. Falls sich die Umweltzerstörungen verschlimmern oder sich durch Konflikte verschärfen, sollte die Friedensförderung ebenfalls eine grössere Rolle spielen (EDA 2016a).

Entwicklungszusammenarbeit

Mehrere Schwerpunktländer der schweizerischen Entwicklungszusammenarbeit sind in Bezug auf klimatische Bedrohungen und Risikopopulationen an vorderster Front betroffen. Es ist wichtig, dass die Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Klimawandel von Anfang an in den Entwicklungsprojekten berücksichtigt werden – wie dies heute bereits häufig der Fall ist. Aus den Forschungsarbeiten geht unter anderem hervor, dass die Kosten für Investitionen in den Schutz und die Prävention vor klimabedingten Gefährdungen in der Regel um einiges tiefer sind als die sozialen und wirtschaftlichen Folgekosten im Falle einer Untätigkeit (IPCC 2014/WGII/Chap.5). Sogar die Folgen eines steigenden Meeresspiegels können aufgrund der Langsamkeit des Prozesses durch den Bau von Schutzvorrichtungen minimiert werden, allerdings sind diese Massnahmen oftmals sehr teuer.

Die Gefahr, dass die Klimaänderung die sozioökonomischen Ungleichheiten verschärft und die Sicherheit gefährdet, ist demnach erheblich. Die Multikausalität der Naturereignisse kann aber auch als ein Zeichen der Hoffnung interpretiert werden: Sie bedeutet, dass trotz der Unvermeidbarkeit gewisser klimabedingter Zerstörungen, gut durchdachte Präventions-, Schadensbegrenzungs- und Entwicklungsstrategien höchst aktuell bleiben.

Referenzen

EDA (2016a) **Aussenpolitik. Menschenrechte und Menschliche Sicherheit. Frieden**. www.eda.admin.ch

EDA (2016b) **Aussenpolitik. Menschenrechte und Menschliche Sicherheit. Migration**. www.eda.admin.ch

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 5 «Coastal systems and low-lying areas». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 12 «Human security». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 13 «Livelihoods and poverty». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Chapter 23 «Europe». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII)**. Technical Summary (TS). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

The Nansen Initiative (2016) **The Nansen Initiative – Towards a Protection Agenda for people displaced across borders in the context of disasters and the effects of climate change**. www.nanseninitiative.org

2.17 Versicherungs- und Finanzindustrie

Die aus Wetterextremen resultierenden gesamtökonomischen Schäden haben in den letzten Jahrzehnten zugenommen, dies vor allem aufgrund der Zunahme exponierter Sachwerte. Der Einfluss des Klimawandels ist dabei schwierig abzuschätzen. Der Klimawandel und die wirtschaftliche Entwicklung von Privateigentum und öffentlicher Infrastruktur werden das Schadenspotenzial wahrscheinlich weiter steigen lassen. Die Versicherungswirtschaft muss sich dabei neuen Herausforderungen wie steigenden Schadenssummen stellen. Bei einer Häufung von Ereignissen stellt sich auch die Frage der Versicherbarkeit. Um diese auch in Zukunft gewährleisten zu können, braucht es die stetige Weiterentwicklung von Präventionsmassnahmen, Massnahmen wie Prämienerhöhungen, Anpassungen der Versicherungsdeckung oder die zusätzliche Verteilung der Risiken. Die Finanzindustrie kann durch die Entwicklung neuer Finanzierungsmodelle dazu beitragen, dass ausreichend Kapital für Anpassungsmassnahmen bereit steht. Die Berücksichtigung von Klimarisiken trägt dazu bei, Anlagerisiken in der Vermögensverwaltung zu kontrollieren und unerwartete Verluste zu vermeiden.

*Lea Müller (Swiss Re), Olivia Martius (Universität Bern), David N. Bresch (Swiss Re, *neu ETH Zürich und MeteoSchweiz), Sabine Döbeli (Swiss Sustainable Finance)*

Die Schweiz ist ein Leben mit Naturkatastrophen gewöhnt. Überschwemmungen, Stürme und Hagel haben in der Schweiz in den vergangenen 60 Jahren immer wieder wirtschaftlichen Schaden verursacht. Auch andere Naturkatastrophen wie Hitzewellen, Lawinen, Erdrutsche und Felsstürze können die Bevölkerung bedrohen. Durch Präventionsmassnahmen kann das Risiko vermindert werden und Versicherungslösungen können die Schadensbewältigung tragbar machen. Im Folgenden werden die möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf die Versicherung von Sachwerten (z. B. Gebäude, Hausrat) diskutiert. Es fehlen die Grundlagen, um mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Versicherungsprodukte in den Bereichen Gesundheit, Energieversorgung und Tourismus zu diskutieren. Im letzten Abschnitt wird die Rolle der Finanzindustrie erläutert.

Drei Wirkungsweisen der Versicherung

Im Bereich Naturgefahren bezeichnet das Risiko die Grösse und Wahrscheinlichkeit eines möglichen Schadens und ist somit das Produkt von Eintrittshäufigkeit und Schadensausmass. Das Schadensausmass ist abhängig von der Intensität des Ereignisses, von den betroffenen Werten und von deren Schadensempfindlichkeit. Versicherungen sind eine Möglichkeit, die Risiken für Einzelpersonen und die gesamte Wirtschaft tragbar zu machen. Sie spielen eine zentrale Rolle bei der Bewältigung eines Ereignisses. Im Bereich des Klimawandels wirken Versicherungen auf drei Arten:

- **Stabilisieren der Lebensgrundlage von Einzelpersonen und der gesamten Wirtschaft**: Die Versicherungsindustrie erkennt mögliche Risiken, schätzt Risiken ab, bewertet diese und übernimmt Risiken. In einer Versicherung schliesst sich eine Vielzahl von Menschen zu einer Risikogemeinschaft zusammen. Die Risiken durch plötzliche und unvorhersehbare Ereignisse werden gemeinsam gestemmt und somit tragbar. Bei Naturkatastrophen übernehmen Versicherungen einen wesentlichen Teil der Schadenslast und unterstützen so die Intervention, Instandstellung und den Wiederaufbau. Sie engagieren sich auch im Bereich der Prävention. Die Versicherung trägt damit zur Stabilisierung der Lebensgrundlage von Einzelpersonen und der gesamten Wirtschaft bei (IPCC 2014/WGII). Auch können damit die Kosten dieser Risiken internalisiert werden.
- **Fördern von Innovation und Wachstum**: Auch die Privatwirtschaft kann potenzielle Risiken – etwa im Zusammenhang mit grossen Bauvorhaben oder der Entwicklung von neuen Techniken wie Windfarmen und Solartechniken – durch die Weitergabe an die Versicherung mindern. Hierbei nimmt die Versicherung eine wichtige Funktion als Innovations- und Wachstumsförderin ein (Swiss Re 2010). Dabei lanciert sie aktiv neue Produkte (Sach- und Haftpflichtversicherung von neuen Techniken wie Windfarmen und Solaranlagen, Wetterindexversicherungen für Landwirtschaft und Tourismus), die nicht nur den Versicherungsnehmern helfen, sich auf den Klimawandel einzustellen, sondern auch viel dazu beitragen können, dass die Umstellung auf eine klimafreundliche Wirtschaft gelingt.
- **Versorgen der Wirtschaft mit langfristigem Kapital**: Die Versicherungsindustrie verwaltet beachtliche Vermögenssummen, die für die Zahlung von zukünftigen Schäden benötigt werden, und zählt zu den grossen institutionellen Anlegern. Der grösste Teil des Kapitals wird langfristig in Staats- und Unternehmensanleihen angelegt und steht somit Regierungen und Unternehmen zur Verfügung (Swiss Re 2010).

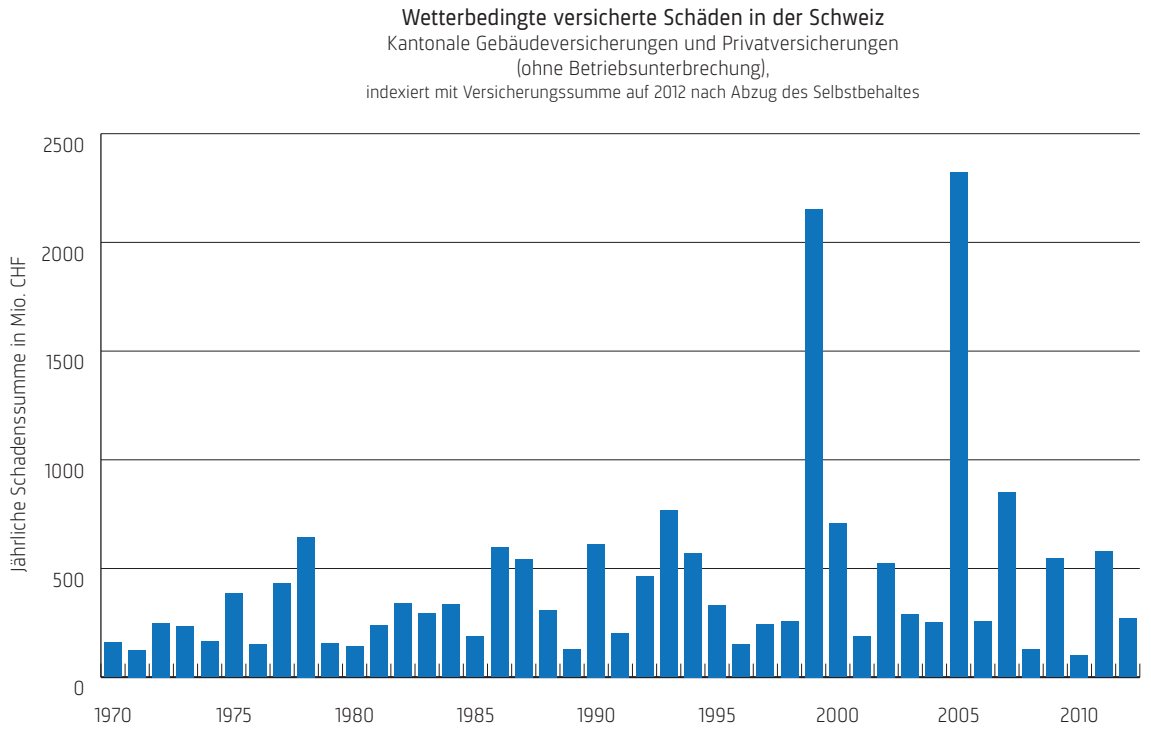


Abbildung 2.22: Wetterbedingte Schäden in der Schweiz von 1970 bis 2012. Die Schäden haben über die letzten 30 Jahre zugenommen. Diese Zunahme ist in erster Linie durch sozioökonomische Faktoren bedingt, wie beispielsweise die Zunahme von versicherten Werten oder die zunehmende Verwundbarkeit von Gebäuden. (Quelle: Schweizerischer Versicherungsverband 2011)

Versicherbarkeit

Die Versicherung stellt Kapital zur Deckung von Schäden durch Naturgefahren zur Verfügung; künftige Schadenszahlungen werden durch Prämieneinnahmen vorfinanziert. Die zentrale Voraussetzung ist dabei die Versicherbarkeit der Naturgefahren. Versicherbarkeit ist keine feste Formel, sondern ergibt sich aus einer Reihe grundlegender Kriterien, die erfüllt sein müssen, damit ein Risiko versicherbar ist (Swiss Re 2010):

- **Gegenseitigkeit:** Die Versicherungsnehmer und der Versicherer bilden eine Gemeinschaft und teilen die Risiken zu wirtschaftlichen und fairen Bedingungen.
- **Zufälligkeit:** Der Zeitpunkt eines versicherten Ereignisses an einem bestimmten Ort ist nicht vorhersehbar, und das Eintreten ist unabhängig vom Willen sowohl des Versicherten als auch des Versicherers. Häufig auftretende Schäden widersprechen hingegen dem Grundsatz der Versicherbarkeit. Für die Schadensminderung solcher Ereignisse müssen deshalb präventive Massnahmen getroffen werden.
- **Schätzbarkeit:** Die Häufigkeit und das Ausmass von Schadensereignissen müssen innerhalb eines angemessenen Erwartungsbereichs quantifiziert werden können.
- **Wirtschaftlichkeit:** Aus Sicht des Versicherers enthält der Preis die erwarteten Schadenskosten sowie Abschluss- und Verwaltungskosten des Geschäfts. Der Preis soll ausserdem einen angemessen Ertrag auf das Kapital ermöglichen, das auch den Ansprüchen der Kapitalgeber (z. B. Aktionäre) genügt. Schwerere Schäden und häufigere Schadensereignisse führen langfristig zu höheren Versicherungsprämien und angepassten Versicherungsbedingungen.

Der Klimawandel kann demnach die Versicherbarkeit von Naturgefahren insbesondere durch Veränderungen der Häufigkeit beeinflussen, zum einen indem gewisse Ereignisse sehr häufig werden und damit nicht mehr versicherbar, zum anderen indem heute sehr seltene, nicht schätzbare Ereignisse häufiger und damit schätz- und versicherbar werden.

Nationale Situation

Heute sind in der Schweiz 99 Prozent aller privaten Gebäude und beweglichen Güter versichert gegen Elementarschäden wie Hochwasser, Überschwemmung, Sturm, Hagel, Lawinen, Schneedruck, Felssturz, Steinschlag und Erdrutsch (Schweizerischer Versicherungsverband 2011).

In den letzten Jahren haben die naturbedingten Schäden an Gebäuden in der Schweiz zugenommen (siehe Abb. 2.22). Dieser Anstieg ist in erster Linie durch sozioökonomische Faktoren bedingt, wie der Zunahme von versicherten Werten oder der zunehmenden Verwundbarkeit von Gebäuden (CH2050; IPCC 2014/WGII), sei es aufgrund von architektonischen Veränderungen, der eingesetzten Materialien oder der Ansiedlung in Gefahrengebieten. Zudem spielen für den Trend wegen der für eine Betrachtung von Extremereignissen relativ kurzen Zeitperiode auch natürliche Schwankungen eine wichtige Rolle, wie das zufällige Auftreten von Einzelereignissen mit Rückkehrperioden, die möglicherweise weit über der untersuchten Zeitperiode liegen (z. B. Sturm «Lothar» 1999 oder die Überschwemmungen von 2005). Der wichtige Einfluss solcher sozioökonomischen Faktoren sowie der Einfluss von Präventionsmassnahmen erschweren es abzuschätzen, inwiefern die Schäden aufgrund des Klimawandels zunehmen (IPCC 2014/WGII). Quantitative Analysen sind deshalb noch ausstehend.

Die schadenträchtigsten Naturgefahren in der Schweiz sind Windstürme, Überschwemmungen, Starkniederschläge, Hagel sowie Hitzewellen und in zweiter Linie Massenbewegungen wie Lawinen, Steinschlag oder Murgänge. Überschwemmungen haben in den vergangenen 40 Jahren mehr als die Hälfte aller Naturkatastrophenschäden in der Schweiz verursacht (Swiss Re 2013). Ausserdem gefährden Hitzewellen die Gesundheit von Kleinkindern sowie betagten und chronisch kranken Menschen und haben in den letzten Jahren die meisten Todesopfer aufgrund von Naturgefahren gefordert (BAFU 2013).

Zukünftige Entwicklung

Der Klimawandel wird zu Änderungen in der Häufigkeit, der Dauer und der Intensität von Naturgefahren führen. Die Stärke der heutigen Klimamodelle liegt bei Vorhersagen von globalen Durchschnittswerten insbesondere der Temperatur. Viel schwerer tun sich die Modelle damit, regionale und lokale Phänomene wie Extremniederschläge darzustellen. Die Zunahme von Dauer und Intensität von Hitzewellen ist allerdings sehr wahrscheinlich, und auch eine Zunahme von Trockenperioden wird erwartet. Aussagen zu künftigen Änderungen von Starkniederschlägen und Hagel in der Schweiz sind mit grossen Unsicherheiten verbunden, es ist jedoch von einer Zunahme der Intensität von Starkniederschlägen auszugehen, dies aufgrund des höheren Wassergehalts von wärmerer Luft. Eine Zusammenfassung des heutigen Wissensstands zu den erwarteten Änderungen atmosphärischer Naturgefahren findet sich im Kapitel 5 der Swiss Climate Change Scenarios (CH2011 2011).

Versicherung von Gebäuden in der Schweiz

In der Schweiz sind bei den Gebäuden die Versicherungen von Feuer und Elementarschäden (Hochwasser, Überschwemmungen, Sturm, Hagel, Lawinen, Schneedruck, Felssturz, Steinschlag oder Erdrutsch) gekoppelt. Die Versicherung wird in 19 Kantonen jeweils durch eine kantonale Monopolanstalt, die so genannte Kantonale Gebäudeversicherung, angeboten, in den anderen Kantonen bieten private Versicherungsgesellschaften Elementarschadenversicherungen von Gebäuden an. Der Abschluss dieser Versicherung ist in allen Kantonen (mit Ausnahme der Kantone Genf, Tessin und Wallis) obligatorisch. Die Versicherungsprämien sowie der Selbstbehalt sind in der ganzen Schweiz durch Bund und Kantone gesetzlich geregelt und festgelegt. Hausrats- und Inventarversicherungen (Gebäudeinhalt) sind nur in den Kantonen Waadt und Nidwalden obligatorisch und werden durch die Kantonale Gebäudeversicherung abgedeckt. In allen anderen Kantonen bieten auch private Versicherungen diese Dienstleistungen an.
Die Kantonalen Gebäudeversicherungen bieten einen unbegrenzten Versicherungsschutz an, während für alle privat-rechtlichen Versicherungsunternehmen zusammen eine schweizweite Haftungslimite pro Ereignis von jeweils einer Milliarde Franken gilt. Diese sogenannte Katastrophenbremse müssen alle Versicherten solidarisch mittragen (Finma 2013).

Der Klimawandel könnte indirekt auch die Vulnerabilität von Gebäuden erhöhen, indem Minderungs- und Anpassungsmassnahmen wie Gebäudesanierungen (z. B. nachträglich installierte Aussenisolationen), auf Dächern installierte Solaranlagen oder das Anbringen von Sonnenstoren das Schadenspotenzial für gewisse Ereignisse erhöhen.

Die aktive Rolle der Versicherungsindustrie

Klimaanpassung ist eine dringliche Aufgabe für Entscheidungsträger auf nationaler und lokaler Ebene. Es sind viele Anpassungsmassnahmen bekannt, um die Anfälligkeit von Regionen, Gemeinden und Städten gegenüber dem Klimawandel zu reduzieren (BAFU 2013). Diesbezüglich findet auch ein regelmässiger Dialog unter allen Akteuren statt, insbesondere was die übergeordnete Zusammenarbeit mit der öffentlichen Hand anbelangt.

Die Versicherungsindustrie beurteilt und übernimmt Risiken und ist darauf angewiesen, bestehende aber auch neue Risiken frühzeitig zu erkennen und zu verstehen. Damit ist die Versicherungsindustrie prädestiniert, auch im Umgang mit dem Klimawandel eine wichtige und ak-

tive Rolle zu spielen. Anpassungsmassnahmen wie Hochwasserschutz, Zonenplanung oder angepasste Bauvorschriften können die Versicherungsprämien senken. Dies gilt allerdings nicht nur für Schutzmassnahmen im Hinblick auf den Klimawandel, sondern auch für die Behebung von Schutzdefiziten gegenüber bereits heute bestehenden Gefährdungen. Auf der anderen Seite verteuern risikoerhöhende Faktoren wie häufiger auftretende und stärkere Ereignisse die Prämie. In der Schweiz sind die Versicherung von Elementarschäden gesetzlich geregelt und die Prämien staatlich festgelegt (s. a. Box Versicherung von Gebäuden in der Schweiz, S. 141).

Durch das Erkennen und Bewerten (z. B. «Bepreisen») von heutigen, aber auch zukünftigen Risiken schafft die Versicherung Grundlagen für die langfristige Versicherbarkeit und – mit der Unterstützung von Präventionsanstrengungen beispielsweise durch Prämienerleichterungen – auch Anreize zu einem vorausschauenden Umgang und zur Risikoprävention. Anpassungsmassnahmen zur Stärkung der Klimaresilienz existieren (IPCC 2012/SREX; IPCC 2014/WGII).

Die Rolle von Banken und Vermögensverwaltern

Anpassungsmassnahmen lassen den Finanzierungsbedarf für Infrastruktur sowohl im öffentlichen wie auch im privatwirtschaflichen Sektor ansteigen (Swiss Re 2014). Hier kann die Finanzindustrie eine vermittelnde Rolle einnehmen und durch die Entwicklung neuer Finanzierungsmodelle dazu beitragen, dass ausreichend Kapital für diese Anpassungsmassnahmen bereitgestellt wird.

Die globalen Auswirkungen des Klimawandels verändern die Rahmenbedingungen für Unternehmen und wirken sich auch auf die Bewertung von Anlagevermögen aus. Dies führt zu neuen Risiken im Anlagegeschäft, die sowohl institutionelle wie auch private Anleger betreffen (Mercer 2011). Insbesondere Pensionskassen, die Kapital treuhänderisch verwalten, sind auf Vermögensverwaltungsdienstleistungen angewiesen, die Klimarisiken soweit als möglich berücksichtigen. Nötig sind dafür Methoden zur Abschätzung des Einflusses des Klimawandels auf den Wert von Anlagen. Banken und Vermögensverwalter sind gefordert, solche Methoden zu entwickeln und in ihre Vermögensverwaltung zu integrieren. Klimarisiken können sowohl bei der Bestimmung der Anlagestrategie und der Auswahl verschiedener Anlageklassen berücksichtigt werden wie auch bei der Auswahl einzelner Anlagen (z. B. CSSP & SPG 2015). Eine Möglichkeit ist, die gesamten CO_2-Emissionen eines Portfolios zu berechnen, indem die Emissionen einzelner Firmen relativ zu ihrem Anteil aufsummiert werden. Einzelne Investoren gehen sogar so weit, dass sie besonders CO_2-intensive Unternehmen (z. B. Erdölfirmen) ganz aus ihren Anlagen ausschliessen.

Herausforderungen für die Schweiz

Die Versicherungswirtschaft muss sich als Folge des Klimawandels Herausforderungen in den Bereichen Prämienschätzung, Prävention, Kapitalknappheit nach Grossereignissen und steigenden Schadenssummen stellen (IPCC 2014/WGII). Die Frage, ob Versicherungen weiterhin möglich sind, stellt sich grundsätzlich (IPCC 2014/WGII). Für die Schweiz wird dies relevant, sobald ein Einfluss des Klimawandels auf die Entwicklung der Schadenssumme erkennbar ist oder erwartet werden kann. Mögliche Anpassungsmassnahmen des Versicherungssektors umfassen Prämienerhöhungen, Einschränkung oder Minderung der Versicherungsdeckung, zusätzliche Verteilung der Risiken und das Schaffen von Anreizen zur Risikominderung (IPCC 2014/WGII).

Nicht-versicherte Naturkatastrophenschäden sind eine erhebliche finanzielle Belastung für Privatpersonen und den Staat. Meist übernimmt der Staat – und damit letztlich der Steuerzahler – die entsprechende Rechnung bei schweren Katastrophen. Nach einem Ereignis muss die Regierung unmittelbar Kosten für Interventions- und direkte Hilfsmassnahmen tragen und für längerfristige Folgekosten von grossen Infrastrukturprojekten aufkommen, wenn beschädigte Strassen oder andere öffentliche Anlagen und Einrichtungen wieder aufgebaut werden müssen. Eine Versicherung ist ein vorausschauender Finanzierungsmechanismus für Wirtschaft und Private, denen die finanziellen Möglichkeiten, wie sie ein Staat hat, zur Deckung von Folgekosten fehlen.

Der Schutz vor Naturgefahren erfolgt heute nach den Grundsätzen des integralen Risikomanagements, wobei mit allen Beteiligten ein umfassender Umgang mit Naturgefahren etabliert wird. So arbeiten Bundes-, Kantons- und Gemeindeebenen sowie Versicherungen und Bevölkerung zusammen, um vorausschauend mit Naturgefahren umzugehen und somit frühzeitig agieren und nicht nur reagieren zu können. Wenn sich in der Schweiz aufgrund des Klimawandels die Häufigkeit von schadenbringenden Naturgefahren ändert, kann dies zu Anpassungen im integralen Risikomanagement führen und folgende Konsequenzen für die Versicherbarkeit beziehungsweise Notwendigkeit von Prävention dieser Ereignissen haben:

– Wenn ein kleines Ereignis lokal sehr viel häufiger auftritt, zum Beispiel im Schnitt alle drei Jahre anstatt alle 15 Jahre, ist eine Versicherung dieses Ereignisses unter Umständen nicht mehr wirtschaftlich, und das Ereignis ist demnach nicht mehr versicherbar. Dann müssen an-

dere, präventive Schutzmassnahmen getroffen werden, zum Beispiel bauliche Massnahmen. Zusätzliche Prävention ist aber auch bei noch versicherbaren Ereignissen eine Möglichkeit.

– Wenn sehr grosse schadenbringende Ereignisse – die im Moment nicht versicherbar sind, weil sie so selten auftreten (z. B. durchschnittlich alle tausend Jahre), dass das Prinzip der Schätzbarkeit nicht gegeben ist – häufiger und damit schätzbar werden, sollten die Versicherungen entsprechende Versicherungsmöglichkeiten anbieten und müssten dazu ihre Kapitaldeckung erhöhen.

Grosse internationale Investoren erwarten schon heute, dass solche Klimarisiken in der Vermögensverwaltung berücksichtigt werden. Für Schweizer Banken und Vermögensverwalter ist es daher wichtig, dass sie geeignete Prozesse zur Berücksichtigung von Klimarisiken bei Anlagen etablieren und diese laufend weiterentwickeln, um international konkurrenzfähig zu bleiben.

Anpassung an den Klimawandel ist günstiger als Zuwarten, aber nicht gratis – und bleibt nur dann bezahlbar, wenn der Klimawandel und damit auch seine Auswirkungen in möglichst engen Grenzen gehalten werden können.

Referenzen

BAFU (2013) **Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau.** Ergebnisbericht. Bundesamt für Umwelt.

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011.** Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

CH2050 (2007) **Klimaänderung und die Schweiz 2050, Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft.** OcCC, Bern (eds.), 168 pp.

CSSP, SPG (2015) **Kohlenstoffrisiken für den Finanzplatz Schweiz.** Center for Social and Sustainable Products & South Pole Group (eds.), Zürich/Vaduz, 94 pp.

Finma (2013) **Elementarschadenversicherung in der Schweiz (ES-Versicherung) Historie und Anwendungsbereich.** www.finma.ch

IPCC (2012) **Special Report «Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation» (SREX).** www.ipcc.ch/report/srex

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Mercer (2011) **Climate Change Scenarios – Implications for strategic asset allocation.** Mercer, London.

Schweizerischer Versicherungsverband (2011) **Die einzigartige Elementarschadenversicherung.** www.svv.ch

Swiss Re (2010) **Wegweisende Einführung in die Rückversicherung.** www.swissre.com

Swiss Re (2013) **Geschichte der Versicherung in der Schweiz.** www.swissre.com

Swiss Re (2014) **Economics of Climate Adaptation – Shaping climate resilient development: A global overview of case studies with a focus on infrastructure.** www.swissre.com

2.18 Strategien und Massnahmen des Bundes zur Anpassung an den Klimawandel

Die Folgen des Klimawandels sind mit höheren Temperaturen sowie veränderten Niederschlagsverhältnissen und Naturgefahrenereignissen auch in der Schweiz bereits zu erkennen. Es ist zu erwarten, dass sie spätestens ab Mitte des 21. Jahrhunderts noch deutlicher spürbar werden. Um Verwaltung, Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt bestmöglich zu unterstützen, hat der Bund die Strategie «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz» erarbeitet. Die Ziele sind, die Risiken des Klimawandels zu minimieren, die Bevölkerung, Sachwerte und die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen sowie die Anpassungsfähigkeit von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt zu steigern. Zur Strategie gehört auch ein Aktionsplan mit 63 Massnahmen, die in den Jahren 2014 bis 2019 umgesetzt werden sollen. Für eine erfolgreiche Umsetzung ist es nötig, die Anpassungsstrategie in andere Strategien und Politiken des Bundes zu integrieren. Anpassung ist aber nicht nur eine Aufgabe des Staates, sondern muss durch alle betroffenen Akteure erfolgen.

Marco Pütz (WSL), Anthony Patt (ETH Zürich), Roland Hohmann (BAFU)

Grundlagen der Anpassung

Es gibt kein Patentrezept für die Anpassung an den Klimawandel. Die Auswirkungen des Klimawandels weisen grosse örtliche und zeitliche Unterschiede auf. Aus diesem Grund müssen Anpassungsmassnahmen so geplant und umgesetzt werden, dass sie die konkreten Bedingungen und Erfahrungen vor Ort berücksichtigen. Die heute am weitesten verbreiteten Anpassungsaktivitäten betreffen Versicherungen oder technische Massnahmen gegen Naturgefahren wie zum Beispiel Dämme gegen Hochwasser oder Schlammlawinen. Andere Aktivitäten wie ökosystembasierte, institutionelle oder gesellschaftliche Massnahmen – beispielsweise die Warnung und Alarmierung im Gesundheitsbereich – gewinnen zunehmend an Bedeutung.

Bei der Anpassung kann zwischen autonomer und geplanter Anpassung unterschieden werden. Während autonome (auch spontane) Anpassung selbständig, ungeplant und unbewusst erfolgt, ist geplante Anpassung gezielt auf reale oder erwartete Klimaänderungen mit ihren Folgen ausgerichtet. Eine weitere Möglichkeit ist, zu unterscheiden zwischen technischen, ökosystembasierten und gesetzlichen sowie management- und politikorientierten Klimaanpassungsmassnahmen.

Am wirksamsten sind Anpassungsaktivitäten, wenn sie Synergien nutzen und Win-Win-Situationen (Co-Benefits) mit anderen Aktivitäten herstellen können. Bei der Auswahl der Anpassungsmassnahmen sind flexible und auf Lernen ausgerichtete Massnahmen zu bevorzugen.

Anpassung an den Klimawandel

Anpassung an den Klimawandel bezeichnet den Prozess der Anpassung von natürlichen und gesellschaftlichen Systemen an tatsächliche und erwartete Veränderungen des Klimas sowie deren Folgen. Ziele der Anpassung sind, die negativen Auswirkungen zu mindern und Vorteile zu nutzen. In Europa gehören zu den grössten Handlungsfeldern für Klimaanpassung Hitzewellen, extreme Niederschlagsereignisse, der Anstieg des Meeresspiegels, Hochwasser sowie Veränderungen der Wasserressourcen und der Biodiversität (IPCC 2014/WGII/SPM).

Erschwerende Umstände

Die Planung und Umsetzung von Anpassungsaktivitäten wird unter anderem durch folgende Umstände erschwert:
- die lokalen Folgen des Klimawandels sind unklar,
- finanzielle und personelle Ressourcen sind ungenügend,
- die Koordination der Anpassungsaktivitäten ist nicht übergreifend über Sektoren und administrative Ebenen,
- klimabedingte Risiken sind zu wenig bekannt und werden unterschiedlich eingeschätzt,
- Massnahmen und ihre Wirkungen und damit Kosten und Nutzen sind zeitlich entkoppelt,
- Leadership in Politik, Verwaltung oder Wirtschaft fehlt teilweise.

In der internationalen Debatte wird nach Entwicklungspfaden gesucht, die Massnahmen zum Schutz des Klimas und zur Anpassung an den Klimawandel kombinieren, um eine nachhaltige Entwicklung zu ermöglichen. Synergien zwischen Klimaschutz und Klimaanpassung repräsentieren jedoch nicht unbedingt immer die jeweils wirksamsten Massnahmen (IPCC 2014/WGII/SPM).

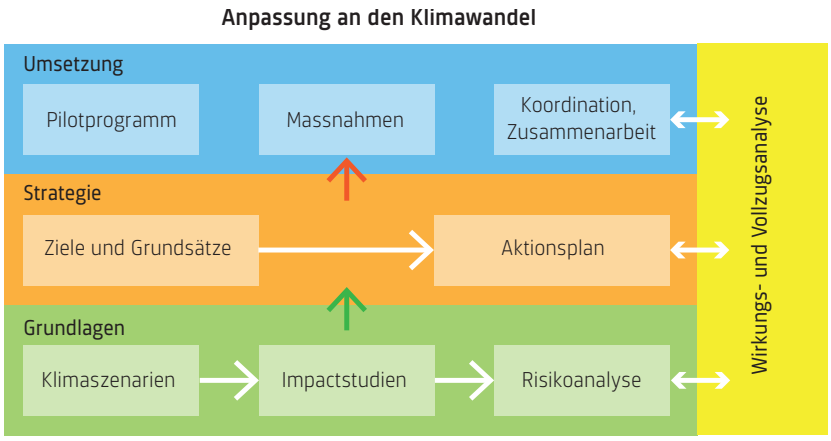


Abbildung 2.23: Klimaanpassungspolitik in der Schweiz: Grundlagen, Strategie, Umsetzung und Monitoring. (Quelle: BAFU 2014)

Strategie des Bundesrates zur Anpassung

Artikel 8 des CO_2-Gesetzes sieht vor, dass der Bund Aktivitäten zur Anpassung an den Klimawandel koordiniert und Massnahmen zur Verbesserung der Wissensgrundlagen ergreift. Darauf basierend hat der Bundesrat die Verwaltung beauftragt, eine Strategie zur «Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz» zu entwickeln.

Teil 1 der Strategie: Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder

Am 2. März 2012 wurde der erste Teil der Strategie genehmigt, der die Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder für die Klimaanpassung in der Schweiz enthält (BAFU 2012). Die drei Ziele der Strategie sind:
- die sich ergebenden Chancen nutzen,
- die Risiken des Klimawandels minimieren und den Schutz von Bevölkerung, Sachwerten und den natürlichen Lebensgrundlagen sicherstellen,
- die Anpassungsfähigkeit von Gesellschaft, Wirtschaft und Umwelt steigern.

Ausserdem umfasst die Strategie neun Teilstrategien für neun Sektoren (Wasserwirtschaft, Umgang mit Naturgefahren, Landwirtschaft, Waldwirtschaft, Energie, Tourismus, Biodiversitätsmanagement, Gesundheit und Raumentwicklung) sowie zwölf sektorübergreifende Herausforderungen.

Teil 2 der Strategie: Aktionsplan 2014 – 2019

Als zweiten Teil seiner Strategie zur Anpassung an den Klimawandel hat der Bundesrat am 9. April 2014 einen Aktionsplan verabschiedet (BAFU 2014). Der Aktionsplan enthält Massnahmen, die bereits umgesetzt werden, konkret geplant oder noch zu entwickeln sind, um die Anpassungsstrategie in den Jahren 2014 – 2019 umzusetzen und die Schweiz auf die Folgen des Klimawandels vorzubereiten. Zu den insgesamt 63 Massnahmen des Aktionsplans gehören 54 sektorale Massnahmen in den genannten neun Sektoren, die vor allem in den jeweiligen Sektoralpolitiken umgesetzt werden sollen. Weitere fünf Massnahmen dienen dazu, sektorenübergreifend die Wissensgrundlagen zu verbessern. Mit den letzten vier Massnahmen soll die Zusammenarbeit von Bund, Kantonen, Städten und Gemeinden für die Anpassung an den Klimawandel verbessert werden. Die Fortschritte bei der Umsetzung der Massnahmen und die erzielte Wirkung werden regelmässig überprüft. Spätestens 2019 wird über das weitere Vorgehen bei der Anpassung an den Klimawandel entschieden.

Strategien aufeinander abstimmen

Für eine erfolgreiche Umsetzung der Klimaanpassungsaktivitäten ist es wichtig, dass die Anpassungsstrategie in andere Strategien und Politiken des Bundes integriert wird oder zu deren Ergänzung und Umsetzung hinzugezogen wird. Abstimmungsbedarf besteht unter anderem mit
- Strategie «Sicherheit vor Naturgefahren» der Plattform Naturgefahren PLANAT,
- Umsetzung des Berichts «Umgang mit lokaler Wasserknappheit»,
- Klimastrategie Landwirtschaft,
- Waldgesetz,
- Energiestrategie 2050,
- Wachstumsstrategie für den Tourismusstandort Schweiz,
- Strategie Biodiversität Schweiz,
- Tiergesundheitsstrategie Schweiz 2010+ und
- Raumkonzept Schweiz.

Förderung und Umsetzung von Klimaanpassungsaktivitäten in der Schweiz

Die geplante Klimaanpassung in der Schweiz basiert auf soliden wissenschaftlichen Grundlagen und einer differenzierten Strategie. Die Umsetzung erfolgt durch verschiedene Massnahmen und wird unterstützt durch ein Pilotprogramm. Für die Weiterentwicklung von Grundlagen, Strategie und Umsetzung wird ein Monitoring aufgebaut, um Wirkungen und Vollzug evaluieren zu können (s. Abb. 2.23). Die Klimaanpassungsaktivitäten des Bundes werden nur dann erfolgreich sein, wenn die Betroffenen aktiv mitmachen und zusätzlich eigene Initiativen ergreifen.

Klimabedingte Risiken und Chancen bis 2060 analysieren

Neben den Klimaszenarien (CH2011) und Impact-Studien (CH2014) ist die Analyse der klimabedingten Risiken und Chancen bis 2060 eine zentrale wissenschaftliche Grundlage für Klimaanpassungsaktivitäten in der Schweiz. Dazu wurde eine Methode entwickelt, mit der Risiken und Chancen des Klimawandels sektorenübergreifend und nach verschiedenen klimawandelbedingten Gefahren und Effekten analysiert und auf quantitative oder qualitative Weise bewertet werden können (Holthausen et al. 2011). Die Methode berücksichtigt sowohl projizierte klimatische als auch demographische und sozioökonomische Veränderungen in der Schweiz. Die Analyse erfolgt für die sechs Grossräume der Schweiz: Mittelland, Alpen, Voralpen, Jura, Südschweiz und grosse Agglomerationen. Für jeden dieser Grossräume wird mindestens ein repräsentativer Kanton analysiert. Die erste Fallstudie im Kanton Aargau (EBP et al. 2014) zeigt, dass durch den Klimawandel einerseits Risiken für Biodiversität und Gesundheit entstehen, andererseits leichte Chancen für den Energieverbrauch und die Landwirtschaft zu erwarten sind. Die Analyse für die gesamte Schweiz wird voraussichtlich Mitte 2017 vorliegen.

Pilotprogramm: Innovative Projekte in den Regionen fördern

Um Anpassungsaktivitäten in den Regionen zu fördern, wurde 2013 vom Bundesamt für Umwelt zusammen mit anderen Bundesämtern das «Pilotprogramm Anpassung an den Klimawandel» lanciert. Innovative und beispielhafte Projekte zur Anpassung an den Klimawandel in Kantonen, Regionen und Gemeinden werden mit finanzieller Unterstützung des Bundes umgesetzt. Aus über 100 Gesuchen wurden dazu 31 Projekte ausgewählt, die sich auf fünf Themengebiete verteilen: Management von Ökosystemveränderungen und Landnutzung, Umgang mit lokaler Wasserknappheit, Umgang mit Naturgefahren, Wissenstransfer und Governance, klimaangepasste Stadt- und Siedlungsentwicklung. Die ersten Projekte sind im Januar 2014 gestartet. Bis Ende 2016 werden alle Projekte beendet sein; das gesamte Programm wird 2017 durch eine Synthese abgeschlossen.

Anpassungsaktivitäten der Kantone und Regionen

Unabhängig vom Pilotprogramm werden in den Kantonen und Regionen Strategien und Massnahmen zur Anpassung entwickelt. So hat im Kanton Uri (2011) der Regierungsrat eine «Klimastrategie» zum Umgang mit dem Klimawandel beschlossen. Darin sind Ziele und Umsetzungsschritte für Anpassung, Verminderung der Treibhausgasemissionen, Monitoring und Wissensbildung sowie Kommunikation und Information formuliert. Der Kanton Graubünden hat Anfang 2016 seine Klimastrategie verabschiedet, die sowohl die Vermeidung als auch die Anpassung behandelt (ANU 2015). In den Kantonen Basel Stadt, Schaffhausen, Bern, Aargau und Zürich (zusammen mit der Internationalen Bodenseekonferenz) wurden Übersichten erarbeitet über die regionalen Folgen des Klimawandels, den Handlungsbedarf und die Möglichkeiten zur Anpassung.

In den nächsten Jahren werden die begonnenen Anpassungsaktivitäten fortgeschrieben und erweitert. Dazu gehören wichtige Grundlagen wie neue regionalisierte Klimaszenarien, die für 2018 geplant sind. Und von grossem Interesse sind sicher auch die Ergebnisse der Vollzugs- und Wirkungsanalyse, die unter anderem auf den für Ende 2015 erstmals verlangten Fortschrittsberichten der Kantone und beteiligten Bundesämtern basieren und 2018 vorliegen sollen. Basierend auf den konkreten Erfahrungen der Umsetzung von Anpassungsaktivitäten vor Ort soll schliesslich ein zweiter Aktionsplan ab 2018 erarbeitet werden.

Referenzen

ANU (2015) **Klimawandel Graubünden. Synthese der Herausforderungen und Handlungsfelder.** Arbeitspapier 4 einer kantonalen Klimastrategie. Chur, 27 pp.

BAFU (2012) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Ziele, Herausforderungen und Handlungsfelder.** Erster Teil der Strategie des Bundesrates vom 2. März 2012. Bern. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

BAFU (2014) **Anpassung an den Klimawandel in der Schweiz. Aktionsplan 2014 – 2019.** Zweiter Teil der Strategie des Bundesrates vom 9. April 2014. Bern. www.bafu.admin.ch/klimaanpassung

CH2011 (2011) **Swiss Climate Change Scenarios CH2011.** Published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp. ISBN: 978-3-033-03065-7

CH2014-Impacts (2014) **Toward Quantitative Scenarios of Climate Change Impacts in Switzerland.** Published by OCCR, FOEN, MeteoSwiss, C2SM, Agroscope, ProClim, Bern, Switzerland, 136 pp.

EBP, WSL, SLF (2014) **Risiken und Chancen des Klimawandels im Kanton Aargau.** Ergebnisbericht im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU).

Holthausen N, Perch-Nielsen S, Locher P, de Haan van der Weg P, Pütz M, Bründl M (2011) **Pilotprojekt Analyse klimabedingter Risiken und Chancen in der Schweiz.** Schlussbericht. Im Auftrag vom Bundesamt für Umwelt BAFU und vom Bundesamt für Raumentwicklung ARE. Ernst Basler + Partner AG, Zollikon, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 145 pp.

IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Summary for Policymakers (SPM). www.ipcc.ch/report/ar5/wg2

Kanton Uri (2011) **Umgang mit dem Klimawandel. Klimastrategie des Kantons Uri.** Im Auftrag des Regierungsrat des Kantons Uri. Altdorf, 46 pp.