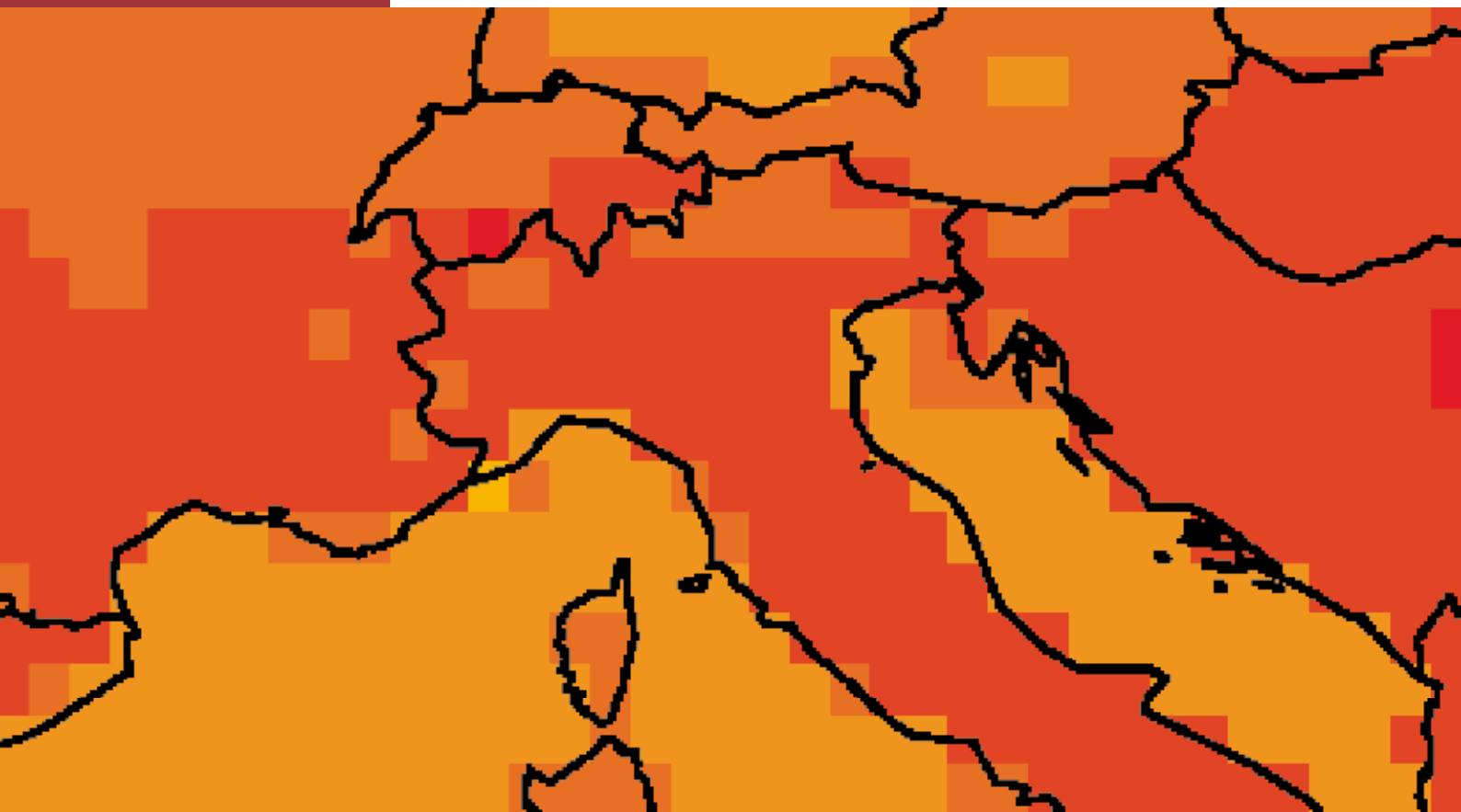


Klimaänderung und die Schweiz 2050

Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft



Herausgeber und Vertrieb

OcCC / ProClim–
Schwarztorstrasse 9
3007 Bern

Tel.: (+41 31) 328 23 23
Fax.: (+41 31) 328 23 20
Email: occc@scnat.ch

Bern, März 2007

Titelbild

Ausschnitt aus einer modellierten Temperaturveränderungskarte der CH2050-Grundlagenszenarien,
Christoph Frei, MeteoSchweiz, Zürich

Das Beratende Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC) hat den Auftrag, Empfehlungen zu Fragen des Klimas und der Klimaänderungen zu Händen von Politik und Verwaltung zu formulieren. Es wurde 1996 vom Eidg. Departement des Innern (EDI) und vom Eidg. Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) eingesetzt. Das Mandat zur Bildung des Organs wurde der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT) übertragen. Diese hat rund 30 Persönlichkeiten aus Forschung, Wirtschaft und der Bundesverwaltung eingeladen, in diesem beratenden Organ mitzuwirken. Die Begleitung des Mandates seitens der Bundesverwaltung obliegt dem Bundesamt für Umwelt (BAFU).

ProClim– Forum für Klima und Global Change ist ein Organ der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT). Es wurde 1988 gegründet und unterstützt den Dialog zwischen Forschenden, Entscheidungsträgern sowie der Öffentlichkeit.

Klimaänderung und die Schweiz 2050

Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft

Editorial	4
Zusammenfassung	5
Einleitung	9
Grundlagen	11
1. Die Klimazukunft der Schweiz	12
2. Extremereignisse	17
3. Einfache Abschätzungen weiterer klimatischer Grössen	18
4. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserkreislauf	21
Landökosysteme	25
1. Einleitung	26
2. Biodiversität	29
3. Naturgefahren und Lebensraumsicherheit	34
4. Nutzen und Produkte von Ökosystemen	38
Landwirtschaft	41
1. Einleitung	42
2. Inländische Pflanzenproduktion	44
3. Extreme Witterungsereignisse	45
4. Ertragsicherheit	46
5. Wasserversorgung und Standort	47
6. Schadorganismen und deren Bedeutung	47
7. Erzeugung von Lebensmitteln durch Tierhaltung	49
8. Massnahmen bei Kulturen, Anbauverfahren und Betriebsführung	50
9. Nationale und globale Nahrungsversorgung	52
Wasserwirtschaft	55
1. Einleitung	56
2. Veränderungen in natürlichen Gewässern	58
3. Naturgefahren Wasser	60
4. Wasserdargebot und Wasserbedarf	63
5. Wassernutzung	64
6. Verstärkte Bewirtschaftung der Wasserressourcen	65
Gesundheit	67
1. Einleitung	68
2. Hitzewellen	70
3. Weitere Extremereignisse: Überschwemmungen, Erdbeben, Stürme	72
4. Lebensmittelvergiftungen	74
5. Atemwegserkrankungen und Allergien	74
6. Vektorübertragene Krankheiten	76
Tourismus	79
1. Einleitung	80
2. Veränderung von Angebot und Nachfrage unter Klimaaspekten	82
3. Auswirkungen der Klimaänderung auf das natürliche touristische Angebot	83
4. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Tourismus in der Schweiz	86
5. Strategien und Massnahmen	91
6. Der Tourismus im Jahr 2050	93

Energie	95
1. Einleitung	96
2. Energieverbrauch	98
3. Etablierte Elektrizitätsproduktion	101
4. Neue erneuerbare Energien	103
5. Wirtschaftliche Aspekte	106
Bauten und Infrastrukturen	109
1. Einleitung	110
2. Gebäude	112
3. Transportwege	116
4. Siedlungswasserwirtschaft	120
5. Städtische Siedlungen	121
Urbane Schweiz	123
1. Einleitung	124
2. Die Schweiz als urbanes System	125
3. Szenarien und Schlüsselgrössen	126
4. Bevölkerungsentwicklung	127
5. Siedlungsentwicklung	128
6. Bauwerksentwicklung	131
7. Entwicklung im Transportieren und Kommunizieren	132
8. Entwicklung der Ressourcenverfügbarkeit	134
9. Entwicklung der Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen dem urbanen System Schweiz und dem globalen Umfeld	135
10. Folgerungen	136
Versicherungen	137
1. Einleitung	138
2. Wie funktioniert Versicherung	139
3. Schadenerfahrung	141
4. Ausblick in die Zukunft	143
5. Auswirkungen auf und Massnahmen der Versicherungen	146
Synthese	153
1. Einleitung	153
2. Schleichende Veränderungen	154
3. Extremereignisse	155
4. Wasserkreislauf und Wasserressourcen	157
5. Raum	159
6. Veränderungen für den Menschen	161
7. Abschliessende Bemerkungen	161
Anhang	167
Impressum	167
Bildnachweis	168

Vor rund 45 Jahren, als ich ein kleines Mädchen war, konnten wir Kinder auf der Ackermannstrasse am Zürichberg, gerade unterhalb der MZA (heute MeteoSchweiz) jeden Winter wilde Schlittenfahrten machen. Inzwischen hat sich einiges verändert. Schlittenfahrten in Zürich, im Mittelland und in den Voralpen sind kaum mehr möglich. Aber auch die vorangeschrittene Motorisierung würde das Schlitteln auf einer Quartierstrasse nicht mehr erlauben.

Und wie wird die nächste Zukunft aussehen? Was werden unsere Kinder in 45 Jahren tun können? Welche Schweiz erwartet sie? Mit diesen Fragen beschäftigt sich der Bericht Klimaänderung und die Schweiz 2050 (CH2050). Als wissenschaftliche Grundlagen dienen die Berichte 2001 und 2007 von IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Die heute vorliegenden Forschungsberichte mit ihren wissenschaftlichen Daten und Fakten beweisen, was seit Jahren evident war: Der grösste Teil des beobachteten Anstiegs in der globalen Durchschnittstemperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist mit mehr als 90 Prozent Wahrscheinlichkeit dem Anstieg der Konzentrationen der vom Menschen freigesetzten Treibhausgase zuzuschreiben. Heute können die vorliegenden Beweise nicht mehr ignoriert werden: Die globale Erwärmung ist vom Menschen gemacht. Climate Change ist für alle Erdbewohner zu einem Problem des 21. Jahrhunderts geworden. Der IPCC Bericht berechnet verschiedene Szenarien bis zum Jahr 2100 und darüber hinaus – dann werden die jetzt ergriffenen Massnahmen deutliche Klimawirkung zeigen.

Wir wollen uns mit unserem Bericht CH2050 einweilen mit der Halbzeit beschäftigen. Was bedeuten die Klimaänderungen auf lokaler Ebene für die Schweiz in naher Zukunft? Welche Auswirkungen werden in den verschiedenen Naturräumen und in den wirtschaftlich-gesellschaftlichen Sektoren des täglichen Lebens spürbar? Wie können die Gesellschaft und die Wirtschaft mit den sich anbahnenden Veränderungen umgehen? Welcher Handlungsbedarf besteht für die Politik? In welche Richtung müssen Massnahmen gehen, um erfolgreich für diese Herausforderungen gewappnet zu sein?

Diesen Fragen wollen wir uns stellen. Denn das Beratende Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC hat die Aufgabe, die Sicht der Wissenschaft auf Wirtschaft, Gesellschaft und Politik zu übertragen und damit Strategien und Lösungsansätze für die Schweiz zu erarbeiten. CH2050 soll deshalb als Grundlage für die zukünftige wünschenswerte und nötige Ausrichtung dienen, um die von der Schweiz zu ergreifenden Massnahmen und die Gestaltung des politischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Handelns zu planen.



Nationalrätin Dr. Kathy Riklin
Präsidentin des OcCC

Zusammenfassung

Der vorliegende Bericht beschreibt mögliche Folgen und Verletzlichkeiten von Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz bis ins Jahr 2050, die bis zu diesem Zeitpunkt aufgrund der durch die Emission von Treibhausgasen verursachten Klimaänderung zu erwarten sind. Für verschiedene Themenbereiche werden die erwarteten möglichen Folgen wie auch deren Wichtigkeit für Ökologie, Ökonomie und Gesellschaft sowie mögliche Massnahmen und Anpassungsstrategien diskutiert. Es ist zu beachten, dass die erwartete Erwärmung des Klimas bis ins Jahr 2050 noch weitgehend unabhängig von weltweiten Emissionsminderungsmaßnahmen verläuft, da sich diese erst längerfristig massgeblich auswirken werden. Sofern die Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahrzehnten nicht massiv gesenkt werden, können die Folgen der Erwärmung in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts deutlich stärker ausfallen als in diesem Bericht dargestellt.

Der Bericht geht von einer Erwärmung in der Schweiz bis ins Jahr 2050 von rund 2 °C (bei einem Unsicherheitsbereich von 1 bis 5 °C) im Herbst, Winter und Frühjahr sowie von knapp 3 °C im Sommer (respektive 2 bis 7 °C) aus. Bei den Niederschlägen wird von einer Zunahme um rund 10% im Winter und einer Abnahme von rund 20% im Sommer ausgegangen. Es muss mit einer Zunahme von extremen Niederschlägen und damit auch von Hochwassern und Murgängen speziell im Winter, aber möglicherweise trotz geringeren Gesamtniederschlägen auch im Sommer gerechnet werden. Im Sommer nehmen Hitzewellen generell zu, wahrscheinlich auch Trockenperioden. Eine Abnahme ist dagegen bei winterlichen Kältewellen zu erwarten.

In Zukunft wird insbesondere im Dienstleistungssektor im Winter weniger Heizenergie und im Sommer mehr Kühlenergie benötigt. Es kommt damit zu einer Verlagerung der Nachfrage von Brennstoffen zu Strom. Neuere Gebäude verfügen in der Regel über eine gute Wärmeisolation, die den Heizbedarf in der kalten Jahreszeit vermindert. Die Wärmeabgabe (Wärme durch Geräte, Personen etc.) bei Hitze ist jedoch eingeschränkt und benötigt insbesondere bei zunehmender Wärme und Hitzewellen Kühlung. Abhilfe kön-

nen unter anderem energieeffiziente Geräte, Lüftungsmöglichkeiten und Sonnenschutz schaffen. Baunormen sollten auf das zukünftige Klima abgestimmt werden. Auch städtebaulich sind z.B. durch Schaffung von Durchlüftungskorridoren unterstützende Massnahmen möglich.

Der geringere Wasserabfluss und die abnehmende Kühlwirkung in Flüssen speziell im Sommer werden sich nachteilig auf die Wasserkraft und die Kernenergie auswirken. Bis 2050 wird mit einem Rückgang der Jahresproduktion um einige Prozente gerechnet.

Die neuen erneuerbaren Energien werden durch erhöhte Energienachfrage, die Nachfrage nach CO₂-freier Energie und steigende Energiepreise konkurrenzfähiger werden. Gemessen am heutigen Verbrauch kann ihr Beitrag zur Schweizer Stromversorgung bis 2050 auf über 10% (5500 GWh/a ≈ 20 PJ/a) gesteigert werden. Im Vordergrund stehen vor allem Wind- und Holzenergie. Unter Berücksichtigung der langfristigen Trends und der Entwicklungen der Wald- und Holzwirtschaft könnte das Potenzial auf das Dreifache ansteigen. Allerdings müssen die damit verbundenen Schadstoffemissionen verringert werden.

Mit der Klimaänderung nimmt das Risiko von Betriebsunterbrüchen auch im Energiesektor zu. Die sich abzeichnende Versorgungslücke muss möglichst reduziert werden, primär durch Ausschöpfen des Energiesparpotenzials und die Förderung erneuerbarer Energien. Die Auslandsabhängigkeit der Energieversorgung kann damit gesenkt werden. Die künftige Elektrizitätsproduktion soll möglichst CO₂-frei bleiben.

Die Schweiz besitzt im internationalen Vergleich ein relativ hohes Wasserdargebot. Als Folge der Klimaänderung wird dieses im Sommer und Herbst abnehmen, deutlich ausgeprägt während Trockenperioden. Bei gleichzeitig steigendem Bewässerungsbedarf der Landwirtschaft entsteht eine Konkurrenzsituation zwischen Ökosystemen, verschiedenen Verbrauchern und Regionen. Es kann zu Einbussen in der Landwirtschaft und bei der Stromproduktion kommen, vor allem bei Laufkraftwerken. Die

Wasserversorgung wird jedoch mit grosser Wahrscheinlichkeit mit einem optimierten Wassermanagement gesichert sein.

Die Zunahme von Infrastrukturwerten in exponierten Lagen hat zu einer markanten Vergrösserung des Schadenpotenzials von Hochwassern, Murgängen und Rutschungen in den letzten 50 Jahren geführt. Die Zunahme von Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen erhöht das Schadensrisiko weiter. Zudem werden die Niederschläge häufiger als Regen statt als Schnee fallen. Hochwasser werden vor allem im Winter stärker und häufiger. Als mögliche Massnahmen stehen nachhaltiger Hochwasserschutz durch renaturierte und verbreiterte Flüsse und die Begrenzung des Schadenpotenzials im Vordergrund. Eine angepasste Seebewirtschaftung und der Einsatz von alpinen Speicherbecken als Rückhalt bewirken eine Reduktion und Verschiebung der Schwankungen, allerdings mit unklaren ökologischen Folgen.

Damit Versicherungen und Rückversicherungen im Schadenfall zahlen können, müssen bei häufigeren und stärkeren Naturereignisschäden die Prämien erhöht oder die Deckung eingeschränkt werden. Sollten starke Naturereignisse häufiger eintreten, müssen präventive Massnahmen getroffen werden, um das Risiko wieder versicherbar zu machen. Dazu gehören Anpassungen und die Durchsetzung der Raumplanung und der Baunormen. Die Siedlungs- und Bauwerksentwicklung steht vor allem im Berggebiet aufgrund der Bedrohung durch Naturgefahren und der Abhängigkeit vom Wintertourismus unter Anpassungsdruck.

Mögliche Konsequenzen der Klimaänderung, speziell der Extremereignisse, müssen schon heute in die Risikomodelle zur Abschätzung des Schadenpotenzials der Versicherungswirtschaft und sämtlicher anderer Wirtschaftszweige mit einfließen. Zurzeit werden in der Versicherungsindustrie neue Produkte entwickelt, die es erlauben, mit intensiven Schadensereignissen mit einer hohen Variabilität umzugehen. Ihr Marktanteil ist im Vergleich zur klassischen Versicherung und Rückversicherung jedoch noch sehr klein.

Heissere Sommer können einheimische Destinationen, insbesondere an Seen und in den Alpen, für den Tourismus attraktiver machen. Im Winter hingegen führt die steigende Schneefallgrenze dazu, dass Skigebiete in den Voralpen langfristig kaum mehr rentabel betrieben werden können. Höhere Frequenzen im Sommer werden die Einnahmehausfälle von Bergbahnen und Hotellerie im Winter nicht kompensieren können. Hoch gelegene Wintersportorte können möglicherweise profitieren. In diesen Gebieten muss mit einem Druck auf den Zweitwohnungsmarkt gerechnet werden. Die zunehmende Gefährdung der Verkehrswege durch Extremereignisse in den Alpen erschweren die Erreichbarkeit der Tourismusorte. Die abnehmende Schneesicherheit oder die erwarteten Veränderungen im Landschaftsbild insbesondere durch den Rückzug der Gletscher werden die Attraktivität der alpinen Tourismusgebiete stark beeinflussen. 2050 werden die meisten kleineren Gletscher wahrscheinlich verschwunden sein. Der tauende Permafrost stellt für zahlreiche Bergbahnen ein kostspieliges Risiko dar, da Fundamente von Masten und Stationen in höheren Lagen häufig im gefrorenen losen Gestein verankert sind. Die Steinschlag- und Felssturzgefahr im Gebirge erhöht sich ebenfalls.

Um die Attraktivität von Tourismusdestinationen zu erhalten, muss das Angebot den neuen Bedingungen angepasst werden. Mögliche klimatische und landschaftliche Veränderungen müssen bereits in der Planung berücksichtigt werden.

Für die Schweizer Landwirtschaft dürfte sich eine moderate Erwärmung von weniger als ca. 2 bis 3 °C im Allgemeinen positiv auswirken. Die Produktion der Wiesen und der potenzielle Ernteertrag vieler landwirtschaftlicher Kulturpflanzen werden als Folge der längeren Vegetationsperiode bei ausreichendem Wasser- und Nährstoffangebot zunehmen. Davon wird auch die Tierproduktion profitieren können. Im Gegenzug werden das Wasserangebot im Sommer abnehmen, das Aufkommen von Unkräutern und Insektenschädlingen verstärkt und Schäden durch Extremereignisse zunehmen. Durch angepasste Auswahl der Kulturpflanzen, der Anbauverfahren und der Betriebsführung wird sich die Landwirtschaft an einen moderaten Anstieg der

mittleren Temperatur von 2 bis 3 °C bis 2050 anpassen können. Problematisch ist allerdings die Zunahme von Hitze- und Trockenperioden. Zudem verstärken häufigere Starkniederschläge die Bodenerosion. Der Bewässerungsbedarf wird vielerorts steigen. Eine Diversifizierung der Betriebe und höhere Versicherungsdeckung können diese Risiken vermindern.

Bei einer Klimaerwärmung von mehr als 2 bis 3 °C bis 2050 werden hingegen die Nachteile überwiegen: Während der Vegetationsperiode ist vermehrt mit Wassermangel zu rechnen, und beim Getreide und den Körnerleguminosen hat die beschleunigte Pflanzenentwicklung Ertragseinbussen zur Folge. In der Schweiz werden jedoch bis 2050 die Liberalisierung der Märkte und die Anpassungen der Agrarpolitik wichtigere Einflussfaktoren sein als die Klimaänderung.

Wie der Hitzesommer 2003 gezeigt hat, stellt in der Schweiz die Zunahme von Hitzewellen, verbunden mit erhöhter Ozonkonzentration, die wichtigste gesundheitliche Folge einer Erwärmung dar. Der Zunahme von hitzebedingter Mortalität kann jedoch mit entsprechenden Massnahmen begegnet werden. Hitzewellen beeinträchtigen auch die Leistung der Arbeitstätigen und haben damit wirtschaftliche Folgen. Die wahrscheinliche Zunahme von weiteren Extremereignissen wie Überschwemmungen, Murgängen und vermutlich auch Stürmen verursacht Tote und Verletzte, hat aber auch gravierende psychische Folgen.

Bei höheren Temperaturen steigt die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen aufgrund verdorbener Lebensmittel. Bei verschiedenen durch Vektoren übertragenen Krankheiten ist die Entwicklung ziemlich unsicher. In der Schweiz ist die Ausbreitung von Malaria oder Denguefieber eher unwahrscheinlich. Hingegen ist das West-Nile-Fieber im Vormarsch. Höhere Temperaturen könnten jedoch auch neue Vektoren erzeugen oder zu einem Wirtewechsel führen. Bezüglich der zeckenübertragenen Krankheiten können sich Verbreitungsgebiet, Infektionsraten und Aktivitätszeitraum verändern.

Die Artenzusammensetzung der Ökosysteme in der Schweiz wird sich langfristig ändern, da die

Arten unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren. Flora und Fauna in der Schweiz werden sich weiter jenen von tieferen und südlicheren Gegenden annähern. Wärmeempfindliche Arten werden in kühlere, höhere Lagen ausweichen. Wenig mobile empfindliche Arten werden stark eingeschränkt oder verschwinden.

Die Produktivität von Holz, Nahrung sowie saurerem Wasser kann durch die Kombination von hohen Temperaturen zusammen mit geringeren Niederschlägen beeinträchtigt werden. In höheren Lagen wird die Produktivität im Wald und im Dauergrünland durch die Erwärmung eher gefördert, in tieferen Lagen durch sommerliche Trockenheit gehemmt. Der Wasserverfügbarkeit wird auch für die Ökosysteme in Zukunft größere Bedeutung zukommen, wobei vor allem die Tallagen und das Hügelland betroffen sind.

Die bis ins Jahr 2050 zu erwartenden Folgen der Klimaerwärmung scheinen aus heutiger Sicht und unter der Voraussetzung, dass die Erwärmung im erwarteten Rahmen bleibt, für die Schweiz ohne gravierende gesamtgesellschaftliche Probleme bewältigbar. Es fehlen bis jetzt allerdings eingehendere Abschätzungen der Kosten für die erwähnten Anpassungen und Massnahmen, die in gewissen Bereichen durchaus volkswirtschaftlich relevante Bedeutung haben könnten. Speziell die Tourismusbranche wird mit einschneidenden Veränderungen rechnen müssen.

Diese Feststellungen dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass die längerfristige Entwicklung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts entscheidend von den in den nächsten Jahren und Jahrzehnten getroffenen Emissionsminderungsmaßnahmen abhängig ist und die Folgen im Falle einer Business-as-usual-Entwicklung deutlich gravierendere Ausmasse annehmen können. Dazu kommt, dass es viele Länder auf der Erde geben wird, darunter vor allem ärmere Entwicklungsländer, die einerseits deutlich gravierendere Folgen zu gewärtigen und andererseits nicht genügend finanzielle Möglichkeiten zur Anpassung haben. Die daraus entstehenden geopolitischen Entwicklungen könnten durchaus auch Folgen für die Schweiz haben.

Einleitung

In diesem Bericht werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweiz im Jahr 2050 untersucht. Am Projekt waren über 100 Fachpersonen aus den unterschiedlichsten Fachrichtungen beteiligt. In zahlreichen Workshops und Sitzungen wurde das vielfältige Wissen gesammelt, besprochen und zusammengeführt.

Grundlage für die Arbeit bildet ein regionales Klimaszenario für die Schweiz. Es ist im Kapitel Grundlagen beschrieben. Darauf basierend wurden die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Landökosysteme, die Landwirtschaft, die Wasserwirtschaft, die Gesundheit, den Energiesektor, den Tourismus, auf Infrastrukturen, den urbanen Raum und die Versicherungen diskutiert. Diese Themen werden nicht abschliessend behandelt; vielmehr wurde versucht, aufgrund des heutigen Wissensstandes abzuschätzen, welche klimabedingten Veränderungen auf uns zukommen werden, wie schwerwiegend diese sein werden und welche Entscheidungen getroffen werden müssen, um sich den Veränderungen anzupassen.

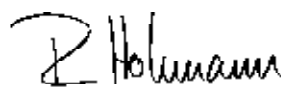
Der Zeitpunkt 2050 wurde einerseits deshalb gewählt, weil alle globalen Klimaszenarien des IPCC dann bereits eine deutliche Erwärmung zeigen, aber immer noch relativ eng beieinander liegen. Dies erlaubt es, über die Auswirkungen der Klimaänderung zu diskutieren, ohne zwischen den verschiedenen Szenarien unterscheiden zu müssen. Andererseits werden viele Leserinnen und Leser die in diesem Bericht beschriebenen Auswirkungen der Klimaänderung noch erleben. 2050 hat also den Vorteil, dass wir uns nicht aus der Verantwortung stehlen und die Lösung des Problems der nächsten Generation überlassen können, wie dies bei einem langfristigen Szenario für das Jahr 2100 möglich wäre.

Die Auswirkungen der Klimaänderung im Jahr 2050 werden überlagert sein von sozio-ökonomischen und politischen Veränderungen, die sich kaum abschätzen lassen. Um die damit verbundenen Schwierigkeiten und Unsicherheiten zu verdeutlichen, genügt die Überlegung, wie sich ein Mensch im Jahr 1950 das Leben in unserem

Land heute vorgestellt hätte. Viele Entwicklungen, die in den vergangenen 50 Jahren stattgefunden haben, waren nicht vorhersehbar – man denke an die Fortschritte der Gentechnologie oder die Verbreitung der Computer. Trotz dieser Schwierigkeit ist es wichtig, den Blick vorwärts zu richten und zu versuchen, wichtige klimatische Veränderungen frühzeitig zu erkennen. Die Klimaänderung ist ein sehr träger Prozess, dessen negative Auswirkungen über viele Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte spürbar sein werden. Vorausblickendes Handeln ist im Interesse der Menschheit.

Der Bericht zeigt, dass sich die Schweiz in vielen Bereichen in einer günstigen Lage befindet und viele Auswirkungen 2050 noch relativ gering sein werden. Dies darf nicht dazu verleiten, die Klimaänderung auf die leichte Schulter zu nehmen. Denn das Jahr 2050 ist lediglich ein kurzer Abschnitt in einer langfristigen Entwicklung, die sich beschleunigen und viele noch grössere Veränderungen mit sich bringen wird. Zudem werden viele Länder ungemein härter von den Auswirkungen betroffen sein als die Schweiz. Die Autoren dieses Berichts sind davon überzeugt, dass die Begrenzung der Treibhausgas-konzentrationen durch eine gezielte Klimapolitik die einfachste und wirksamste Möglichkeit darstellt, um die Schäden der Klimaänderung und die Anpassungskosten im In- und Ausland zu begrenzen.

Abschliessend bedanke ich mich bei allen beteiligten Fachpersonen, die als Autoren, Workshopteilnehmerinnen oder Begutachter zu diesem Projekt beigetragen haben, bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der ProClim- und OcCC-Geschäftsstelle, die mit viel Geduld und Einsatz dieses Projekt verwirklichten und bei Markus Nauser, der beim Tee in Marrakesch während der COP 7 die Idee zu diesem Projekt aufbrachte.

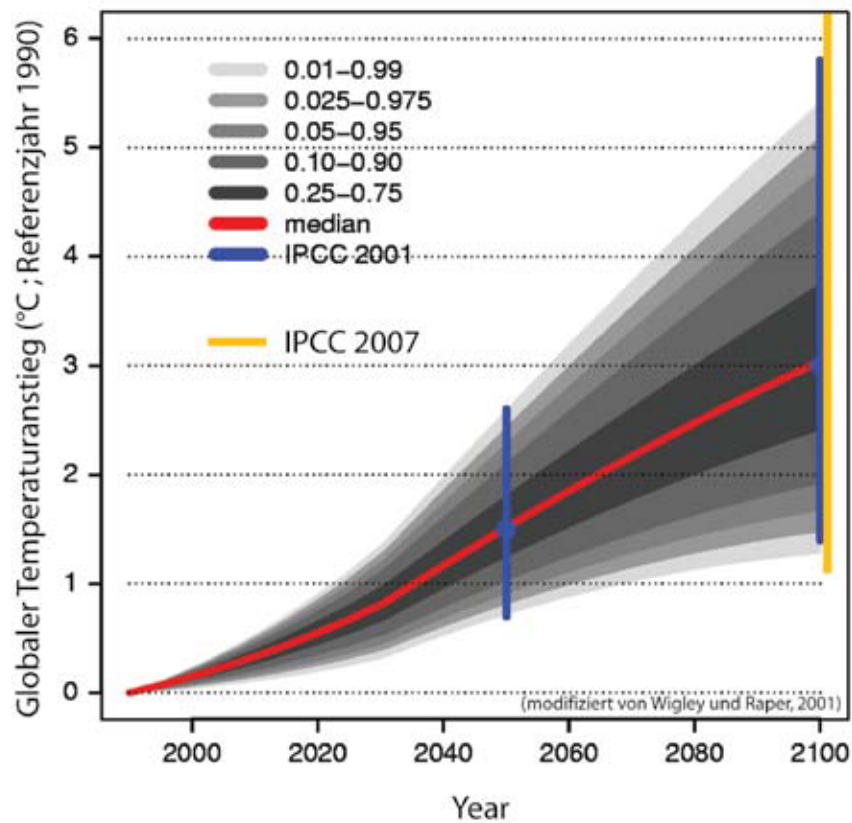


Roland Hohmann
Projektleiter, OcCC, Bern

Grundlagen

Autoren

Christoph Frei	MeteoSchweiz, Zürich
Pierluigi Calanca	Agroscope FAL Reckenholz
Christoph Schär	Institut für Atmosphäre und Klimawissenschaft (IAC), ETH Zürich
Heinz Wanner	Geographisches Institut, Universität Bern
Bruno Schädler	Hydrologie, Bundesamt für Umwelt BAFU
Wilfried Haeberli	Geographisches Institut, Universität Zürich
Christof Appenzeller	MeteoSchweiz, Zürich
Urs Neu	ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz
Esther Thalmann	ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz
Christoph Ritz	ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz
Roland Hohmann	OcCC, Bern



1. Die Klimazukunft der Schweiz

Beobachtete Veränderungen im 20. Jahrhundert

Im 20. Jahrhundert hat die durchschnittliche globale Temperatur um rund 0.6 °C zugenommen.¹ In der Schweiz – wie auch in anderen kontinentalen Gebieten – war die Erwärmung stärker als im globalen Mittel. Im 20. Jahrhundert betrug der Temperaturanstieg in der Westschweiz ungefähr 1.6 °C, in der Deutschschweiz 1.3 °C und auf der Alpensüdseite 1.0 °C. Auf der Alpennordseite hat die Häufigkeit abnormal warmer Monate, welche mehr als 2 °C über dem langjährigen Durchschnitt liegen, bereits um ca. 70% zugenommen.² Auch das Niederschlagsregime hat sich verändert. Die Jahresniederschläge haben im 20. Jahrhundert um rund 120 mm (8%) zugenommen. Im nördlichen und westlichen Alpenraum haben die mittleren Winterniederschläge um 20–30% zugenommen.³ Auch intensive Tagesniederschläge und intensive Niederschläge von 2–5 Tagen Dauer haben im Herbst und Winter in weiten Teilen des Mittellandes und des nördlichen Alpenrandes zugenommen.⁴ Da mit der Erwärmung auch die Verdunstung um 105 mm (23%) zugenommen hat, ist der Abfluss im Jahresmittel praktisch unverändert geblieben. Gleichzeitig haben die in den Gletschern gebundenen Wasserreserven in 100 Jahren um rund 50 Kubikkilometer abgenommen. Diese Verminderung des Gletschervolumens hat im Durchschnitt mit 12 mm/a (bzw. 1.2%) zum Abfluss beigetragen.

Temperatur- und Niederschlagszenarien

In Zukunft wird sich die Klimaänderung beschleunigen. Je nachdem, wie sich die Treibhausgasemissionen in Zukunft entwickeln, muss bis 2050 mit einer weiteren globalen Temperaturzunahme um 0.8–2.4 °C und bis Ende des 21. Jahrhunderts um 1.4–5.8 °C gegenüber 1990 gerechnet werden, sofern keine einschneidenden Emissionsreduktionsmassnahmen getroffen werden.^{1,5} Auch der Wasserkreislauf wird sich verändern (vgl. Abschnitt 4). Die Klimaänderung wird sich jedoch nicht in allen Regionen gleich bemerkbar machen. Wie wird sich das Klima in der Schweiz in Zukunft verändern? Die regionalen Veränderungen sind deutlich schwieriger abzuschätzen, da die entsprechende Umgebung (Relief, Entfernung vom Meer, lokale Windströmungsmuster und deren Schwankungen usw.) einen grossen Einfluss haben. Für die vorliegende Studie wurde ein regionales Temperatur- und Niederschlagszenario für die Schweiz berechnet.⁶ Als Grundlage dienten die Berechnungen mit verschiedenen Kombinationen von globalen und regionalen Klimamodellen aus dem EU-Projekt PRUDENCE⁷ (siehe Kasten). Aus diesen lassen sich die Unsicherheiten im physikalischen Verständnis des Klimasystems abschätzen. In einem zweiten Schritt wurde dann die Abhängigkeit der Resultate von der zukünftigen Entwicklung der Emissionen berücksichtigt.

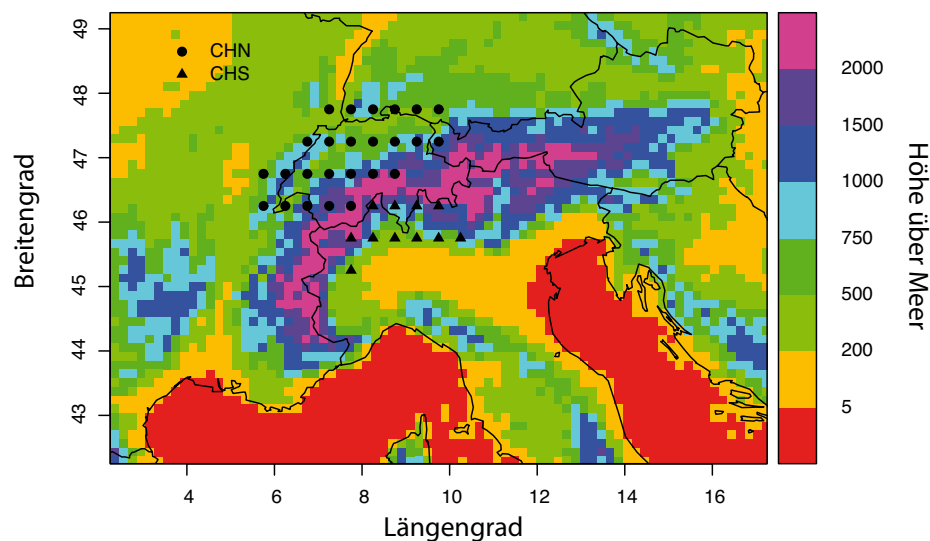


Abbildung 1: In der Analyse verwendete Modell-Gitterpunkte für die Nord- (CHN) respektive Südschweiz (CHS). In Farbe ist die Topografie (m ü. M.) der Alpen dargestellt (Auflösung 15km).

Dabei sind allfällige politische Massnahmen zur Treibhausgassenkung (z.B. Kyoto-Protokoll und nachfolgende Aktionen) nicht mit einberechnet. Einschneidende Massnahmen zur Emissionssenkung werden sich bis 2050 noch nicht sehr stark auswirken, jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung in der

zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts haben. Die Datengrundlage und die statistischen Analysen sind ausführlich in Frei (2004)⁶ beschrieben. Für die vorliegende Studie wurden jeweils Durchschnittswerte für die Alpennordseite und die Alpensüdseite (Abb. 1) für die Jahre 2030, 2050 und 2070 berechnet.

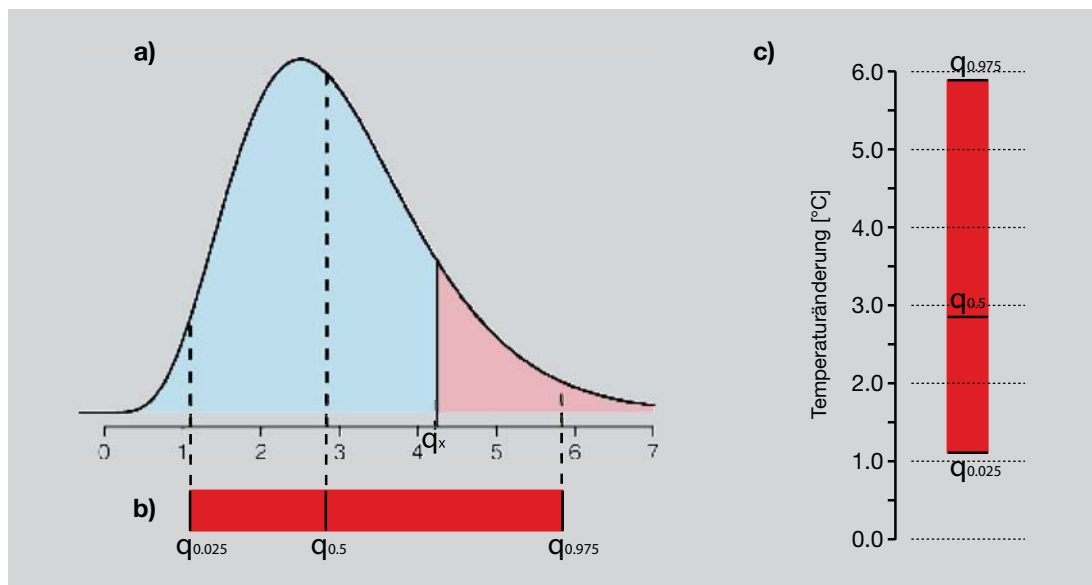


Abbildung 2: Schematische Wahrscheinlichkeitsverteilung am Beispiel der Temperaturänderung (a). Die Verteilung wird durch den Median ($q_{0.5}$) und das 95% Konfidenzintervall ($q_{0.025}$ bis $q_{0.975}$) charakterisiert (b). Im Bericht werden die probabilistischen Szenarien durch diese Kenngrössen dargestellt (c).

Berechnungsgrundlagen und Darstellung der Resultate

Als Basis dienen die Berechnungen aus dem EU-Projekt PRUDENCE⁶. Die Unsicherheiten bezüglich des physikalischen Verständnisses (Modellunsicherheiten) wurden aus der Streuung der Resultate von 16 verschiedenen Modell-Kombinationen für Europa abgeleitet. Dabei wurden zwei mittlere IPCC Emissionsszenarien (SRES A2 und B2⁷), vier verschiedene globale Klimamodelle und acht verschiedene regionale Klimamodelle jeweils unterschiedlich kombiniert. Die Temperaturwerte der Periode 2071–2100 wurden mit einem statistischen Verfahren auf die Jahre 2030, 2050 und 2070 skaliert⁶. Für den Einfluss der Emissionsentwicklung wurde angenommen, dass sich auf regionaler Ebene eine vergleichbare Streuung der Resultate ergibt wie auf globaler Ebene aufgrund der wichtigsten IPCC Emissionsszenarien. Die sich daraus ergebenden Unsicherheiten in der Veränderung lassen sich als Wahrscheinlichkeitsverteilung darstellen (Abb. 2a). Der Wert q_x heisst $x\%$ Quantil und bezeichnet den Wert der Veränderung, der mit einer

Wahrscheinlichkeit von $x\%$ nicht überschritten wird. Der Median (das 50% Quantil, $q_{0.5}$) teilt die Verteilung in zwei gleich grosse Flächen und bezeichnet die mittlere Schätzung der Veränderung. Das 95% Konfidenzintervall zwischen dem 2.5% und dem 97.5% Quantil ($q_{0.025}$ bis $q_{0.975}$) bezeichnet den Wertebereich, in dem die künftige Änderung nach den obgenannten Berechnungen mit 95% Wahrscheinlichkeit liegen wird.

Die berechnete Verteilung lässt sich also vereinfacht mit Hilfe der Quantile 2.5%, 50% und 97.5% darstellen (Abb. 2b). Im Bericht werden die Verteilungen für die verschiedenen Jahreszeiten nebeneinander als vertikale Balken (Abb. 2c) gezeigt.

Mit der Verfügbarkeit von weiteren Modellresultaten aus einem laufenden EU-Forschungsprojekt (ENSEMBLES) dürften die Berechnungen in naher Zukunft noch verbessert werden. Zukünftige neue Erkenntnisse können die Unsicherheitsbereiche sowohl einschränken als auch vergrössern. Letzteres ist möglich, wenn zum Beispiel durch die Entdeckung von bisher vernachlässigten Prozessen neue Quellen von Unsicherheiten auftauchen.

Szenarien CH2050

Die berechneten Niederschlags- und Temperaturänderungen auf der Alpennord- und Alpensüdseite in den Jahren 2030, 2050 und 2070 sind in den Abb. 3 und 4 dargestellt. Sie zeigen die erwartete zukünftige Entwicklung und verdeutlichen, dass sich die Schweiz 2050 immer schnelleren und stärkeren klimatischen Veränderungen ausgesetzt sieht. Vor allem in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts kann die Entwicklung durch bedeutende Emissionsreduktionsmassnahmen massgeblich beeinflusst werden. Solche Massnahmen sind in der dargestellten Entwicklung nicht berücksichtigt. Wegen der Trägheit des Klimasystems müssen die

Weichen dafür jedoch bereits in den kommenden Jahren und Jahrzehnten gestellt werden. Die Resultate für das Jahr 2050 sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie sind die Grundlage für den vorliegenden Bericht. Bis 2050 ist die Erwärmung auf der Alpennord- und Alpensüdseite praktisch gleich. Gemäss mittlerer Schätzung (Median, vgl. Kasten) beträgt der Temperaturanstieg in der Nordschweiz 1.8 °C im Winter und 2.7 °C im Sommer, in der Südschweiz 1.8 °C im Winter und 2.8 °C im Sommer. Für die Übergangsjahreszeiten ist die Erwärmung vergleichbar mit derjenigen im Winter (Frühling: 1.8 °C auf der Alpennord- und Alpensüdseite; Herbst 2.1 °C auf der Alpennordseite, 2.2 °C auf der Alpensüdseite).

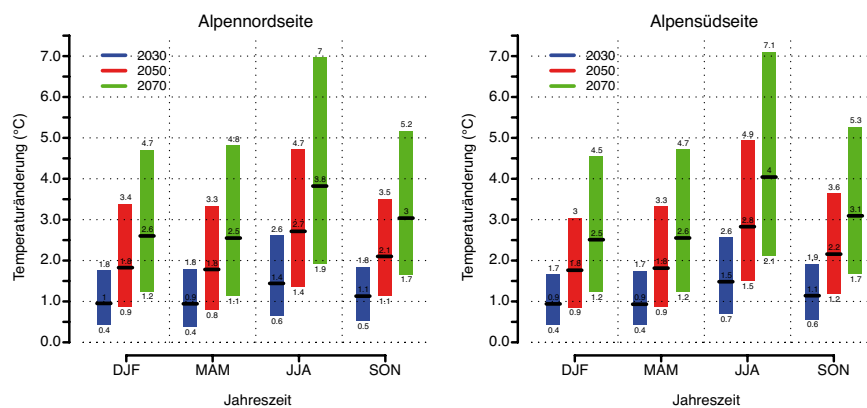


Abbildung 3: Änderung der mittleren Temperatur im Winter (DJF: Dezember–Februar), Frühling (MAM: März–Mai) Sommer (JJA: Juni–August) und Herbst (SON: September–November) auf der Alpennord- und der Alpensüdseite im Jahr 2050 gegenüber 1990. Die horizontalen Linien zeigen die jeweils mittlere Schätzung (Median). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% wird die Erwärmung innerhalb der farbigen Balken verlaufen (95% Konfidenzintervall, vgl. Kasten).

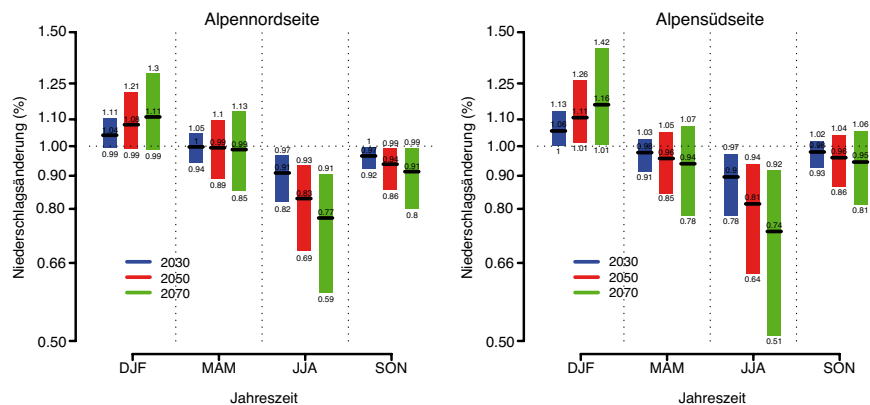


Abbildung 4: Relative Änderung des mittleren jahreszeitlichen Niederschlags auf der Alpennordseite und der Alpensüdseite im Jahr 2050 gegenüber 1990 (logarithmische Skala; Definition der Jahreszeiten siehe Abb. 3). Ein Wert von 0.50 bezeichnet eine Halbierung, ein Wert von 1.25 eine Zunahme um 25% gegenüber den heutigen Verhältnissen. Die horizontalen Linien zeigen die jeweils mittlere Schätzung (Median). Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% wird die Veränderung des Niederschlags innerhalb der farbigen Balken verlaufen (95% Konfidenzintervall, vgl. Kasten).

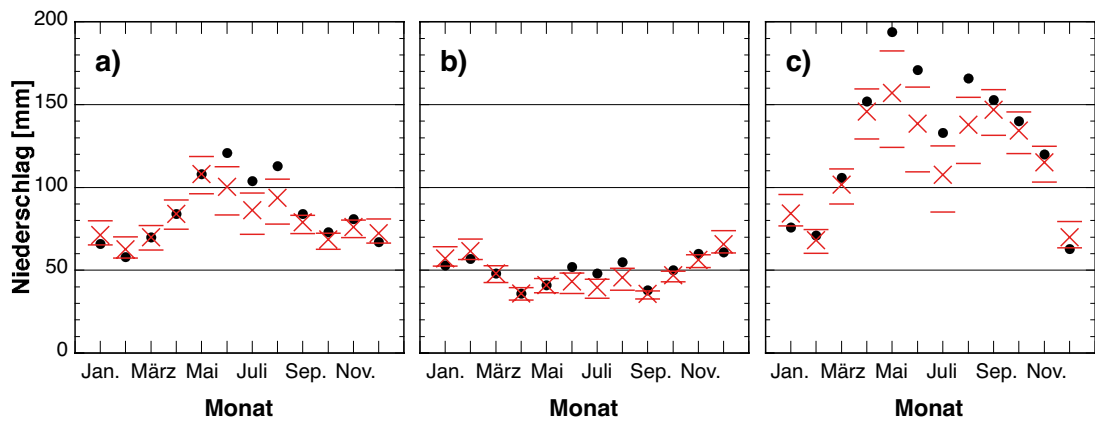


Abbildung 5: Monatliche Niederschlagsmenge in a) Bern Liebefeld, b) Sion und c) Lugano heute (schwarze Punkte) und 2050 (rot; Median und 95% Konfidenzintervall)

Tabelle 1: Veränderung der Temperaturen (oben) und der Niederschläge (unten) 2050 gegenüber 1990 (blaue Zahlen: Median; rote Zahlen: 95% Konfidenzintervall). Das 2050-Szenario bildet die Grundlage für den vorliegenden Bericht.

Region	Jahreszeit	Wahrscheinlichkeiten		
		0.025	0.5	0.975
Nordschweiz	Dez/Jan/Feb	0.9	1.8	3.4
	März/Apr/Mai	0.8	1.8	3.3
	Juni/Juli/Aug	1.4	2.7	4.7
	Sept/Okt/Nov	1.1	2.1	3.5
Südschweiz	Dez/Jan/Feb	0.9	1.8	3.1
	März/Apr/Mai	0.9	1.8	3.3
	Juni/Juli/Aug	1.5	2.8	4.9
	Sept/Okt/Nov	1.2	2.2	3.7

Region	Jahreszeit	Wahrscheinlichkeiten		
		0.025	0.5	0.975
Nordschweiz	Dez/Jan/Feb	-1%	+8%	+21%
	März/Apr/Mai	-11%	0%	+10%
	Juni/Juli/Aug	-31%	-17%	-7%
	Sept/Okt/Nov	-14%	-6%	-1%
Südschweiz	Dez/Jan/Feb	+1%	+11%	+26%
	März/Apr/Mai	-15%	-4%	+5%
	Juni/Juli/Aug	-36%	-19%	-6%
	Sept/Okt/Nov	-14%	-4%	+4%

Auch beim Niederschlag ergibt sich auf der Alpennord- und Alpensüdseite ein sehr ähnliches Bild. Die Veränderungen unterscheiden sich in den verschiedenen Regionen in allen Jahreszeiten nur um wenige Prozent (Abb. 4). Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird auf der Alpennordseite im Winter eine Zunahme von ungefähr 8% (Alpensüdseite 11%) erwartet, im Sommer eine Abnahme von rund 17% (Alpensüdseite 19%). Im Frühling und Herbst sind beim Niederschlag Zu- oder Abnahmen möglich. Der Unsicherheitsbereich ist im Sommer besonders gross.

Die berechneten absoluten Niederschlagsveränderungen in Bern Liebefeld, Sion und Lugano sind in Abb. 5 dargestellt. Insgesamt nimmt das jährliche Niederschlagsvolumen leicht ab (-50 mm in Bern Liebefeld, -20 mm in Sion, -150 mm in Lugano).

Einordnung der Veränderungen

Wie ist diese Klimaänderung einzuordnen? Gleicht das Klima in Bern im Jahr 2050 dem heutigen Klima in Rom? Um diese Frage zu beantworten, wurden die Klimaszenarien für verschiedene Stationen der MeteoSchweiz mit den heutigen Verhältnissen verglichen. Der Vergleich wird dadurch erschwert, dass die Temperaturen und Niederschläge sehr stark von der Topografie,

der geografischen Lage und anderen lokalen Gegebenheiten geprägt werden. Bei den Niederschlägen ergibt ein Vergleich der Stationen kein einheitliches Bild und macht deshalb wenig Sinn.

Hingegen finden sich in der Schweiz und im benachbarten Ausland Orte, wo die Temperaturverhältnisse heute so sind, wie sie an spezifischen Punkten aufgrund der Erwärmung im Jahr 2050 sein werden. Die Temperaturen in Zürich werden sich bis 2050 bei einer schwachen Erwärmung den heutigen Verhältnissen in Sion annähern, bei einer mittleren Erwärmung den heutigen Verhältnissen in Magadino und bei einer starken Erwärmung den heutigen Verhältnissen in Torino (Abb. 6). Für den Temperaturverlauf in Basel im Jahr 2050 ergibt sich bei einer schwachen Erwärmung eine gute Übereinstimmung mit dem heutigen Verlauf in Grono, bei einer mittleren Erwärmung mit dem heutigen Verlauf in Lugano und bei einer starken Erwärmung mit dem heutigen Verlauf in Verona.

Bei solchen Vergleichen ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Problematik der Klimaänderung weniger in einem neuen Zustand des Klimas, sondern im Prozess der Veränderung und der sich dadurch ergebenden Probleme der Anpassung liegt.

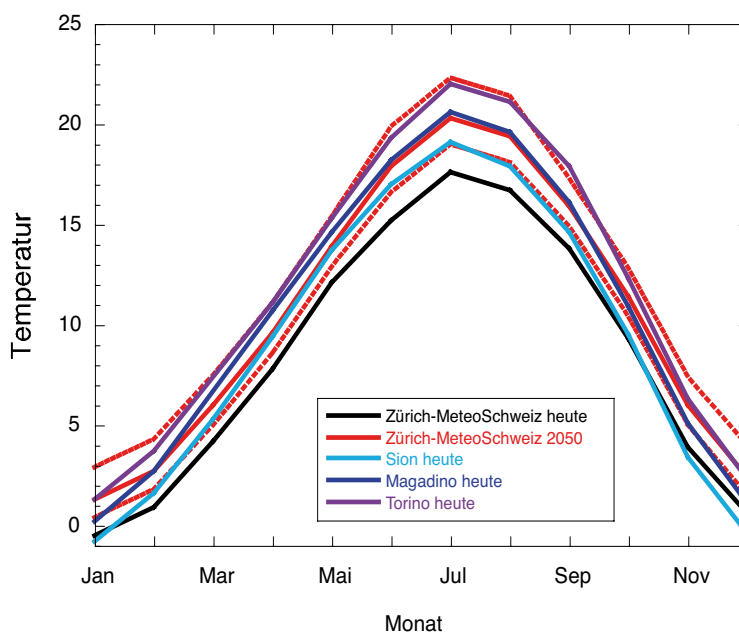


Abbildung 6: Vergleich der Temperaturkurven von Zürich-MeteoSchweiz heute und im Jahr 2050 mit den heutigen Temperaturen in Sion, Magadino und Torino, entsprechend den Szenarien einer schwachen, mittleren und starken Erwärmung.

2. Extremereignisse

Für viele Fragestellungen sind Abschätzungen der Veränderungen bei den Extremereignissen wichtig, z.B. die Dimensionierung von Hochwasserschutzbauten. Das vorgegebene Klimaszenario der Studie macht lediglich Aussagen über die saisonalen Mittelwerte der Temperatur und des Niederschlags und enthält keine Angaben über die Extreme. Die Veränderungen der Extremereignisse werden aber in zahlreichen Studien untersucht. Eine Zusammenstellung findet sich im OcCC-Bericht Extremereignisse und Klimaänderung.⁸

Die physikalischen Kenntnisse der meteorologischen Prozesse und des Klimasystems lassen erwarten, dass gewisse Extremereignisse zu- und andere abnehmen werden. Die Veränderungen dürften regional unterschiedlich ausfallen. Heutige Klimamodelle können die feinskaligen Prozesse bei Extremereignissen nur näherungsweise erfassen. Szenarien zur Entwicklung von Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen sind deshalb noch sehr unsicher. Auch statistische Aussagen über aktuelle Trends bei den Extremen sind wegen der Seltenheit der Ereignisse schwierig und nur für wenige Extremereigniskategorien (vgl. unten) möglich.⁹ In der folgenden Zusammenstellung wird deshalb nur dann eine Veränderung diskutiert, wenn statistische Signifikanz in den vergangenen Beobachtungen und/oder plausible Hinweise auf eine Entwicklung in eine bestimmte Richtung vorliegen.

Temperaturextreme

Am klarsten ist die Entwicklung bei den Temperaturextremen. Bei einem Anstieg der mittleren Sommertemperatur werden Hitzeperioden mit höheren Temperaturen auftreten (Abb. 7).² Auch die Variabilität der mittleren Sommertemperaturen wird gemäss Klimamodellen zunehmen, was ebenfalls zu mehr Hitzeperioden mit höheren Temperaturen führen wird.^{2,10} Die Klimamodelle zeigen einen grösseren Anstieg der absoluten Maximaltemperaturen als des durchschnittlichen Tagesmaximums. Gemäss vorliegendem Szenario werden im Jahr 2050 im Sommer Verhältnisse wie im Hitzesommer 2003

bei einer schwachen Erwärmung weiterhin sehr selten, bei einer mittleren Erwärmung alle paar Jahrzehnte und bei einer starken Erwärmung alle paar Jahre auftreten (vgl. auch Abschnitt 3). Die Zunahme extrem heisser Sommer würde noch deutlich schneller erfolgen, falls zusätzlich die Variabilität des Sommerklimas zunehmen sollte, was die meisten Klimaszenarien nahe legen.

Im Gegenzug werden die Häufigkeit von Kälteperioden und die Anzahl Frosttage abnehmen. Im Winter wird die tägliche Temperaturvariabilität generell kleiner, weil die Minimaltemperaturen stärker ansteigen als die Durchschnittstemperaturen. In Gebieten, wo die Schneebedeckung als Folge der Erwärmung abnimmt, wird dieser Effekt besonders ausgeprägt sein. Die Veränderung des Risikos von Spätfrösten (Frost nach Beginn der Vegetationsperiode) ist unsicher, weil sich mit der Erwärmung auch die Vegetationsperiode verschiebt.

Niederschlagsextreme

Bei den Niederschlagsextremen zeigen neue Analysen in Mitteleuropa eine Zunahme von extremen 1- bis 5-tägigen Niederschlägen im Winterhalbjahr.¹¹ Die PRUDENCE-Modelle zeigen, dass Starkniederschläge wie sie heute nur alle 8 bis 20 Jahre vorkommen bis Ende Jahrhundert durchschnittlich alle 5 Jahre auftreten werden. Weniger klar ist die Situation im Sommer. Obwohl die Modelle eine markante Abnahme des mittleren Niederschlags simulieren, nimmt der 5-jährliche Extremwert in den meisten Modellen leicht zu.

Hochwasser, Hangrutschungen und Murgänge

Eine Zunahme der Niederschlagsintensität und -extreme birgt das Potenzial für häufigere Hochwasser, Hangrutschungen und Murgänge. Die tatsächlichen Auswirkungen auf diese Naturgefahren sind aber auch durch andere Prozesse bestimmt, die von der Klimaänderung betroffen sind (Bodenfeuchte, Schneeschmelze, Abflussregime). Aussagen über Veränderungen dieser Naturgefahren sind deshalb schwierig (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft).

Trockenheit

Extreme Trockenperioden werden – entsprechend der Abnahme der mittleren Niederschläge und der Anzahl der Niederschlagstage – im Sommer länger und häufiger auftreten. Die Kombination von Niederschlagsabnahme und höherer Verdunstung kann regional zu einer Abnahme des Feuchtigkeitsgehalts im Boden führen. Mit der Abnahme der Schneereserven in den Alpen werden zudem Flüsse, die heute im Sommer von Schmelzwasser gespeist werden, häufiger aus-

trocknen sowie die saisonale Wasserspeicherung in den Alpen abnehmen.

Stürme

Bei den Stürmen ist in Mitteleuropa eher mit einer Abnahme der Häufigkeit zu rechnen. Gleichzeitig dürften sehr starke Stürme (z.B. der Kategorie “Vivian” oder “Lothar”) häufiger werden. Grundsätzlich werden sich die Zugbahnen von Tiefdruckgebieten und Stürmen polwärts verschieben.

3. Einfache Abschätzungen weiterer klimatischer Grössen

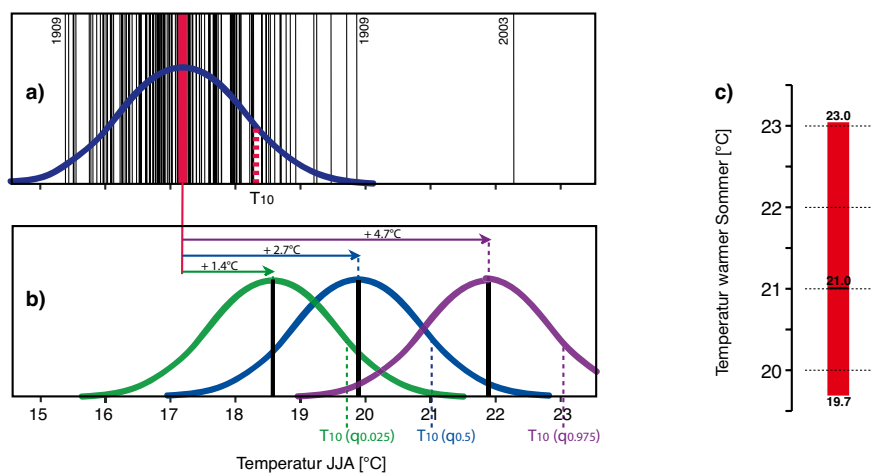


Abbildung 7: a) Verteilung der Sommertemperaturen 1864 bis 2003 und b) im Jahr 2050. c) Mit der Klimaänderung steigt auch die Temperatur eines 10-jährlichen warmen Sommers.

Ausgehend vom vorliegenden Klimaszenario sind einfache Abschätzungen von Veränderungen weiterer klimatischer Grössen möglich. In der Folge sind einige Beispiele dargestellt.

Heisse Sommer

Das Klimaszenario besagt, dass die Erwärmung im Sommer besonders ausgeprägt sein wird. Was heisst das für die Temperatur heisser Sommer? In Abbildung 7a sind die mittleren Sommertemperaturen der Jahre 1864–2003 in den Niederungen auf der Alpennordseite dargestellt. Die dazugehörige Wahrscheinlichkeitsverteilung (blaue Kurve) weist den Mittelwert $T_M = 17.2^\circ\text{C}$ (rote Linie) auf. Ein heisser Sommer, wie er im Durchschnitt nur alle 10 Jahre auftritt, ist wärmer als $T_{10} = 18.3^\circ\text{C}$.

Mit der Klimaänderung verschiebt sich die Wahrscheinlichkeitsverteilung der mittleren Sommertemperaturen bis 2050 (Abb. 7b) und die Temperatur eines 10-jährlichen warmen Sommers nimmt zu. Im wahrscheinlichsten Fall wird 2050 jeder zehnte Sommer wärmer als 21°C . Bei einer sehr schwachen Erwärmung wird jeder zehnte Sommer wärmer als 19.7°C sein und bei einer sehr starken Erwärmung wärmer als 23°C . Bei dieser Abschätzung wurde der Einfachheit halber angenommen, dass die Klimaänderung keinen Einfluss auf die Form der Verteilung (Jahr-zu-Jahr-Variabilität) der Sommertemperaturen hat. Sollte – wie es die meisten Klimamodelle nahe legen^{9,10} – als Folge der Klimaänderung die Variabilität zunehmen, so wird die Häufigkeit extrem warmer Sommer deutlich schneller und stärker zunehmen.

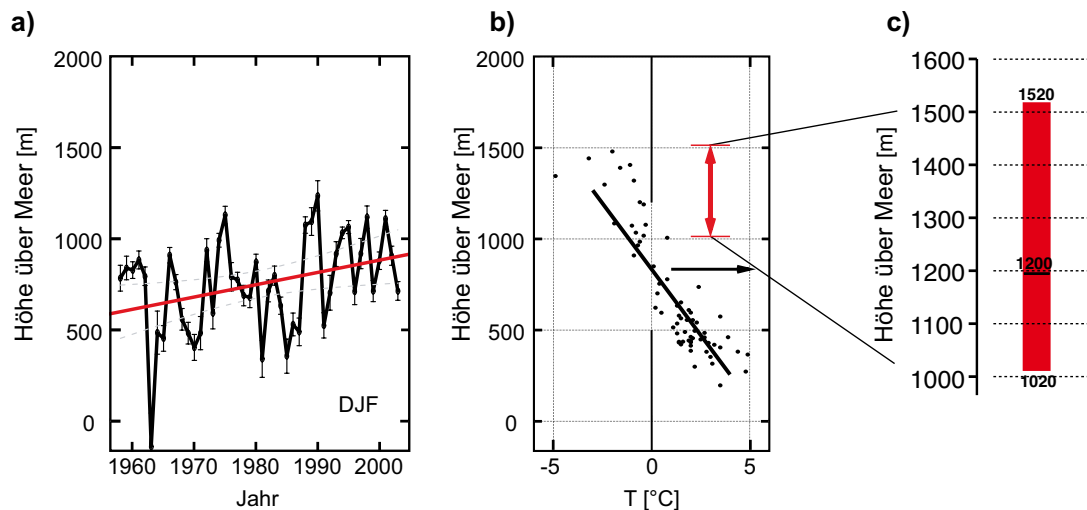


Abbildung 8: a) Zeitliche Entwicklung der mittleren Höhe der Nullgradgrenze in den Wintermonaten (DJF) 1958–2003. Die Berechnung basiert auf 67 homogenisierten Bodentemperaturmessungen. Die rote Linie zeigt den linearen Trend, die gestrichelten Linien die dazugehörige Unsicherheit (95% Konfidenzintervall). b) Vertikale Verteilung der durchschnittlichen Wintertemperaturen an Messstationen der MeteoSchweiz von 1959–1997. Die heutige Nullgradgrenze liegt bei ca. 840 m ü. M. c) Bis 2050 wird sich die Nullgradgrenze um ca. 360 m auf 1300 m ü. M. erhöhen (Bandbreite 1020–1520 m ü. M.).

Nullgradgrenze im Winter

Die Temperaturerhöhung bewirkt eine Erhöhung der Nullgradgrenze im Winter. Sie entspricht ungefähr der Höhe der Schneefallgrenze. Abbildung 8a zeigt die Entwicklung der Nullgradgrenze in den Wintermonaten für den Zeitraum 1958 bis 2003. In diesem Zeitraum ist sie von ungefähr 600 m in den 1960er Jahren auf ungefähr 900 m in den 1990er Jahren gestiegen (ungefähr 200 m pro Grad Erwärmung).¹²

Die vertikale Verteilung der mittleren Wintertemperaturen bis 1500 m ü.M. ist in Abbildung 8b dargestellt (schwarze Punkte). Die Regressionsgerade (schwarze Linie) zeigt die durchschnittliche Abkühlung mit zunehmender Höhe im Winter. Sie schneidet die 0 °C-Linie bei 840 m ü.M., was der durchschnittlichen Höhe der Nullgradgrenze im beobachteten Zeitraum entspricht. Sofern sich der beobachtete Anstieg (Abb. 8a) auch in Zukunft fortsetzt, wird die Nullgradgrenze 2050 bei einer mittleren Erwärmung (+1.8 °C im Winter) um ungefähr 360 m, bei einer moderaten Erwärmung (+0.9 °C) um rund 180 m, und bei einer starken Erwärmung (+3.4 °C) um rund 680 m ansteigen (Abb. 8c).

Gletscherrückgang

Die augenfälligste Veränderung in den Alpen als Folge der Klimaänderung wird der Rück-

gang der Gletscher sein. Modellrechnungen des erwarteten Gletscherschwunds im Vergleich zur Referenzperiode 1971–1990 sind in Abb. 9 dargestellt.¹³ Sie wurden für eine Erwärmung im Sommer zwischen +1 und +5 °C und eine Veränderung des Jahresniederschlags zwischen -20% und +30% berechnet.

Gemäss vorliegendem Klimaszenario wird bei einer mittleren Erwärmung die Fläche der Alpengletscher bis 2050 im Vergleich zur Referenzperiode 1971–1990 um ungefähr drei Viertel abnehmen (Abb. 9b). Bei einer moderaten Erwärmung beträgt der Flächenverlust ungefähr 50%, bei einer starken Erwärmung ungefähr 90%. Die relativen Verluste werden bei grossen Gletschern kleiner und bei kleinen Gletschern grösser sein als die geschätzte durchschnittliche Veränderung. Viele kleine Gletscher dürften verschwinden.

Rückgang des Permafrosts

Die Erwärmung des dauernd gefrorenen Untergrundes im Hochgebirge ist ein langsam ablaufender und langfristig wirkender Prozess (vgl. Abb. 10). Bei der im vorliegenden Szenario beschriebenen Erwärmung werden eisreiche Schutthalden in Schattenflanken zwischen rund 2000 und 3000 m ü.M. tiefer – aber nur stellenweise gänzlich – auftauen. Die bereits durch den

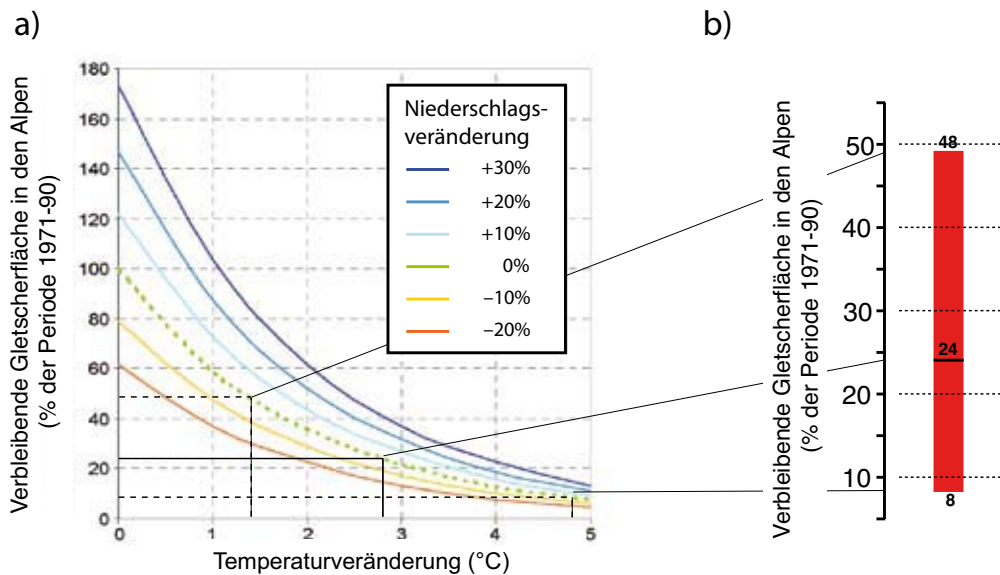


Abbildung 9: a) Veränderung der Alpenvergletscherung bei einem Anstieg der Sommertemperatur um +1 bis +5 °C und einer Veränderung des Jahresniederschlags zwischen -20% und +30%. b) Gemäss Szenario wird die Vergletscherung bis 2050 um ungefähr $\frac{3}{4}$ abnehmen.

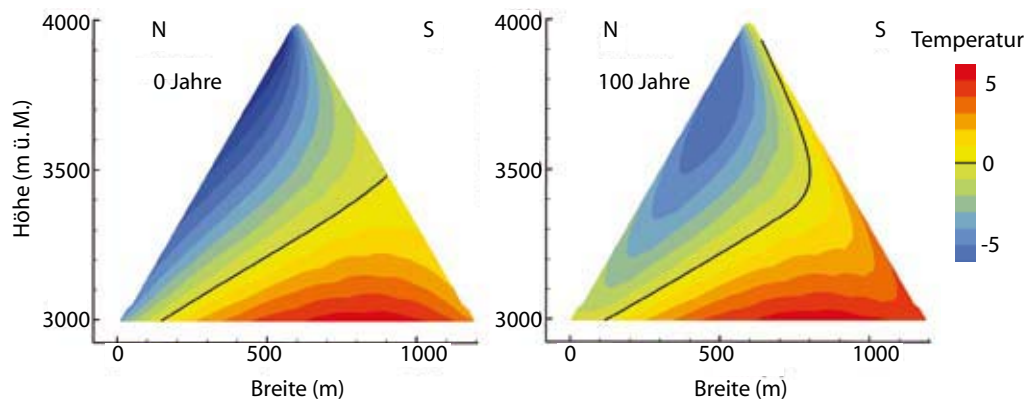


Abbildung 10: Erwärmung des Permafrosts in einem idealisierten Gebirgsgipfel (Modellrechnung, reine Wärmediffusion).¹⁴ Im Untergrund bleibt der Permafrost über lange Zeit erhalten und kann an Stellen vorhanden sein, wo an der Oberfläche keine entsprechenden Klimabedingungen mehr vorliegen. Die Wärme dringt von mehreren Seiten in die Gipfel und Grate ein. Da sich die Wärme im Untergrund sehr langsam ausbreitet, wird dieser Prozess über Zeiträume von Jahrhunderten andauern.

Temperaturanstieg im 20. Jahrhundert verursachte Erwärmung der äussersten rund 50 Meter von gefrorenen Felswänden wird in grössere Tiefen vordringen und dabei zu ausgeprägten thermischen Ungleichgewichten führen. In Gipfel- und Gratlagen werden solche Effekte besonders ausgeprägt sein, da die Erwärmung von mehreren Seiten her eindringen kann.

Felsstürze

Seit Mitte der 1980er Jahre haben sich in den Alpen fünf grosse Felsstürze von über 1 Mio. m³ ereignet: Veltlin 1987, Randa 1991, Mont Blanc-Brenvaflanke 1997, Thurwiserspitze/Ortler 2004, Eiger 2006. Die Sturzbahnen reichten teilweise weit unter die Waldgrenze (Veltlin, Randa, Mont Blanc) und betrafen mit Ausnahme des Eigers tou-

ristisch erschlossenes Gebiet (Strassen, Skipisten, Wanderwege). Die Beziehung zu Gletschern und Permafrost ist in drei dieser Fälle (Mont Blanc, Ortler, Eiger) erwiesen, in den anderen beiden Fällen wahrscheinlich (Veltlin) oder möglich, aber unsicher (Randa).

Die Stabilität von steilen Felsflanken im Hochgebirge (vor allem oberhalb der Waldgrenze) hängt primär von der geologischen Beschaffenheit, der Oberflächenneigung, der Vorgeschichte und den Eisbedingungen (Abstützung durch Gletscher, eisgefüllte Kluftsysteme im Permafrost) ab. Jedes Sturzereignis hat seine spezifische Faktorenkombination. Die

Eisbedingungen verändern sich aber derzeit am schnellsten und sind deshalb wesentlich mitbestimmende Faktoren. Kritische Bedingungen ergeben sich insbesondere beim Verschwinden von Talgletschern (Verlust der Abstützung) und bei warmem Permafrost (ca. 0 bis -1 °C: Gemische von Fels, Eis und Wasser vorhanden). Mit zunehmendem Gletscherrückgang, fortschreitender Erwärmung bisher kalter Permafrostflanken und tiefer eindringender thermischer Störung in gefrorene Steiflanken dürften sowohl die Häufigkeit von Felsstürzen wie auch die Wahrscheinlichkeit von Grossereignissen zunehmen.

4. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserkreislauf

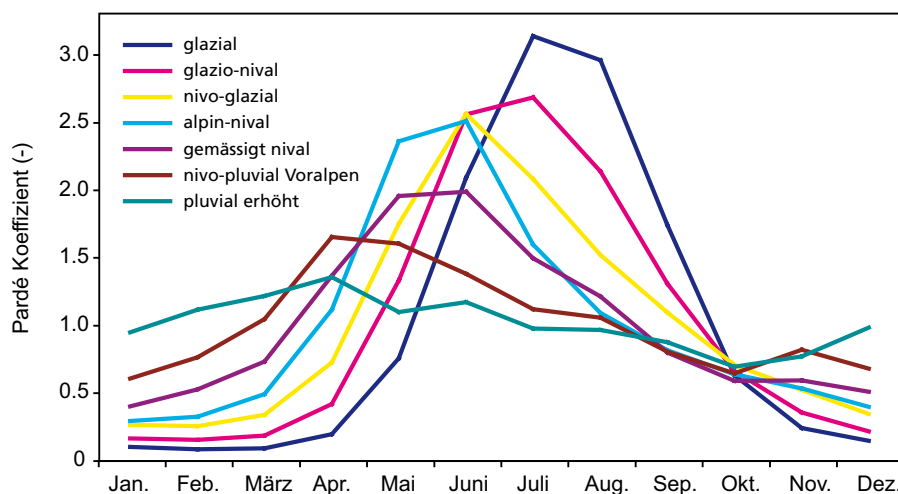


Abbildung 11: Mittlere Abflussregimes von schweizerischen Einzugsgebieten mit unterschiedlicher Höhenlage. Das Spektrum reicht vom Regime, das hauptsächlich vom Regen abhängig ist (pluvial erhöht, mittlere Höhe 800 m ü.M.) bis zum Regime, das hauptsächlich von den Gletschern geprägt ist (glazial, 2700 m ü.M.). Der Höhenunterschied zwischen den einzelnen Regimes beträgt ungefähr 300 m. Der Pardé Koeffizient ist das Verhältnis des mittleren monatlichen Abflusses zum mittleren jährlichen Abfluss. (glazial: von Gletschern geprägt; nival: von Schnee geprägt; pluvial: von Niederschlägen geprägt)

Gewässersysteme – Bäche, Flüsse, kleine und grosse Seen, Wasser im Untergrund, in Poren und Spalten sowie das Grundwasser und letztlich auch die grossen alpinen Wasserspeicher wie Schnee, Firn und Gletschereis – sind Teile des Wasserkreislaufs. Durch Verdunstung und Niederschlag verbindet er die Atmosphäre, den Boden, die Vegetation und die Gewässersysteme. Der Wasserkreislauf wird geprägt durch das Klima und das aktuelle Wettergesche-

hen; umgekehrt beeinflusst der Wasserkreislauf aber auch das Klima und das Wetter – ein äusserst komplexer Regelkreis. Der Mensch greift in diesen Regelkreis ein: Wasser wird in Stauseen und Reservoirs zurückgehalten oder in andere Einzugsgebiete umgeleitet, landwirtschaftliche Flächen werden grossflächig bewässert, Feuchtgebiete entwässert und der Grundwasserspiegel wird abgesenkt oder angehoben.

Die Abflüsse sind indirekt an die Niederschläge gekoppelt. Über mehrere Jahre hinweg folgen sie bei relativ konstanter Verdunstung den Veränderungen der Niederschläge. Aber nur ein geringer Anteil der Niederschläge fliesst direkt ab; der grössere Teil wird beispielsweise in der Schneedecke und in Gletschern, im Boden, im Grundwasser und in natürlichen und künstlichen Seen gespeichert. Kurzfristig wird der Abfluss durch die Freigabe des Wassers aus den Speichern beeinflusst.

Ausgehend vom Grad der Vergletscherung und Schneebedeckung lassen sich verschiedene Abflusstypen unterscheiden, die unterschiedliche jahreszeitliche Abflussmuster aufweisen. Eine Auswahl von Abflusstypen ist in Abbildung 11 dargestellt. Fliessgewässer, die hauptsächlich durch das Abschmelzen von Gletschern und Schnee gespeist werden (Typ glazial), weisen die grössten Abflussschwankungen auf. Hier kann sich der mittlere Monatsabfluss zwischen Winter und Sommer leicht um einen Faktor 30 verändern. Am geringsten sind die Abflussschwankungen bei Fliessgewässern, die überwiegend vom Regen abhängig sind (Typ erhöht pluvial).

Aufgrund des vorliegenden Klimaszenarios muss bis ins Jahr 2050 mit den folgenden Veränderungen im Wasserkreislauf gerechnet werden:

- In tieferen und mittleren Höhenlagen fallen wegen der Erwärmung weniger Niederschläge in Form von Schnee. Die Schneegrenze, welche schneebedeckte Gebiete von den tiefer liegenden Gebieten abtrennt, steigt bei einer mittleren Erwärmung um ungefähr 360 m (vgl. Abschnitt 3).
- Im Winter wird im Mittelland in kleineren und mittleren Einzugsgebieten die Häufigkeit und Stärke von Hochwassern zunehmen. Gründe dafür sind, dass es in tieferen und mittleren Höhenlagen vermehrt regnen statt schneien wird und dass Starkniederschläge zunehmen werden (vgl. Abschnitt 2).
- Bei einer mittleren Erwärmung wird die Gletscherfläche in den Alpen bis 2050 um rund drei Viertel abnehmen (Abschnitt 3, Abb. 9). Diese einfache Abschätzung ist konsistent mit früheren Untersuchungen¹⁵, bei denen bei einer Erwärmung im Sommer um 2.7 °C eine Erhöhung der Gleichgewichtslinie der Gletscher um 400 m resultierte.
- Die Verdunstung wird als Folge der Erwärmung generell weiter zunehmen. Wegen der Austrocknung des Bodens kann die Verdunstung lokal und zeitlich befristet auch eingeschränkt und folglich vermindert sein.
- Wegen der Verminderung des Niederschlagsvolumens und der Zunahme der Verdunstung wird das jährliche Abflussvolumen abnehmen, besonders im Süden, aber auch im Norden. Dies trotz des vorübergehenden Zuschusses von Schmelzwasser aus den abschmelzenden Gletschern. Im Sommer kann die Bodenfeuchtigkeit über längere Zeitabschnitte reduziert sein (insbesondere im Spätsommer und Herbst im Süden, aber auch im Norden). In kleineren und mittleren Fliessgewässern des Mittellandes und im Südtessin werden Trockenperioden entsprechend zunehmen. Zusätzlich kann es im Spätsommer auch in den Gebieten, wo Gletscher verschwunden sind, vermehrt zu Trockenperioden kommen.
- Die Grundwasserneubildung wird im Sommer und im Herbst in allen nicht vergletscherten Gebieten abnehmen.
- Als Folge des veränderten Auf- und Abbaus der Schneedecke, des Anstiegs der Schneegrenze und des Abschmelzens der Gletscher werden sich die Abflussregimes (Abb. 10) in einer bestimmten Höhe um etwa eine Regimestufe nach unten verschieben.

Literatur und Anmerkungen

- 1 IPCC (Hg.). *Climate Change 2001: The scientific basis. Contribution of working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.
- 2 C. Schär, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M. A. Liniger, and C. Appenzeller. The role of increasing temperature variability for European summer heat waves. In: *Nature*, 427, 2004, 332–336.
- 3 J. Schmidli, C. Schmutz, C. Frei, H. Wanner, and C. Schär. Mesoscale precipitation in the Alps during the 20th century. In: *Int. J. Climatol.* 22, 2001, 1049–1074.
- 4 J. Schmidli, C. Frei. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. In: *Int. J. Climatol.*, 25, 2005, 753–771.
- 5 T. M. L. Wigley, S. C. B. Raper. Interpretation of high projections for global-mean warming. In: *Science*, 293, 2001, 451–454.
- 6 C. Frei. Die Klimazukunft der Schweiz – Eine probabilistische Projektion. 2004. (www.occc.ch/Products/CH2050/CH2050-Scenarien.pdf).
- 7 J. H. Christensen, T. Carter, and F. Giorgi. PRUDENCE employs new methods to assess European climate change. In: *EOS*, 82, 147, 2002.
- 8 OcCC (Hg.). *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, 2003.
- 9 C. Frei, C. Schär. Detection probability of trends in rare events: Theory and application to heavy precipitation in the Alpine region. In: *J. Clim.*, 14, 2001, 1568–1584.
- 10 S. I. Seneviratne, D. Luethi, M. Litschi, and C. Schär. Land-atmosphere coupling and climate change in Europe. In: *Nature*, 443, 2006, 205–209.
- 11 C. Frei, R. Schöll, J. Schmidli, S. Fukutome, and P.L. Vidale. Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. In: *J. Geophys. Res.*, 111, 2006, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- 12 S. C. Scherrer, C. Appenzeller. Swiss Alpine snow pack variability: major patterns and links to local climate and large-scale flow. In: *Climate Research*, 32, 2006, 187–199.
- 13 M. Zemp, W. Haeberli, M. Hoelzle, and F. Paul. Alpine glaciers to disappear within decades? In: *Geophys. Res. Lett.*, 33, 2006, L13504, doi:10.1029/2006GL026319.
- 14 J. Noetzli, S. Gruber, T. Kohl, N. Salzmann, and W. Haeberli (2007). Three-dimensional distribution and evolution of permafrost temperatures in idealized high-mountain topography. *Journal of Geophysical Research* (submitted).
- 15 M. Maisch, A. Wipf, B. Denneler, J. Battaglia und C. Benz. *Die Gletscher der Schweizer Alpen – Gletscherhochstand 1850, aktuelle Vergletscherung, Gletscherschwund-Szenarien*. Zürich: vdf Hochschulverlag, 1999.

Landökosysteme

Autoren

Christian Körner, Chair

Botanisches Institut, Universität Basel

Nina Buchmann

Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich

Harald Bugmann

Departement Umweltwissenschaften, ETH Zürich

Peter Duelli

WSL Birmensdorf

Erika Hiltbrunner

Botanisches Institut, Universität Basel

Gabriele Müller-Ferch

Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz

Jürg Paul Müller

Naturmuseum Chur

Otto Wildi

WSL Birmensdorf

Roman Zweifel

WSL Birmensdorf



1. Einleitung

Einbettung

Wie wird die Landschaft aussehen, in der unsere Kinder und Kindes Kinder im Jahre 2050 leben? Welche Trends erkennen wir heute und wie wird sich unsere Landschaft und ihre Leistungen ändern, wenn die heutige Entwicklung so weiter geht oder sich gar beschleunigt? Der vorliegende Bericht ist, wie das bei allen Projektionen in die Zukunft der Fall ist, eine Einschätzung auf der Basis heutigen Wissens, ein Versuch, ein möglichst plausibles Bild zu zeichnen.

Zu den stärksten Einflüssen, denen die Ökosysteme heutzutage ausgesetzt sind, gehören die folgenden:

- Landnutzungsänderungen durch den Menschen
- Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre (CO₂, Stickstoff-Verbindungen)
- Klimaänderungen (Erwärmung, geänderte Niederschlagsverhältnisse, Stürme)
- Anreicherungen von Wirkstoffen (Pestiziden, Hormonen, allg. reaktive Substanzen)

Die möglichen Folgen dieser Veränderungen sind:

- Verlust an biologischer Vielfalt und ganzer Lebensgemeinschaften
- Veränderung der Landbedeckungsformen (Wald, Acker, Grünland, Siedlung usw.)
- Verlust an Bodensubstanz und Bodenqualität
- Veränderte ökosystemare Nutzen für den Menschen

Jede Einschätzung der zukünftigen Entwicklung der natürlichen Ressourcen eines Landes be-

ginnt notwendigerweise mit einer Betrachtung des gegenwärtigen Zustandes und seiner historischen Entwicklung. Im Fall der Landökosysteme (die Systeme im Wasser werden im Kapitel Wasserwirtschaft behandelt) ist der beste Ausgangspunkt die Flächenverteilung der Landbedeckungsformen im Laufe der Zeit. Solche Daten gibt es erstaunlicherweise noch nicht sehr lange.

Die ersten, vagen Schätzungen der Waldfläche in der Schweiz gehen auf das Jahr 1840 zurück. Ganze Berghänge waren damals kahl geschlagen. Das erste Waldgesetz aus dem Jahre 1876 setzte dieser ungezügelter Abholzung Schranken und bewirkte die Ausarbeitung der ersten Waldinventare. Später lag das Interesse vor allem bei den unmittelbar benötigten Ressourcen. So beschäftigte man sich in den grossen Kriegen mit dem Potenzial der eigenen landwirtschaftlichen Produktion und den dazu geeigneten Flächen. Dabei sind die verwendeten Methoden über die Zeit nicht konstant. Es ist zum Beispiel sehr schwierig zu definieren, was ein Wald und was keiner ist. Rechnet man Feldgehölze, Windwurfflächen oder aufkommenden Jungwuchs auf ehemaligem Weideland dazu oder nicht? Die historische Entwicklung der verschiedenen Landbedeckungsformen seit 1900 ist als Schätzung aufgrund von historischen Datenquellen in Abb. 1 dargestellt.

Die erste auf Luftbildern basierte und somit relativ präzise Arealstatistik der Schweiz entstand in den Jahren 1979–1985, eine weitere liegt aus den Jahren 1992–1997 vor. Eine dritte Nachführung ist seit 2005 in Arbeit (Abschluss bis 2013). Die Veränderungen zwischen der ersten und zweiten Arealstatistik zeigt Tabelle 1.

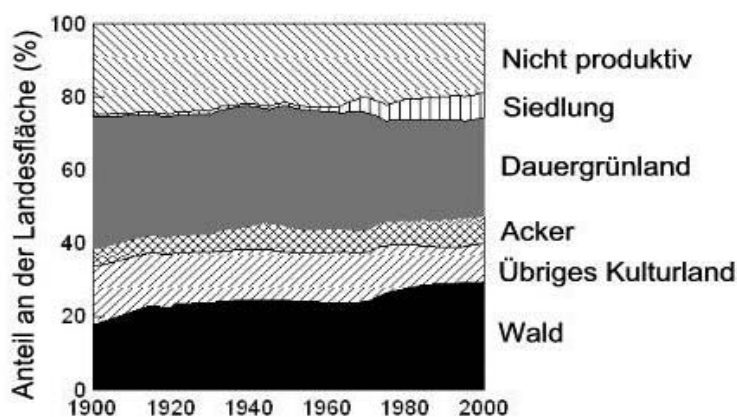


Abbildung 1:
Abschätzung der Entwicklung
der Landbedeckungsformen der
Schweiz 1900–2000¹

Tabelle 1: Landbedeckungsformen in der Schweiz. 74 Grundkategorien wurden zu vier Hauptkategorien zusammengefasst.

Bodennutzungs- und Strukturkategorien	Fläche in ha (% der Gesamtfläche)		Veränderung zwischen den Aufnahmen	
	1979–1985	1992–1997	ha	% (100%=1979/85)
Siedlungs- und Verkehrsfläche	246'098 (5.97%)	278'772 (6.76%)	32'674	+13.3
Landwirtschaftliche Nutzfläche	1'572'091 (38.15%)	1'523'930 (36.98%)	-48'161	- 3.1
Wald und Gehölzvegetation	1'252'815 (30.40%)	1'269'825 (30.81%)	17'010	+1.4
Unproduktive Flächen und Vegetation ^{a)}	1'050'044 (25.48%)	1'048'521 (25.45%)	-1'523	- 0.1

^{a)} Feuchtlebensräume (Inventarflächen) sind in dieser Kategorie enthalten (Flächenangaben gemäss Bundesinventaren zum Schutz der Hoch- und Flachmoore).

Von den rund 41'290 km² Landesfläche der Schweiz entfiel zum Zeitpunkt der ersten Erhebung (1979–1985) mit 38.1% der grösste Anteil auf die Landwirtschaft. Der Anteil der Waldfläche and anderer Gehölzformen betrug 30.4% der Landesfläche. Knapp 6% der Landesfläche entfiel auf Siedlung, Industrie und Verkehrsflächen, 25.5% waren so genannte unproduktive Flächen: Fels, Gletscher, Seen, Fließgewässer. Grob kann man sagen, dass die Waldfläche und Siedlungsfläche auf Kosten der landwirtschaftlichen Fläche in diesen 12 Jahren (1992–1997) um etwa 1.2% zunahm, wobei dieser Trend sich in jüngster Zeit beträchtlich verstärkte. Die bewaldeten Flächen bedeckten bei der zweiten Erhebung rund 31% der Landesfläche. Die stärkste Zunahme ist beim Gebüschwald im Alpenraum zu verzeichnen. Der prozentual niedrig erscheinende Verlust von 3% an landwirtschaftlichen Flächen täuscht hier über das grossflächige Verschwinden von Kulturland hinweg (3% entsprechen dem Verschwinden des gesamten Kantons Obwalden).

Wiesen und Weiden wichen in Grenzertragslagen dem Wald und im Bereich der Hohertragslandwirtschaft vor allem der Urbanisierung, die zusammen mit den wachsenden Verkehrsflächen in nur 12 Jahren um 13.3% zunahm. Pro Tag wurden in dieser Periode 7.5ha landwirtschaftlicher Fläche in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt.

Vor diesem Hintergrund sind alle folgenden Überlegungen und Szenarien zu sehen. Die

flächenmässige Bedeutung der Waldflächen nimmt zu, die des Grünlandes ab, im hochalpinen Gelände gibt das Eis grosse Flächen frei. Die Entwicklung des Siedlungsraumes und der Landwirtschaft wird in eigenen Kapiteln dargestellt. Das Kapitel Landökosysteme behandelt hier:

- Waldökosysteme
- Wiesen und Weiden (extensiv genutztes Grünland)
- Feuchtlebensräume (Moore, Auen, Ufer)

Als Thema über alle drei Landbedeckungsformen werden die Einflüsse auf die Tierwelt erfasst.

Es werden kurz die historischen Entwicklungen erörtert, die zum heutigen Zustand führten, um anschliessend den Blick in die Zukunft zu richten. Das Schwergewicht wird auf die Klimagrössen Temperatur und Niederschlag gelegt und es wird jeweils zwischen der kontinuierlichen Entwicklung und extremen Ereignissen unterschieden. Der Text ist in folgende Abschnitte gegliedert:

- Biodiversität (Artenverlust, Habitatverlust, biotische Interaktionen)
- Naturgefahren und Lebensraumsicherheit (Erosion, Überschwemmungen, Hanginstabilität)
- Nutzen und Produkte von Ökosystemen (Holz, Nahrung, C-Speicher)

Überblick

Die Artenzusammensetzung der Ökosysteme in der Schweiz wird sich langfristig ändern, da die Arten unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren. Viele dieser Veränderungen sind irreversibel. Einerseits kommt es zu einem Schwund bisheriger Arten, andererseits auch zu einer Einwanderung fremder Pflanzen- und Tierarten aus wärmeren Regionen. So werden sich die Flora und Fauna in der Schweiz noch stärker jenen von tieferen und südlicheren Gegenden annähern. An kühle Lebensbedingungen gebundene Arten werden im Alpenraum in höhere Lagen ausweichen müssen. Sie werden dort aber aufgrund der Topografie flächenmässig stark eingeschränkt werden und können im Extremfall ihren Lebensraum ganz verlieren. Arten mit wenig Verbreitungsmöglichkeiten werden von der Erwärmung besonders beeinträchtigt. Sowohl die Klimaänderung als auch die Landnutzung werden sich in den nächsten 50 Jahren auf die Biodiversität auswirken.

Die Widerstandskraft der Vegetation und damit die Sicherheit unserer Lebensräume kann durch ein breites Artenspektrum und eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ökosysteme gestärkt werden. Häufigere und intensivere Extremereignisse können Ökosysteme lokal gravierend stören, so dass diese zumindest kurzfristig ihre Schutzwirkung verlieren. Die berechneten mittleren Veränderungen bis 2050 werden jedoch die Lebensraumsicherheit in der Schweiz nicht substanziell gefährden.

Landökosysteme erfüllen nicht nur wichtige Funktionen wie den Schutz vor Naturgefahren, sie liefern auch ökonomisch relevante Produkte wie Holz, Nahrung und sauberes Wasser. Dieser Nutzen wird in der Zukunft vor allem durch kombinierte Effekte beeinträchtigt, wie z. B. durch hohe Temperaturen zusammen mit geringeren Niederschlägen. Die Produktivität im Wald und im Dauergrünland wird sich spürbar verändern: In höheren Lagen dominiert eine verstärkte Produktivität durch Erwärmung, in tieferen Lagen leidet sie unter sommerlicher Trockenheit. Ausgeprägter sommerlicher Wassermangel bei hohen Temperaturen – wie zum Beispiel im Jahr 2003 und abgeschwächt im Juli 2006 – wird die Produktivität stark limitieren. In Jahren mit ausreichender Feuchtigkeit kann die Erwärmung

zu einer Verlängerung der Wachstumsperiode führen, wobei die genetisch festgelegte Entwicklungsrhythmik sowohl vieler Feldfrüchte als auch in der heimischen Flora dafür wenig Spielraum lässt (<2 Wochen).

Der Wasserverfügbarkeit wird also in Zukunft noch grössere Bedeutung als heute zukommen, wobei vor allem die Tallagen und das Hügelland betroffen sind. Die Bewirtschaftung der Landökosysteme wird sich an die veränderten Umweltbedingungen anpassen müssen. So wird die Bedeutung der Hochlagen als Ausgleichsfläche für die Viehwirtschaft wieder zunehmen.

Verknüpfung mit anderen Themen

Wasserwirtschaft

- Grundwasserstand, Bedarf an Bewässerungswasser bei Dauergrünland
- Produktionseinbussen durch Wassermangel

Landwirtschaft

- Konflikte wegen Wassernutzung, hochmechanisierten Anbauverfahren und evtl. gesteigertem Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln.
- Alpiner Raum als wiederentdeckte Bewirtschaftungszone

Energie

Qualität der Kraftwerkseinzugsgebiete (Hangstabilität, Erosion)

Gesundheit

- Einwandern fremder Arten (Neophyten), welche Allergien und Asthma auslösen können (z.B. *Ambrosia artemisiifolia*).
- Kalamitäten infolge Zunahme von Naturgefahren

Tourismus

Ausfall von Schutzfunktionen im Alpenraum

Versicherungen

Frage nach Versicherungsdeckung bei Ausfall der Schutzwirkung von Landökosystemen infolge extremer Witterungsbedingungen (Lebensraumsicherheit)

2. Biodiversität

Der Lebensraum Schweiz ist stark durch die Höhenstufung geprägt, die zur Bildung von Vegetationsgürteln geführt hat. Bei einer Klimaerwärmung verschieben sich diese Gürtel nach oben. Aber auch die Artenzusammensetzungen innerhalb der Gürtel wird sich ändern. Vor allem in tieferen Lagen ist das mit dem Schwund bisheriger Arten und der Einwanderung bislang fremder Pflanzen- und Tierarten aus wärmeren Regionen verbunden.

Obwohl die Schweiz mit einer Landesfläche von rund 41'290 km² relativ klein ist und nicht am Meer liegt, weswegen die vielfältige küstennahe Pflanzen- und Tierwelt fehlt, erreicht sie ähnliche Artenzahlen wie manche viel grössere europäische Länder. Die relativ hohe Biodiversität verdankt sie den beachtlichen Höhengradienten, der geologischen Vielfalt, dem reich strukturierten, über lange Zeit traditionell bewirtschafteten Kulturland und der grossen Anzahl an natürlichen Lebensräumen.

Die ausgeprägten Vegetationsgürtel der Schweiz stellen eine Reaktion der Pflanzen- und Tierwelt auf die Höhenstufen dar. Diese Höhenstufen sind durch ihr spezifisches Klima und durch die Geländeform geprägt. Während sich die Topografie kurzfristig kaum ändern wird, verschieben sich die Klimagürtel bei einer Erwärmung tendenziell nach oben. Es resul-

tiert damit eine neue Kombination von Topografie und Klima. Für die weiteren Veränderungen ist daher die Frage der Verschiebung und Veränderung der Vegetationsgürtel wichtig.

Die *Wirbeltiere* sind schon wegen ihrer relativen Grösse in hohem Masse von der Lebensraumnutzung und -gestaltung wie auch von der direkten Nutzung durch den Menschen (Jagd, Schädlingsbekämpfung etc.) abhängig. Dieser Effekt wird – wie auch bei den wirbellosen Tieren – die Wirkungen der Klimaänderung stark überdecken. Besonders bei mobilen Tieren (z.B. bei Vögeln) ist davon auszugehen, dass Einwanderungen aus wärmeren Gebieten langfristig ein Thema bleiben werden. Auch dürfte sich der bereits gegenwärtig beobachtete Trend fortsetzen, dass früher als Zugvögel bekannte Arten der Klimagunst folgend in der Schweiz überwintern.

Entwicklung bis heute

Seit der letzten Eiszeit sind ständig Arten natürlicherweise aus wärmeren Gebieten in die Schweiz eingewandert. In Siedlungsgebieten tieferer Lagen erfolgt die Einwanderung durch anthropogene Einflüsse schneller, während die Veränderungen der Ökosysteme der Hochlagen nur langsam ablaufen.

Schon heute besteht ein grosser Teil der Fauna und Flora in Städten und Gewässern aus fremdländischen Arten. Die Einwanderung fremder Tierarten kann wegen deren Mobilität sehr rasch vor sich gehen. Bei den Wirbeltieren spielte dabei der Mensch fast immer eine zentrale Rolle. Die Verbreitung fremder Arten geschieht entweder absichtlich oder unabsichtlich durch Verschleppung beim Gütertransport.

Dass sich insbesondere die dominierenden Waldgürtel bei einer generellen Erwärmung nach oben verschieben werden, ist unbestritten² und für die spät- und nacheiszeitliche Entwicklung nachgewiesen³. Es wird davon ausgegangen, dass diese Verschiebung sehr lange dauern kann und dass sich die heutige Baumartenverbreitung erst über Jahrhunderte den veränderten Verhältnissen anpassen muss. Die wenigen im Bereich der Baumgrenze beobachteten Artverschiebungen von Arten weisen zudem darauf hin, dass solche Reaktionen in hohen Lagen besonders langsam ablaufen.⁴

Die Artenzahl in der Schweiz nimmt als Folge der steten Einwanderung fremder Arten seit der Eiszeit

zu. Durch die Erwärmung und die zunehmende Mobilität der Menschen wird sich dieser Trend noch beschleunigen (Abb. 2). Die neuen Arten dringen jedoch selten oder sehr verzögert in die bisherige, einheimische Vegetation ein und finden sich hauptsächlich in gestörten Lebensräumen.

Einheimische Arten sterben aus verschiedenen Gründen vermehrt aus. Entweder sie ertragen die Erwärmung nicht, sie werden von den Neankömmlingen verdrängt oder durch stärker dominierende einheimische Arten unterdrückt. Letzteres gilt z.B. für die Wälder, wo sich das Wachstum der meisten Baumarten in den vergangenen zweihundert Jahren bei gleichzeitigem Rückgang der Nutzung beschleunigt hat (Abb. 3). Dies hat zu dichteren Pflanzenbeständen und damit zu einem Rückgang der lichtbedürftigen Arten geführt. Eine ähnliche Entwicklung konnte in den Feuchtgebieten mittlerer Lagen beobachtet werden, die sich unter zurückgehenden Niederschlägen kaum ändern. Sie reagieren jedoch auf erhöhte Nährstoffeinträge.

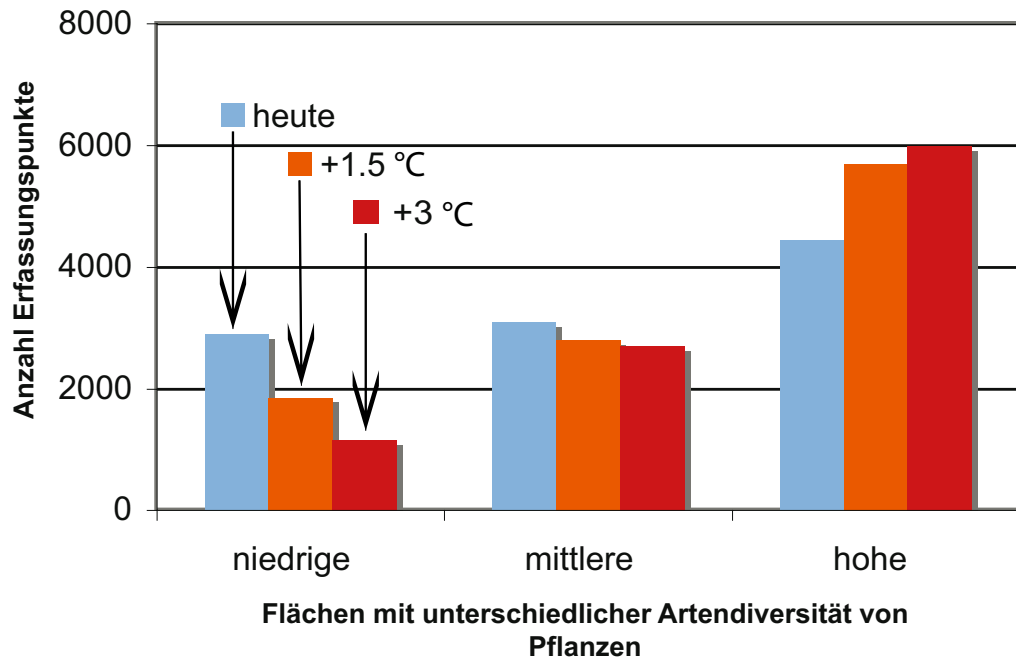


Abbildung 2: Prognostizierte Veränderung der Zahl der Pflanzenarten in den Wäldern der Schweiz als Folge des Klimawandels (Simulationsstudie, vereinfacht).⁵ Mit steigender Temperatur und gleichzeitigem leichtem Anstieg des Niederschlags (+15% im Modell; nach aktueller OcCC-Prognose sinken die Niederschläge) nimmt die Zahl der artenarmen Flächen ab, jene der artenreichen zu. Die Erfassungspunkte sind Stichproben an den Schnittpunkten des Kilometersnetzes der Schweiz innerhalb des Waldareals. Die Artenzahl bezieht sich auf Flächen von 200 m².

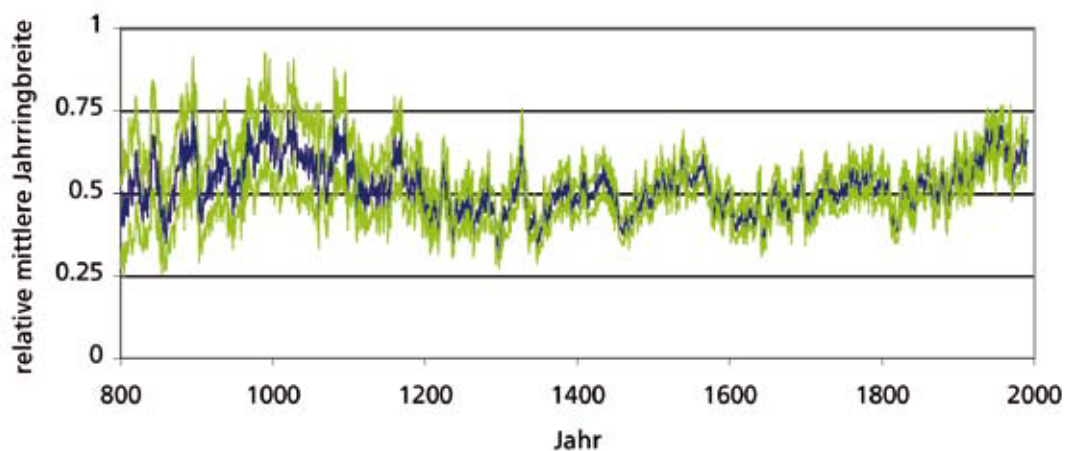


Abbildung 3: Mittlerer Dickenzuwachs der natürlich vorkommenden Baumarten im Alpenraum bis 1993.⁶ Seit 1816 nimmt die Jahrringbreite laufend zu. Die starken Schwankungen (Unsicherheiten) vor dem Jahr 1200 werden auf den Mangel an so alten Holzproben zurückgeführt (geringe Replikation). Violette Linie: Mittelwerte. Grüne Linien: Standardabweichungen.

Zukunft

Sowohl die Klimaänderung als auch die Landnutzung werden sich in den nächsten 50 Jahren auf die Biodiversität auswirken. Allgemein wird sich die Pflanzen- und Tierwelt verstärkt jenen tiefer und südlicher gelegenen Gegenden annähern. Wie viele Arten dabei verloren gehen oder neu einwandern, ist schwer abzuschätzen.

Die Einwanderung fremder Arten in die Schweiz wird sich in den nächsten 50 Jahren aufgrund des schnellen Temperaturanstiegs drastisch beschleunigen. Durch die Klimaänderung werden sich die Flora und Fauna noch stärker tiefer und südlicher gelegenen Gegenden annähern. Durch den Handel (z.B. Zierpflanzen) und die Mobilität der Bevölkerung gelangen zudem Tier- und Pflanzenarten (so genannte Neozoen und Neophyten) aus der ganzen Welt in die Schweiz. Viele neu zugewanderte Arten haben hier zunächst keine Feinde oder Krankheiten und neigen zu Massenvermehrung.

Änderungen, deren Konsequenzen erst heute spürbar werden, obwohl sie vor 100 Jahren stattfanden (z. B. Altersstruktur von Wäldern, Aufgabe der Waldweide, Erhöhung der Wildbestände). Aufgrund heutiger Kenntnisse wird somit nicht nur das Klima, sondern vor allem die sich ändernde Landnutzung die Biodiversität stark beeinflussen. Wegen der liberalisierten Landwirtschafts- und Forstpolitik dürfte sich die Nutzung auf die Gunstlagen im Tal (Landwirtschaft) und gut zugängliche Wälder konzentrieren. Steigende Energiepreise könnten durch Energieholznutzung in Zukunft diesen



Abbildung 4:
Seit den 80er-Jahren wandert *Mantis religiosa* aus dem Südwesten (Jura) und aus dem Elsass in die Nordschweiz ein. Im Sommer 2006 wurden Eigelege in einer Waldlichtung im Fricktal (AG) gefunden.
(Quelle: Peter Duelli, WSL)

Da die Zeit bis zum Jahr 2050 für die meisten Ökosysteme sehr kurz ist, ergibt sich durch den generellen Erwärmungstrend zwangsweise eine Entkoppelung von „Klimabedürfnis“ und realem Standortklima. Dies führt zu einer allmählichen Verschiebung im Artenmuster der bestehenden Vegetation und der Tierwelt. Bestimmte Arten werden gefördert, andere werden zurückgedrängt. Diesen Prozessen ist die laufende Landnutzungsänderung überlagert, also zum Beispiel der Rückzug der Land- und Forstwirtschaft aus den Berggebieten. Als weitere Ebene sind diesen Vorgängen historische Landnutzungsänderungen unterlegt,

Trend rückgängig machen. Viele Kulturrelikte (z.B. Strukturelemente in der Landschaft) der vergangenen Jahrhunderte werden verschwinden. In den Alpen und im Jura sollte sich die Landwirtschaft mit Hilfe von Direktzahlungen vor allem in touristisch wichtigen Regionen halten können. Auch im Wald wird es einen allmählichen Übergang von der heute propagierten Multifunktionalität der Waldfläche zu einer Aufteilung der Flächen entsprechend ihrer jeweiligen prioritären Waldfunktionen kommen: subventionierte Pflege für Schutzwälder und spezifische Waldschutzgebiete, Wälder ohne kommerzielle Holznutzung sowie Wirtschaftswälder, in

denen rentable Holznutzung möglich ist. Es ist mit einer weiteren Ausdehnung der Siedlungsfläche und einer Zunahme des Verkehrs zu rechnen, was den Verlust von naturnahen Flächen sowie die weitere Zerschneidung der Landschaft bedeutet. Die Lebensräume für Tiere und Pflanzen werden somit kleiner bzw. verschwinden.

An kühle Lebensbedingungen gebundene Arten werden im Alpenraum in höhere Lagen verdrängt. Dort werden Sie aber aus topografischen Gründen eine kleinere Gesamtfläche zur Verfügung haben. Die Vegetationsgürtel wandern also nicht nur in die Höhe, sondern sie werden auch räumlich eingeschränkt², wobei unterschiedliche Artenkonkurrenz vor allem bei Bäumen diesen Trend verändern kann (bremsen oder beschleunigen). Gewässerbegleitende Pflanzenarten wandern am raschesten ein, und zwar in die wärmsten Gebiete (Gewässer im Tessin, Rhein bei Basel, Rhone bei Genf). Die Ausbreitung in höhere Lagen wird allerdings durch die verzögerte Anpassung der Arten an das Klima begrenzt. Im Gebirge sind es vor allem Pionierarten auf Rohböden, die dem Trend rasch folgen können. Wärmeliebende Neophyten breiten sich auch in den Wäldern aus, wobei sich im Handel angebotene Gartenpflanzen im Tessin und im Mittelland über weite Gebiete verbreiten können.

Insbesondere in den Flachmooren der Schweiz ist – mit Ausnahme der Südschweiz – ein Rückgang der Artenzahl zu erwarten. Dieser wird weiter verstärkt, wenn die Niederschläge abnehmen

und die Ausdehnung dieser Lebensräume mangels Wassers abnimmt. Die Hochmoore der Schweiz nehmen dabei eine Sonderstellung ein. Die höheren Temperaturen und die längeren Trockenperioden gefährden die Moosdecke und ermöglichen für Hochmoore untypischen Arten, in diese Lebensräume einzudringen. Das gilt als unerwünscht, da dies einem Ökosystemumbau gleichkommt und Artenarmut eine typische Eigenart der Hochmoore darstellt. Bei den verdrängten Arten handelt es sich um Spezialisten, die keine anderen Lebensräume besiedeln könnten.

Die Erwärmung wird vor allem jenen Arten zusetzen, die wenig mobil sind oder die auf wenig mobile Arten als Futter oder Wirt angewiesen sind. Mobile Arten können in kühlere Habitate ausweichen, was in den Bergen einfacher ist als im Flachland. Trotzdem werden Erwärmung und Nutzungswandel vor allem in den Alpen und im Jura viele Arten zum Aussterben bringen. Besonders Arten von sehr isoliertem Vorkommen (Endemiten) und Arten, die nicht weiter in die Höhe ausweichen können, sind gefährdet.

Kälteliebende, tundrenbewohnende Arten (Schneehase, Schneehuhn) werden dank der Ausbreitung der Pflanzendecke in Gebirgen mit einer grossen alpinen und nivalen Stufe vorerst mehr Lebensraum finden, auf kleinen, tiefer liegenden Gebirgsstöcken aber aussterben. Felsenbewohnende Arten südlicher Herkunft (Steinbock, Alpenmauerläufer) werden ihre Areale nach oben ausdehnen oder haben dies schon getan (Steinhuhn) (siehe Abb. 5).



Abbildung 5: Kälteliebende, tundrenbewohnende Arten wie der Schneehase werden vorerst mehr Lebensraum finden dank der Ausbreitung der Pflanzendecke in Gebirgen mit einer grossen alpinen und nivalen Stufe. Auf kleinen, tiefer liegenden Gebirgsstöcken werden sie aber aussterben. (Quelle: Martin Merker)

Felsenbewohnende Arten südlicher Herkunft wie der Steinbock werden ihre Areale nach oben ausdehnen oder haben dies schon getan, sofern die Berge hoch genug sind. Andernfalls dürften die lokalen Populationen zusammenbrechen. (Quelle: Thomas Jucker)

Auch bei den Wirbeltieren werden die mobilen Formen (Vögel, grosse Säugetiere) auf einen Klimawandel rascher reagieren können. Jede Arealverschiebung nach oben bedingt aber einen Nettoflächenverlust, weil die Landfläche mit der Höhe abnimmt. Zuverlässige Angaben liegen diesbezüglich über Bestandesänderungen bei Vögeln vor. Wie Abb. 6 zeigt, konnte für die vergangenen 15 Jahre ein Artenrückgang im Kulturland, jedoch eine Zunahme im Wald nachgewiesen werden, ein Trend, der in dieselbe Richtung wie die Entwicklung der Flächen der Landbedeckungsformen geht (Abb. 1, Tab. 1). Für alle Organismengruppen gilt, dass kurzfristige, spektakuläre Veränderungen wenig wahrscheinlich sind, und diese sich auf Einzelarten beschränken. Das zeigt z.B. der „Swiss Bird Index“ aller Vogelarten in Abb. 6, der auf praktisch konstantem Niveau verharrt.

In der Bilanz steigt die Artenzahl in der Schweiz trotz steigendem Verlust von Arten stetig an, da die Einwanderungen deutlich zahlreicher sind als die Aussterbefälle. In der Gesamtwertung sind die Verluste allerdings stärker zu gewichten, da viele dieser Arten ganz, also weltweit, aussterben, wohingegen die eingewanderten Arten ihr hauptsächlichstes Verbreitungsgebiet oft im Mittelmeerraum, gelegentlich gar auf anderen Kontinenten haben.⁷

Ebenso wichtig für die Veränderung der Biodiversität in der Schweiz ist der sich politisch abzeichnende Übergang von einer integrativen Landnutzung (überall von allem etwas) zu einer räumlichen Aufteilung, einer so genannten Segregation (hier Artenschutz, dort intensive Produktion). Dieser Übergang ist wissenschaftlich und politisch umstritten und bedeutet eine Änderung des Blickwinkels in der Gesellschaft bezüglich dieser Problematik.

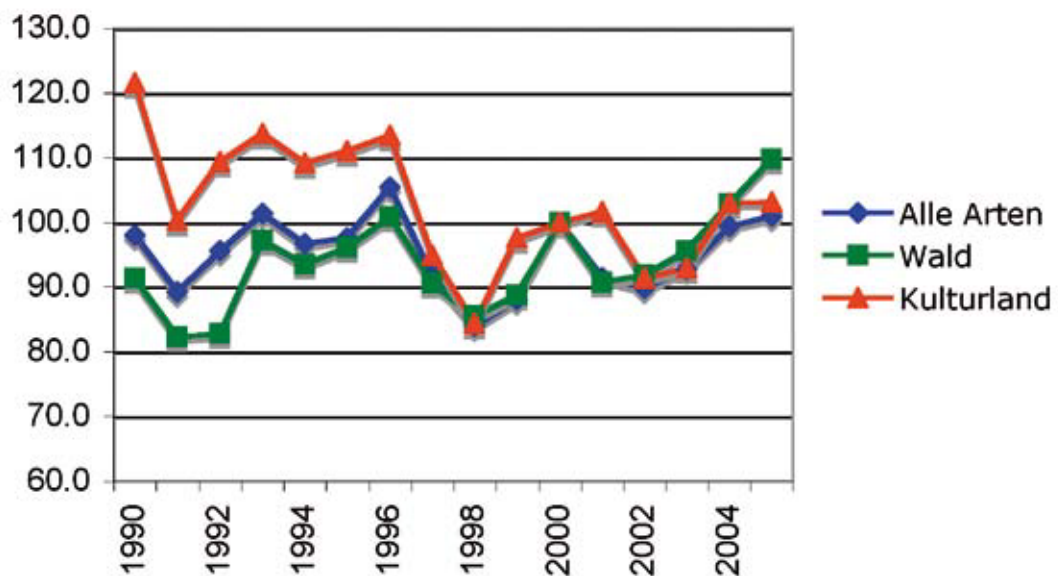


Abbildung 6: Verlauf des „Swiss Bird Index“ (der SBI repräsentiert die Zahl der standorttreuen Vogelarten in verschiedenen Landschaftstypen) für die vergangenen 15 Jahre. Im Kulturland ist die Vielfalt rückläufig, im Wald ansteigend und über alle Vogelarten gerechnet konstant. (Quelle: © Schweizerische Vogelwarte Sempach)

Massnahmen

Direkte Massnahmen zur Erhaltung bedrohter Arten sind schwierig zu realisieren. Den besten Schutz bietet die Erhaltung des Lebensraumes, was auch die Beibehaltung einer kleinräumig vielfältigen Landnutzung einschliesst.

Die traditionellen Massnahmen des Arten- und Biotopschutzes zur Erhaltung der Artenvielfalt sind durchaus geeignet, um auch zukünftigen Entwicklungen entgegenzuwirken. Wünschenswert ist ein grossräumiges Nebeneinander von verschiedenen Landnutzungen und flächendeckendem Artenschutz (unter Einbezug von Schutzgebieten) und gezielter Artenförderung, je nach Region und kultureller Prägung.

Die starke Intensivierung der Raumnutzung (der Landwirtschaft, der Siedlungs- und Gewerbenutzung) hat im vergangenen Jahrhundert zu massiven Artenverlusten geführt, die nicht durch partielle Extensivierung (meist

Wiederbewaldung) kompensiert wurden. Solchen Verlusten entgegenzuwirken, ist auch im Zusammenhang mit der Klimaveränderung sinnvoll und prioritär. Schwieriger gestaltet sich die Situation bei neu einwandernden Arten. Unter diesen wird es solche haben, die harmlos sind und deren Ausbreitung eine logische Konsequenz der veränderten Umweltbedingungen ist. Andere, wie aggressive Neophyten, Neozoen und neue Pathogene, welche die Biodiversität gefährden, müssen gezielt reguliert werden. Diese Arten frühzeitig als solche zu erkennen ist schwierig und Gegenstand der ökologischen Forschung.

3. Naturgefahren und Lebensraumsicherheit

Ökosysteme der Schweiz können bei steigender Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen lokal stark gestört werden und damit zumindest kurzzeitig ihre Schutzwirkung verlieren. Die gemäss Klimamodellen zu erwartenden mittleren Veränderungen des Klimas bis ins Jahr 2050 sind für die Ökosysteme vergleichsweise weniger wirkungsvoll. Eine Gefahr für die Lebensraumsicherheit und die Unversehrtheit der Ökosysteme resultiert hauptsächlich aus klimatischen Extremereignissen und der nicht angepassten Nutzung von empfindlichen Landschaftstypen (z.B. standortfremde Artenzusammensetzung von Wäldern, die veränderte Bewirtschaftung von Alpweiden, aber auch der Schadstoffeintrag in ungenutzte Ökosysteme).

Die verschiedenen Landschaftstypen und Lebensräume des Gebirgslandes Schweiz erfüllen eine Vielzahl von wichtigen Funktionen: Jede Art geschlossener Vegetation schützt den Boden, stabilisiert Hänge und schützt vor Erosion. Dem Wald fällt eine besondere Rolle beim Schutz vor Lawinen und Steinschlag zu und er fördert die ökosystemare Wasserspeicherung. Gleichzeitig ist die Vegetation Rohstofflieferant und dient als Erholungsraum und Sportgelände. Diese wichtigen Funktionen sind untrennbar gekoppelt an die Widerstandsfähigkeit, Stabilität und dynamische Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme, insbesondere der Wälder. Dadurch bekommen auch scheinbar unbedeutende Organismen einen Wert für die Lebensraumsicherheit. Das Zusammenwirken dieser unzähligen Bestandteile bestimmt letzt-

lich die Verletzlichkeit der Systeme gegenüber Nutzung oder klimatischen Veränderungen. Die land- und forstwirtschaftliche, aber auch die touristische Nutzung der Ökosysteme hat im Zeitraum von einigen Dekaden weit grösseres Veränderungspotenzial für die Schutzfunktionen als die künftigen mittleren Veränderungen von Temperatur und Niederschlag. Eine Häufung von klimatischen Extremereignissen kann rasche Veränderungen natürlicher Ökosysteme bewirken und birgt somit das Risiko eines zumindest zeitweiligen Verlusts an Funktionalität. Zudem lässt der Mensch durch die dichter werdende Nutzung unserer Landschaft grossen Naturereignissen (z.B. Hochwasser) immer weniger Raum, weshalb sie stärker spürbar werden und dementsprechend auch mehr Schaden verursachen.

Entwicklung bis heute

Bisher traten temporäre Verluste an Lebensraumsicherheit hauptsächlich aufgrund von Extremereignissen und der Siedlungstätigkeit in Gefahrenzonen auf. Die kontinuierliche Veränderung der Landnutzungsformen und der Eintrag von Nähr- und Schadstoffen aus der Luft haben aber einige Ökosystemtypen anfälliger für weitere klimatische „Störungen“ gemacht. Einzelne Veränderungen, wie z.B. die Zunahme der Waldfläche, zeigen aber auch positive Effekte: Wälder stabilisieren steile Hanglagen weit besser als alle anderen Ökosystemtypen.

Wald und extensiv genutzte Graslandschaften durchliefen in der Schweiz in den letzten 150 Jahren einen grossen Wandel. Früher wurde jeder Flecken Land aus der Sicht seiner produktiven Nützlichkeit für den Menschen bewertet. Daher wurden Feuchtgebiete trocken gelegt, Wälder wurden auf die Steigerung des qualitativ hochwertigen Holzertrages ausgerichtet, Wiesen und Weiden wurden auch in unwegsamem Gelände genutzt. Dabei blieb der Aspekt der Integrität eines Ökosystems wie auch der damit verbundenen Lebensraumsicherheit während langer Zeit zweitrangig.

Heute sind viele dieser Gebiete wirtschaftlich nicht mehr interessant; die Bedeutung einer intakten Vegetationsdecke für die Lebensraumsicherheit hat aber an vielen Orten zugenommen, weil heute z. T. genau an diesen Stellen touristische Infrastruktur und Siedlungsraum vom Schutzwald profitieren (beide rückten in potenzielle Gefahrenzonen vor). Alpweiden verganden (gehen als spezieller Lebensraum und Ressource verloren) und unwegsames Gelände wird nicht mehr genutzt. Dafür steigt der Druck der Freizeitgesellschaft auf beinahe alle Vegetationsformen.

Diese menschlichen Einflüsse haben neben den klimatischen Veränderungen Auswirkungen auf die Vegetation gezeigt und so auch die damit verbundene Schutzwirkung vor Naturgefahren beeinflusst. Mehr Wald steigert meistens die Wasserspeicherkapazität von Böden, verbessert die Hangstabilität und schützt vor Erosion. Mehr Wald schützt je nach Topografie auch vor Lawinen oder Steinschlag. Dem zuwider läuft die Zunahme von Extremereignissen, die z. T. zu Überschwemmungen und Hangrutschungen führten, die durch die natürliche Pufferwirkung der Vegetation nicht absorbiert werden konnten. Gehäufte Sturmschäden haben in den betroffenen Gebieten die Lebensraumsicherheit vorübergehend stark herabgesetzt (z. B. die Stürme Vivian 1990 und Lothar 1999). Häufig trat eine grössere Schwächung der Ökosysteme aufgrund von klimatischen Extremereignissen dort auf, wo die topografischen Bedingungen ohnehin schon

grössere menschliche Eingriffe in die Vegetation bedingten, um modernes menschliches Leben möglich zu machen, z. B. in Alpentälern oder in der Nähe von Fließgewässern. Zum Teil erfolgten die Starkniederschläge aber auch in Kombination mit geologischen Bedingungen, welche das Rückhaltevermögen jeglicher Vegetationsform überstiegen. Extreme Niederschlagsereignisse führten zum Abrutschen ganzer Waldteile (z. B. in der Innerschweiz im Sommer 2005).

Vorübergehende Verluste an Lebensraumsicherheit traten aber auch in Wäldern auf, in denen Trockenheit zusammen mit hohen sommerlichen Temperaturen und einem verstärkten Insektenbefall zum flächigen Absterben von Bäumen führte (z. B. Borkenkäferepidemien nach Lothar und im Trockensommer 2003, Föhrenwälder im Wallis;⁸ siehe Abb. 7 und 8). Auch hier dürfte die Art der Nutzung der Wälder neben den klimatischen Einflüssen über die letzten 100 Jahre eine Rolle gespielt haben. Laubbäume, allen voran die Flaumeiche, besiedeln rasch die freiwerdenden Flächen und konnten so bisher die Funktion der Föhren weitgehend ersetzen (siehe Abb. 8).



Abbildung 8: Die Kombination von verstärktem winterlichen Windwurf und wärmeren Sommern lässt die Borkenkäferpopulationen explodieren. (Quelle: Christoph Ritz)



Abbildung 8:
Die Kombination aus aufgegebener Landnutzung (Waldweide) und wärmeren trockeneren Sommern führt zu einem raschen Umbau der tiefgelegenen Walliser Föhrenwälder in Flaumeichenwälder.
(Quelle: Roman Zweifel)

Blick in die Zukunft

Weitere lokal und zeitlich begrenzte Verluste an Schutzfunktionen von Ökosystemen sind aufgrund der prognostizierten Häufung von Extremereignissen zu erwarten. Für siedlungsferne, ungenutzte Teile der naturnahen Landschaft ist dies kein Problem, da durch diese Dynamik neue Nischen für Tiere und Pflanzen entstehen. Ist der Siedlungs- oder Verkehrsraum betroffen, haben diese Veränderungen aber verheerende Folgen.

Fünfzig Jahre sind für die Vegetation und vor allem für Wälder ein kurzer Zeitraum, weil sich Veränderungen mit einer gewissen Trägheit und Verzögerung zeigen. Bis ins Jahr 2050 stellen die prognostizierten mittleren (!) Klimaveränderungen kaum eine substanzielle Gefahr für die Schutzfunktionen der Vegetationsdecke und der damit verbundenen Lebensraumsicherheit in der Schweiz dar. Häufigere oder ausgeprägtere Extremereignisse (Hitze, Dürre, Feuer, Starkregen, Stürme) können aber lokal massive Folgen haben und sprunghaft die ökosystemare Integrität ändern (etwa nach einem Waldbrand oder starkem Insektenbefall). Solche Prozesse werden wahrscheinlicher, je schneller sich das Klima ändert und je stärker die Vegetation schon in Folge des allgemeinen Klimatrends in Umstellung begriffen ist.⁹ Allerdings sind solche Szenarien eines plötzlichen Aufschaukelns von schädigenden Wirkungen (z. B. Insektenkalamität in der Folge von Dürre) kaum prognostizierbar.

Zuverlässiger abschätzbar sind Auswirkungen von Klimaänderungen (in Kombination mit den menschlichen Einflüssen), für die es Erfahrungswerte gibt. Aufgrund heutigen Wissens sind überdurchschnittlich starke Folgen der Klimaänderung bis ins Jahr 2050 in den folgenden Ökosystemen zu erwarten:¹⁰

- in Ökosystemen, die durch menschliche Eingriffe von ihrer natürlichen Form, Zusammensetzung und Funktionalität weit entfernt sind, z.B. forstliche Monokulturen standortfremder Arten oder übernutztes (z.B. überdüngtes und dadurch artenarmes) Grasland
- in Ökosystemen, die sich in klimatischen Grenzzonen befinden, wie z. B. in auftauenden Permafrostgebieten, an Trockenstandorten an der Grenze zur Versteppung, an nur schwach vernässten Feuchtstandorten und in der Nähe der oberen Waldgrenze

- in Ökosystemen, in welchen die Landnutzung der natürlichen klimabedingten Entwicklung der letzten Jahrzehnte entgegenlief (z. B. wo durch Alpweiden die obere Waldgrenze künstlich tief gehalten wurde, kann bei Nutzungsrückgang und gleichzeitig wärmeren Temperaturen der Wald sehr rasch nachrücken).
- in Ökosystemen, in denen Klimaänderungen Wirkungskaskaden auslösen, wie z. B. starker Befall durch Insekten oder andere Schädlinge durch höhere Temperaturen (z.B. drei statt zwei Borkenkäfergenerationen pro Saison)

Massnahmen, Unsicherheiten, Wissenslücken

Eine vielfältige Artenzusammensetzung und eine nachhaltige Nutzung erhöhen die Widerstandskraft und Stabilität der natürlichen Ökosysteme. Sie vermögen den Lebensraum des Menschen am besten zu sichern. Die Klimaänderung kann man nur langsam beeinflussen. Wie wir jedoch unseren Lebensraum nutzen, das können wir schneller ändern. So können wir auch viel rascher eine nachhaltige Wirkung erzielen, damit die Schutzfunktionen der Ökosysteme erhalten bleiben.

Vor allem in den letzten 50 Jahren wurde in der Schweiz Siedlungsraum in topografisch gefährdete Lagen ausgedehnt. Hänge, die ursprünglich einmal bewaldet waren, wurden nach Aufgabe der forstwirtschaftlichen Nutzung überbaut. Flusstäler, die Jahrhunderte lang gemieden wurden, werden heute intensiv bewohnt. Es sind vor allem diese exponierten Gebiete, in denen die (durch den Menschen veränderte) Vegetation ihre Schutzfunktion bei Extremereignissen oft nicht mehr zu erfüllen vermag. Die globale Entwicklung brachte einerseits die anthropogene Klimaänderung mit sich, sie hat die Menschheit aber gerade in Gebirgsländern wie der Schweiz auch stärker abhängig gemacht von der Lebensraumsicherheit, die von einer intakten Vegetationsbedeckung abhängt. Technische Massnahmen werden nicht im Stande sein, die Lebensraumsicherheit in den Schweizer Gebirgstälern ohne die Hilfe der natürlichen Ökosysteme, insbesondere von Wäldern in

Steillagen, zu sichern. Es wird deshalb entscheidend sein, dass wir standortgerechte vielfältige Artenzusammensetzungen von Ökosystemen fördern und eine naturnahe Altersstruktur und Baumartenmischung der Wälder herbeiführen, wo diese nicht mehr gegeben ist. Ob diese Diversifizierung rasch genug erfolgen kann, ist in Anbetracht der langsamen Entwicklungsgeschwindigkeit v. a. von Waldökosystemen allerdings eher fraglich.

Der direkte Zusammenhang zwischen naturnahen (also gut angepassten und diversen), widerstandsfähigen Ökosystemen und der Lebensraumsicherheit in Gebirgsregionen muss verstärkt ins (politische) Bewusstsein gerückt werden. Dabei ist gerade in einem dicht besiedelten Land wie der Schweiz die Erkenntnis wichtig, dass Ökosysteme immer auch die darin lebenden Menschen beinhalten und eine nachhaltige Entwicklung nur unter Berücksichtigung der menschlichen Tätigkeiten erreicht werden kann.

4. Nutzen und Produkte von Ökosystemen

Landökosysteme erfüllen nicht nur wichtige Funktionen wie die Lebensraumsicherheit, sie liefern auch ökonomisch relevante Produkte wie Holz, Nahrung und sauberes Wasser.

Abgesehen von den bereits im Abschnitt 3 Naturgefahren und Lebensraumsicherheit genannten umfassenden Nutzen der Sicherung der Lebensräume, erfüllen Landökosysteme auch ausserhalb der Intensivlandwirtschaft wichtige Funktionen wie Luft- und Wasserreinhaltung, Kohlenstoff- und Wasserspeicherung und Nährstoffrecycling. Sie liefern ökonomisch relevante Produkte wie Holz, Nahrung und

Wasser. Ferner haben Wälder durch den grossen Biomassevorrat von Bäumen ein besonders hohes Kohlenstoffsinkenpotenzial, deutlich grösser als Grünland oder Acker (wo sich das Potenzial im Bodenumus erschöpft). All diese Leistungen und Produkte werden zwar durch physikalisch-chemische und klimatische Bedingungen beeinflusst, aber auch seit Jahrtausenden durch die Landnutzung wesentlich geprägt.

Entwicklung bis heute

In den letzten 100 Jahren wurden die meisten Landökosysteme stärker durch Änderungen in der Landnutzung als durch den Klimawandel beeinflusst. Dennoch sind Auswirkungen des Klimawandels auf die Bereitstellung von Bioressourcen (z. B. Heu, Holzvorrat, Kohlenstoffspeicherung) in der Schweiz bereits zu beobachten.

Die Landnutzung von Agrar- und Forstökosystemen hat sich in den letzten 100 Jahren stark verändert. Intensivierung und Mechanisierung in der Landwirtschaft haben vor allem die Produktivität stark erhöht, aber gleichzeitig den Humus abgebaut und damit die Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlichen Böden reduziert.¹¹ Der Holzvorrat nahm in den Schweizer Wäldern in den letzten Jahrzehnten kräftig zu und erreicht heute Maximalwerte und zwar sowohl pro Flächeneinheit (geringere Nutzung) als auch durch die Waldflächenvergrösserung. Pro Jahr werden in der Schweiz rund 5 Mio. m³ Holz geschlagen, obwohl aufgrund des jährlichen Zuwachses 7 Mio. m³ Holz genutzt werden könnten, ohne negative Auswirkungen auf die Waldbestände. In den letzten 50 Jahren wuchsen die Wälder auch infolge erhöhter atmosphärischer Stickstoffeinträge und günstiger Klimabedingungen deutlich schneller als früher. Heute sind 90% der Schweizer Wälder mit Stickstoff übersorgt, was neben gesteigertem Baumwachstum zu einer Abnahme der Basensättigung im Boden, Bodenversauerung und zu einer Belastung des Sickerwassers, welches das Grundwasser speist, führt.

Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute im früheren Austrieb und dadurch in einer Verlängerung der Vegetationsperiode um 5–6 Tage zu erkennen.¹² In der jüngsten Vergangenheit häuften sich Extremereignisse (z. B. Stürme Vivian

und Lothar, Hitzesommer, Grossbrand im Wallis) und führten zu Schäden am Wald.

Die Nutzungsänderungen zeigen je nach Höhenlage einen sehr unterschiedlichen Verlauf. Während in den letzten 10–15 Jahren in den Tallagen neben der landwirtschaftlichen Intensivierung auch eine Extensivierung stattfand, dominiert in den subalpinen und alpinen Lagen die Extensivierung (Überführung von Wiesen in Weiden) bis hin zur völligen Nutzungsaufgabe. Diese ehemals genutzten Flächen verganden, Wald wandert ein. Fehlt die Beweidung oberhalb des Bergwaldes, wird mehr Wasser durch Verdunstung und v.a. durch Transpiration der nun höheren Vegetation an die Atmosphäre abgegeben als früher. Es fliesst weniger Wasser ab (bis 10%), was schliesslich im Einzugsgebiet eines Wasserkraftwerkes zu einem reduzierten Energiegewinn führen kann.¹³

Feuchtgebiete wurden in den letzten 100 Jahren stark durch den Menschen verändert.¹⁴ Während sie früher bedeutende Wasser- und C-Speicher waren, wurden viele durch Torfabbau und Entwässerung der Energieproduktion und der landwirtschaftlichen Produktion zugeführt. Dadurch nahm die Fläche der Feuchtgebiete in der Schweiz in den letzten 100 Jahren um fast 90% ab – verbunden mit einem grossen Verlust an Biodiversität und an hydrologischen Pufferräumen.

Blick in die Zukunft

In der Zukunft werden die Funktionen und Nutzen von Landökosystemen vor allem durch kombinierte Effekte beeinträchtigt werden, z. B. durch die Kombination hoher Temperaturen mit geringeren Niederschlägen. Der Wasserverfügbarkeit und dem Alpenraum werden besondere Bedeutung zukommen.

Die Klimaszenarien für die Schweiz 2050 liegen in einem Bereich, der zu spürbaren Veränderungen der Produktivität im Wald und im Dauergrünland führen wird. Der bisherige Trend zu höherer Produktivität durch Intensivierung wird abgeschwächt bzw. durch einen ausgeprägten sommerlichen Wassermangel bei hohen Temperaturen – wie zum Beispiel im Jahr 2003 – limitiert werden. Ciais et al.¹⁵ konnten zeigen, dass sich die Kohlenstoff-Senke in Europa während des Jahres 2003 völlig veränderte und aus der CO₂-Senke in den europäischen Wäldern eine deutliche CO₂-Quelle wurde. Dies kann zu geringerer Kohlenstoffspeicherung im Boden führen, verstärkt durch einen möglicherweise erhöhten Abbau organischer Substanz im Humus¹⁶ und durch verringerte Kohlenstoffeinträge durch die Vegetation. Sollten – wie Modelle vorhersagen – solche trockenen Sommer häufiger werden, dann käme es langfristig zu einer Verringerung der Kohlenstoffvorräte in Holz und im Boden. Lokale Effekte hängen jedoch stark von der Entwicklung der Bodenfeuchte ab. Eine Zunahme in der Kohlenstoffspeicherung wird weiterhin durch Ausdehnung und Unternutzung der Waldbestände erfolgen, sofern nicht die steigenden Energiekosten eine Rückkehr zum Rohstoff Holz bewirken. Ein gesteigertes Baumwachstum

infolge höherer CO₂-Konzentration ist eher unwahrscheinlich, da andere wichtige Nährstoffe (ausser Stickstoff) nicht vermehrt angeboten werden.¹⁷ Wassermangel im Sommer und Herbst wird in Zukunft vor allem die Tallagen und das Hügelland treffen. In den hochmontanen Gebirgswäldern und alpinen Höhenlagen wird sich der Wassermangel weniger stark auswirken. Hier wird eher eine Zunahme der Produktivität erwartet. Der Wasserverfügbarkeit wird also in Zukunft grössere Bedeutung zukommen.

Die Bewirtschaftung der Landökosysteme wird sich an die veränderten Umweltbedingungen anpassen müssen (z. B. durch frühere Heuernte, Bewässerung von Dauergrünland, Anpassung der Tierbestände, steigende Bedeutung von Hochlagen für die Sömmerung, Veränderungen der Baumartenwahl). Die Nutzung höherer Lagen für den Erhalt von Tierbeständen dürfte wieder lukrativer werden. Das bedeutet, dass der Alpenraum in Zukunft als wiederentdeckte Bewirtschaftungszone, aber auch als Rückzugs-/Ersatzlebensraum wieder wichtiger werden könnte. Dies wird allerdings nur gelingen, wenn diese Flächen durch aktives Management offen gehalten werden und der Verbuschung von montanen und subalpinen Wiesen und Weiden Einhalt geboten wird.

Unsicherheiten, Massnahmen

Angepasstes Management von Wäldern und Dauergrünland ist notwendig, um negative Folgen der Klimaveränderungen auf Nutzen und Produkte dieser Ökosysteme zu mindern oder zu vermeiden. Alpines Weideland sollte offen gehalten werden.

Die natürliche Baumartenvielfalt sollte als Versicherung gegen Klimawandel oder Auswirkungen von Extremereignissen gefördert werden. Grossflächige Rodungen sollen vermieden und alte Waldbestände in stufige Bestände (z.B. Plenterwald¹⁸) überführt werden, damit die Stabilität gewährleistet wird und der gespeicherte Kohlenstoff nicht als CO₂ in die Atmosphäre abgegeben wird.

Aktives Management der Landschaft, insbesondere des Alpenraumes, sollte eine Inwertsetzung beinhalten. Dadurch kann der Nutzen für die gesamte Gesellschaft bewertet werden (auch monetär).

Es muss eine politische Diskussion darüber stattfinden, wie angepasstes, nachhaltiges Management umgesetzt und unterstützt werden kann/soll.

Literatur und Anmerkungen

- 1 Quellen: Statistische Jahrbücher, Arealstatistik, Forststatistik, FAO Datenbank.
- 2 B. Brzeziecki, F. Kienast, O. Wildi. A simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland. In: *Journal of Vegetation Science* 4, 1993, 499–508.
- 3 C. A. Burga, R. Perret. *Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter*. Thun, Ott-Verlag: 1998.
- 4 P. Geissler, J. Hartmann. Vegetation dynamics in a mountain pine stand burnt down in 1951. Succession research in the Swiss National Park 89, 2000, 107–130.
- 5 F. Kienast, O. Wildi, B. Brzeziecki. Potential impact of climate change on species richness in mountain forests – an ecological risk assessment. In: *Biological Conservation* 83, 1998, 291–305.
- 6 J. Esper, E. R. Cook, F. H. Schweingruber. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. In: *Science*, 295, 2002, 2250–2253.
- 7 W. Thuiller, S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes, and C. Prentice. Climate change threats to plant diversity in Europe. In: *PNAS* 102, 2005, 8245–8250.
- 8 A. Rigling, M. Dobbertin, M. Bürgi, E. Feldmeier-Christe, U. Gimmi, C. Ginzler, U. Graf, P. Mayer, R. Zweifel und T. Wohlgemuth. Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern – Wald und Klimawandel. In: T. Wohlgemuth (Hg.). *Forum für Wissen 2006 – Wald und Klimawandel*. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Zürich, 2006, 23–33.
R. Zweifel, L. Zimmermann, W. Tinner, P. Haldimann, F. Zeugin, S. Bangerter, S. Hofstetter, M. Conedera, T. Wohlgemuth, A. Gallé, U. Feller und D. M. Newbery. *Salgesch, Jeizinen, ihre Wälder und der globale Klimawandel*. Nationaler Forschungsschwerpunkt Klima (NFS Klima), Universität Bern. Bern, 2006.
- 9 S. Schumacher, H. Bugmann. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. In: *Global Change Biology* 12, 2006, 1435–1451.
- 10 H. Bugmann, C. Pfister. Impacts of interannual climate variability on past and future forest composition. *Regional Environmental Change* 1(3), 2000, 112–125.
H. Bugmann. Anthropogene Klimaveränderung, Sukzessionsprozesse und forstwirtschaftliche Optionen. In: *Schweiz. Z. Forstwesen* 150, 1999, 275–287.
- 11 J. Leifeld, S. Bassin, J. Fuhrer. Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. *Schriftenreihe der FAL* 44, 2003.
B. Zierl, H. Bugmann. Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. In: *Water Resources Research* 41(W02028): 2005, 1–13.
- 12 A. Menzel et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. In: *Global Change Biology* 12, 2006, 1–8.
- 13 C. Körner. Mountain biodiversity, its causes and function. In: *Ambio, Special Report* 13, 2004, 11–17.
- 14 A. Grünig. Surveying and monitoring of mires in Switzerland. In: L. Parkyn, R. E. Stoneman, H. A. P. Ingram (Hg.). *Conserving peatlands*, Oxon, UK, CAB International, 1997, 217–227.
- 15 P. H. Cias et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by heat and drought in 2003. In: *Nature* 437, 2005, 529–533.
- 16 P. H. Bellamy, P. J. Loveland, R. I. Bradley, R. M. Murray, and G. J. Kirk. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. In: *Nature* 437/8, 2005, 245–248.
- 17 Ch. Körner, R. Asshoff, O. Bignucolo, S. Hättenschwiler, S. G. Keel, S. Pelaez-Riedl, S. Pepin, R. T. W. Siegwolf, and G. Zotz. Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO₂. In: *Science* 309, 2005, 1360–1362.
- 18 Bewirtschaftungsform, als deren Folge die Bäume aller Dimensionen und Alter auf kleiner Fläche nebeneinander wachsen und ohne Schaden für die Waldstruktur einzeln genutzt werden können.

Landwirtschaft

Autoren

Jürg Fuhrer, Chair

Lufthygiene / Klima, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Pierluigi Calanca

Lufthygiene / Klima, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Claudio Defila

Bio- und Umweltmeteorologie, MeteoSchweiz, Zürich

Hans-Rudolf Forrer

Schad- und Nutzorganismen, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Bernard Lehmann

Institut für Agrarwirtschaft, IAW, ETH Zürich

Werner Luder

Agrarökonomie, Agroscope Reckenholz-Tänikon ART

Gabriele Müller-Ferch

Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz

Andreas Mürger

Milch- und Fleischproduktion, Forschungsanstalt Agroscope
Liebefeld-Posieux ALP

Martijn Sonneveld

Institut für Agrarwirtschaft, IAW, ETH Zürich

Annelies Uebersax

Schweizerische Vereinigung zur Entwicklung der Landwirtschaft
und des ländlichen Raums AGRIDEA, Lindau



1. Einleitung

Einbettung

In der Schweiz macht die von der Landwirtschaft bewirtschaftete Nutzfläche (LN) 37% der gesamten Fläche aus. Rund ein Drittel davon befindet sich im Mittelland. Den grössten Anteil der gesamten LN machen die Weiden und Wiesen aus (Dauergrünland in Abb. 1); entsprechend konzentriert sich die Mehrzahl der 65'866 Betriebe auf die Tierhaltung, wobei die Milchviehhaltung dominiert. Die wichtigste Flächenkategorie im Ackerbau ist das Getreide.

Über 70% der Betriebe werden hauptberuflich geführt. Die Grösse der Betriebe betrug im Jahr 2003 durchschnittlich 16.2 ha. Der Produktionswert an landwirtschaftlichen Waren besteht aus 47% pflanzlichen Erzeugnissen, 27% Milchproduktion und 26% sonstigen tierischen Erzeugnissen. Der Selbstversorgungsgrad der Schweizer Landwirtschaft ist am höchsten bei den Proteinen mit 70–80%, am niedrigsten bei den Kohlehydraten mit 50–60%.

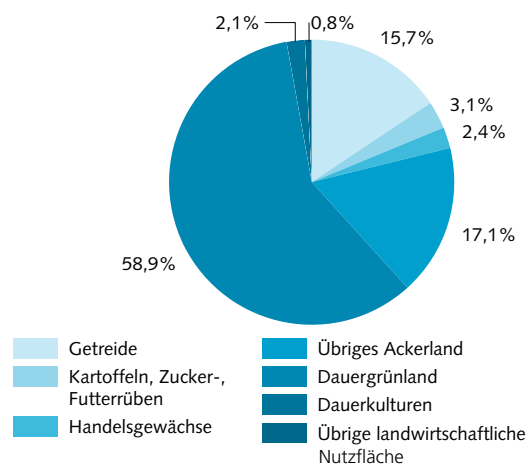


Abbildung 1: Wichtigste Flächenkategorien 2003¹

Aufgrund von agrarpolitischen Massnahmen wird die Landwirtschaft in der Schweiz schrittweise neu gestaltet. Im Zentrum der momentanen Agrarpolitik (AP 2007) steht die Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der einheimischen Land- und Ernährungswirtschaft. Im nächsten Schritt (AP 2011) soll die eingeleitete Neuausrichtung weitergeführt werden. Diese Massnahmen wirken sich stark auf den landwirtschaftlichen Produktionswert aus. Die Umsetzung der voraussichtlichen WTO-Verpflichtungen wird eine Reduktion des landwirtschaftlichen

Produktionswertes um rund 1.5–2.5 Mrd. Franken gegenüber den Referenzjahren 2001/2003 zur Folge haben². Aufgrund dieser Entwicklung wird sich die Struktur der einheimischen Landwirtschaft stark wandeln. Es ist momentan noch nicht genau abschätzbar, wie sich dies auf die Bodennutzung, den Anbau von Kulturen oder die Bewirtschaftung der Wiesen und Weiden auswirken wird. Diese Unsicherheit erschwert die Quantifizierung von Auswirkungen der Klimaänderung sowohl der direkten Auswirkungen auf die landwirtschaftliche Produktion in der Schweiz wie auch der indirekten Auswirkungen über klimabedingte Veränderungen in anderen Ländern (vgl. Abschnitt 9). Die folgenden Überlegungen sind weitgehend losgelöst von diesen möglichen Veränderungen, welche durch politische und wirtschaftliche Kräfte bedingt sind und im Zeithorizont 2020–2050 weit wichtiger sein dürften als der Einfluss des Klimawandels.³ Das Klima ist einer der wichtigsten limitierenden Faktoren für Anbau und Ertrag von Kulturpflanzen und die Tierhaltung. Klimabedingt ist der Ackerbau in der Schweiz heute auf die tieferen Lagen beschränkt, während der Futterbau ein klimatisch wesentlich breiteres Spektrum an Standorten abdeckt und in höheren Lagen dominiert. Mit der Klimaänderung ändert sich somit eine wichtige Rahmenbedingung. Die folgenden Ausführungen konzentrieren sich auf diese erwartete Änderung in Bezug auf Anbau und Flächenerträge, Standorteignung und Pflanzenschutz sowie auf die möglichen Konsequenzen und Anpassungsmöglichkeiten bei Anbaumassnahmen, Tierhaltung und der Betriebsführung. Eine feiner aufgelöste Betrachtung nach Regionen und Anbaumethoden (z.B. konventioneller oder biologischer Anbau) wird hier aufgrund fehlender Grundlagen ausgeklammert.

Überblick

Für die Auswirkung auf die Landwirtschaft kann kein Schwellenwert der Klimaerwärmung angegeben werden. Tendenziell dürfte sich aber eine moderate Klimaerwärmung von weniger als ca. 2–3 °C im Jahresmittel bis 2050 allgemein positiv auf die Landwirtschaft in der Schweiz auswirken. Die potenzielle Jahresproduktion der Wiesen wird als Folge der längeren Vegetationsperiode zunehmen. Aber auch der potenzielle Ernteertrag vieler landwirtschaftlicher Kulturpflanzen wird

bei ausreichendem Wasser- und Nährstoffangebot steigen. Die Tierproduktion wird bedingt durch Ertragssteigerungen vom kostengünstigeren Futtermittelangebot und der Verlängerung der Weideperiode profitieren können. Negative Effekte betreffen die Verknappung des Wasserangebots durch eine Zunahme der Verdunstung von Pflanzen und Böden (Evapotranspiration) bei gleichzeitiger Abnahme der Niederschläge im Sommer, das verstärkte Aufkommen von Unkräutern und Insekten-Schädlingen und die Zunahme der Klimavariabilität und der Extremereignisse. Bei einer stärkeren Klimaerwärmung von mehr als 2-3 °C bis 2050 werden die Nachteile überwiegen: Wegen erhöhter Evapotranspiration und Abnahme der Niederschläge während der Vegetationsperiode ist vermehrt mit Wassermangel zu rechnen und beim Getreide und den Körnerleguminosen hat die beschleunigte Pflanzenentwicklung Ertragseinbussen zur Folge.

Durch Massnahmen bei der Auswahl der Kulturpflanzen, den Anbauverfahren und der Betriebsführung wird sich die Landwirtschaft an einen moderaten Anstieg der mittleren Temperatur von 2-3 °C bis 2050 anpassen können. Problematisch ist hingegen die erwartete Zunahme der Witterungsvariabilität und der Extremereignisse. Wegen der Zunahme von Hitze- und Trockenperioden wird es im Sommer vermehrt zu kritischen Bodenwasserzuständen und Dürren kommen und der Bedarf an Bewässerung wird vielerorts steigen. Es wird wichtig sein, das vorhandene Bewässerungswasser möglichst effektiv zu nutzen. Umgekehrt könnte eine Zunahme von Starkniederschlägen die Bodenerosion verstärken. Insgesamt wird das Risiko von Schäden an Spezial- und Ackerkulturen und von Ertragseinbussen im Futterbau zunehmen. Die Ertragssicherheit wird beeinträchtigt werden; geeignete zentrale Massnahmen wie Pflanzenzüchtung und Sortenprüfung werden dazu beitragen, die negativen Auswirkungen abzufedern. Als Strategie der Risikoverminderung bietet sich eine verstärkte Diversifizierung der Betriebe an. Zudem steigt der Bedarf nach Versicherungsdeckung für Ernteverluste infolge extremer Witterungsbedingungen. Für die künftige globale und nationale Nahrungsmittelversorgung spielen die internationalen Agrarmärkte eine wichtige Rolle. In der Schweiz werden die Liberalisierung der Märkte und die Anpassungen der Agrarpolitik wichtigere Einflussfaktoren sein als die Klimaänderung.

Verknüpfung mit anderen Themen

Versicherungen

Bedarf nach Versicherungsdeckung für Ernteverluste infolge extremer Witterungsbedingungen

Wasserwirtschaft

Grundwasserstand, Bedarf an Bewässerungswasser; Produktionseinbussen durch Mangel an Bewässerungswasser

Landökosysteme

Konflikte wegen Wassernutzung, hochmechanisierten Anbauverfahren und evtl. gesteigertem Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln; Einwandern fremder Arten (Neophyten)

Gesundheit

Neophyten (z.B. *Ambrosia artemisiifolia*), welche Allergien und Asthma auslösen können

Energie

Gesteigerter Energiebedarf durch Bewässerungsanlagen

Tourismus

Geringere Attraktivität der Landschaft als touristische Kulisse bei Verwaldung und Verbuschung (v.a. bei veränderter Berglandwirtschaft)

2. Inländische Pflanzenproduktion

Eine moderate Klimaänderung von weniger als 2 bis 3 °C im Jahresmittel wirkt sich in der Schweiz in vielen Fällen positiv auf die Landwirtschaft aus. Die potenzielle Jahresproduktion der Wiesen wird aufgrund der längeren Vegetationsperiode zunehmen. Bei ausreichender Nährstoff- und Wasserverfügbarkeit steigt der potenzielle Ertrag im Acker- und Futterbau vieler Kulturpflanzen. Bei einer stärkeren Klimaänderung werden jedoch die Nachteile überwiegen. Eine stark gesteigerte Verdunstung von Pflanzen und Böden sowie die Veränderung bei den Niederschlägen könnte an vielen Standorten zu Wassermangel führen.

In der Vergangenheit richtete sich die inländische Pflanzenproduktion hauptsächlich nach der Standorteignung, welche einerseits vom Klima und andererseits von den Bodeneigenschaften und dem Relief bestimmt wird. Der Witterungsverlauf bestimmte weitgehend den Ablauf der Bewirtschaftung.

Die Klimaerwärmung der letzten Jahre hat bereits nachweislich einen Einfluss auf die Pflanzenproduktion. Bei Ackerkulturen ist der Einfluss der Temperatur auf Saat- und Erntetermine gut belegt. Das Mähreschen von Weizen geschieht heute fast einen Monat früher als 1970, was z.T. auch auf die Einführung frühreifer Sorten zurückzuführen ist und wegen der früheren Ausaperung der Alpweiden erfolgt die Alpbestossung heute 15 Tage früher als vor 30 Jahren.⁴ Der veränderte Verlauf der Pflanzenentwicklung richtet sich hauptsächlich nach der steigenden Temperatur, insbesondere Austrieb, Blüte und Fruchtreife im Frühling und Sommer. Die phänologischen Herbstphasen korrelieren nicht eindeutig mit Witterungsgrössen. Höhere Winter- und Frühlingstemperaturen bewirken z.B. beim Löwenzahn einen früheren Vegetationsbeginn. Die Trendanalysen der Periode 1951–2000 haben ergeben, dass im Durchschnitt in der Vegetation Blühtermine um 21 Tage, Blattentfaltung um 15 Tage und die Blattverfärbung um 9 Tage früher einsetzen, der Blattfall andererseits 3 Tage später.⁵

Diese Entwicklung wird sich mit der künftigen Erwärmung fortsetzen. Je nach Region wird sich die Vegetationsperiode um ca. 7 bis 10 Tage pro Dekade verlängern⁴, was zur Folge hat, dass die potenzielle Jahresproduktion der Wiesen steigen wird³. Mit der Abnahme der Anzahl Frosttage sinkt auch das Risiko von Frostschäden, wobei im Falle eines früheren Vegetationsbeginns die Gefahr von Spätfrostschäden weiterhin besteht.

Eine moderate Klimaänderung von weniger als 2–3 °C im Jahresmittel wirkt sich in vielen Fällen positiv auf die Landwirtschaft aus. Bei der Modellberechnung potenzieller Ertragstrends (u.a. Getreide) liegt Mitteleuropa bis 2050 tendenziell in

einer Gunstzone. Sofern alle Bodennährstoffe ausreichend vorhanden sind, erhöht eine Zunahme der atmosphärischen CO₂-Konzentration zusammen mit leicht höheren Temperaturen und genügend Niederschlägen den potenziellen Ernteertrag vieler landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Die CO₂-bedingte Ertragssteigerung ist allerdings im Vergleich zu langfristigen Bewirtschaftungseffekten gering und die positive Ertragswirkung zunehmender CO₂-Konzentration wird durch stärker steigende Temperaturen abgeschwächt.⁶ Gleichzeitig senkt eine erhöhte CO₂-Konzentration den Proteingehalt des Weizenkorns, was die Backqualität des Mehls vermindert. Auch eine leichte Abnahme der Niederschläge im Frühjahr und Sommer wirkt sich an vielen Standorten positiv auf die Bewirtschaftung aus. Die Anzahl der Feldarbeitstage steigt und die Abnahme des Bodenwassergehaltes begünstigt den Einsatz von grösseren landwirtschaftlichen Maschinen. Im Sommer sind Phasen mit 2–3 aufeinander folgenden, trockenen Tagen günstig für den Futterbau, denn eine ungenügende Abtrocknung beeinträchtigt die Qualität von Heu und Emd.

Bei einer stärkeren Klimaerwärmung von mehr als 2–3 °C im Jahresmittel überwiegen die Nachteile. Sie bewirkt eine beschleunigte Pflanzenentwicklung, was bei den heute üblichen Sorten, insbesondere bei Getreide und Körnerleguminosen, Ertragseinbussen zur Folge hat.⁶ Steigende Temperaturen erhöhen die potenzielle Verdunstung durch Pflanzen und Bodenoberfläche. In Abhängigkeit von Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchte, kurzweiliger Einstrahlung und dem Zustand der Vegetation wird auch die effektive Verdunstung und damit der aktuelle Wasserverbrauch der Kulturpflanzen erhöht. Modellrechnungen ergeben eine deutliche Abnahme der mittleren Bodenfeuchte während der Vegetationszeit.⁷ Angesichts der projizierten Veränderung in der saisonalen Niederschlagsverteilung (mehr Niederschlag im Winter und weniger im Sommer) könnte Wassermangel während der Anbauzeit an vielen Standorten viel häufiger werden (vgl. Abschnitt 5).

Unsicherheiten

Unsicher ist, wieweit eine veränderte, regionale Differenzierung der Standortbedingungen (Klimaeignung) entsteht mit veränderten Gunst-

und Ungunstlagen und bis zu welchem Mass der Veränderung innerhalb der Schweiz, aber auch international, Standortvorteile entstehen werden.

3. Extreme Witterungsereignisse

Mit der Klimaänderung werden sich die Wahrscheinlichkeiten von Extremereignissen verändern. Mit der erwarteten Zunahme von Hitzesommern und Starkniederschlägen steigt das Risiko von Schäden an Spezial- und Ackerkulturen, von Ertragseinbussen im Futterbau und von verstärkter Bodenerosion.

Extreme Witterungsereignisse wie Dürre, Hagel oder Starkniederschläge sind für die Landwirtschaft von besonderer Bedeutung. Hagelschäden bei Obst-, Reb- und Gemüsekulturen waren früher das häufigste witterungsbedingte Risiko. Dürresommer gab es nach 1730 ungefähr alle 50 Jahre.⁸ Schwierigkeiten traten vor allem dann auf, wenn zwei Trockenperioden (vorangegangener Winter oder Sommer) aufeinander folgten, wie beispielsweise 1947.

Mit der Klimaveränderung steigt das Risiko von Extremereignissen mit den entsprechenden Konsequenzen für die Landwirtschaft.⁹ Hitzesommer vom Ausmass des Sommers 2003 werden häufiger werden¹⁰ (vgl. Abschnitt Extremereignisse im Kapitel Grundlagen) und die Wahrscheinlichkeit von Dürreschäden wird im Mittelland und im Jura zunehmen. Andererseits werden auch Starkniederschläge in den Wintermonaten zunehmen und zu Schäden an Winterkulturen und verstärkter Bodenerosion führen. Beim Hagel sind noch keine Prognosen möglich.⁸

Das Ausmass des Schadens durch Extremereignisse übersteigt die von Jahr zu Jahr üblichen Ertragsschwankungen. Versicherungslösungen für damit verbundene Sachschäden bestehen. Es fehlt jedoch eine Versicherungsdeckung für Ernteverluste infolge extremer Witterung wie Trockenheit. Wie können Dürrejahre aufgefangen werden? 2003 zeigte, dass staatliche Massnahmen helfen können (z.B. Zollansätze reduzieren). Wie sieht es aber aus, wenn Dürrejahre häufiger werden?¹¹

Unsicherheiten

Angesichts der dargestellten Entwicklung stellt sich zunehmend die Frage nach der Versicherungsdeckung von Schäden auch im Acker- und Futterbau und nach der Finanzierung der Schadensbehebung infolge von Extremniederschlägen, Hagel und Dürre. Offen ist die Frage der damit verbundenen Kosten für die Landwirtschaft selbst oder die Finanzierung aus staatlichen und anderen Quellen.



Abbildung 2: Maisfeld mit Trockenschäden 2003. (Quelle : Liebegg, U. Voegeli)

4. Ertragsicherheit

Die Klimaänderung beeinflusst die Ertragsicherheit. Geeignete zentrale Massnahmen wie Pflanzenzüchtung und Sortenprüfung werden in Zukunft zur Erhaltung der Ertragsstabilität beitragen können. Im Futterbau könnte der frühere Beginn der Vegetationsperiode mehr Ertragsicherheit bedeuten.

Ertragsbedingungen, welche sich unregelmässig verändern, sind typisch für die landwirtschaftliche Pflanzenproduktion. Regionale Ertragsschwankungen sind bedingt durch epidemische Ausbreitung von Krankheitserregern oder Schädlingen oder durch Stress als Folge extremer Witterungsbedingungen. Bei zu grossem Ausmass sind sie sowohl für den einzelnen Betrieb als auch für die gesamte Landwirtschaft eines Landes ein wirtschaftliches Problem. Durch Einführung neuer Produktionsmittel und -verfahren und dem kontinuierlichen Sortenwechsel konnte die Schwankung der Erträge im Acker- und Futterbau seit Ende der 1960er Jahre tendenziell gesenkt werden. In der Schweiz ist diese Abnahme beim Wiesenertrag und bei Weizen ausgeprägt, bei Kartoffeln etwas weniger gut sichtbar (Abb. 3). Die Ertragsicherheit wird in Zukunft durch

die Klimaänderung beeinflusst. Die Zunahme extremer Witterungsverhältnisse wirkt sich negativ aus (vgl. Abschnitt 3). Pflanzenzüchtung und Sortenprüfung sind zentrale Massnahmen zur Erhaltung der Ertragsstabilität und zur Reduktion des Einsatzes von Produktionsfaktoren (Pflanzenschutzmittel, Wasser, Dünger etc.). Das künftige Sortenangebot muss auch weniger ertragreiche, aber trockenheitsresistentere oder standfestere Sorten umfassen. Im Futterbau bedeutet der frühere Beginn der Vegetationsperiode eine Zunahme der Ertragsicherheit, da der erste Schnitt bereits im Frühling angesetzt werden kann.

Unsicherheiten

Es ist unklar, wieweit Fortschritte bei der Züchtung und Selektion mit der Entwicklung von extremer Witterung mithalten können.

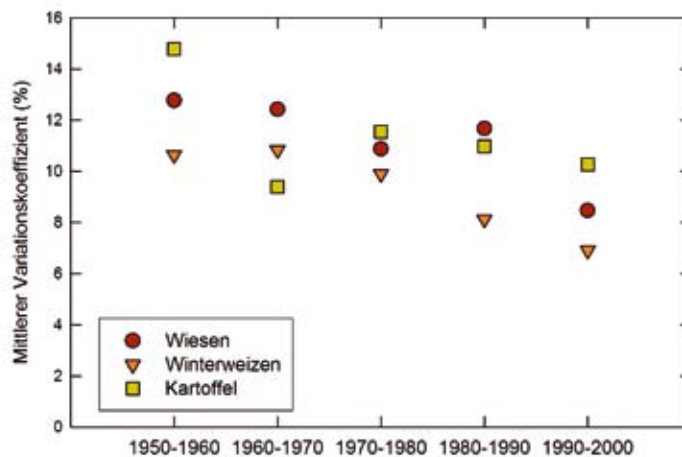


Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der Ertragsschwankungen von Wiesen, Weizen und Kartoffel in der Schweiz (gleitendes Mittel des Variationskoeffizienten für 10-jährige Anbauperioden). Der negative Trend von 1950 bis 2000 zeigt eine zunehmende Stabilität der Ernteerträge. (Datenquelle: Schweizerischer Bauernverband)

5. Wasserversorgung und Standort

In Zukunft könnte es auch in der Schweiz vermehrt zu kritischen Bodenwasserzuständen und Sommerdürren kommen. Bewässerung wäre dann vielerorts nötig. Das Ausmass der lokalen Wasserverknappung hängt aber nicht nur vom Wasserbedarf der Kulturen, sondern auch von den Standortbedingungen ab.

Der Wasserbedarf vieler Kulturen (Getreide, Hülsenfrüchte, Hackfrüchte, Ölsaaten), die heute in der Schweiz angebaut werden, ist mit 400–700 mm für die Wachstumsperiode relativ hoch.¹² Produktivitätsverluste treten auf, wenn das im Boden verfügbare Wasser über längere Zeit weniger als 30–50% der nutzbaren Feldkapazität beträgt.¹³ Ein optimales Wachstum kann dann nur mit der Bewässerung der Kulturen erreicht werden. Bei den heutigen Niederschlagsmengen ist der Bedarf einer kontinuierlichen bzw. flächendeckenden Bewässerung gering. Im Mittelland fallen zwischen April und September durchschnittlich ca. 600 mm (mit einer jährlichen Variabilität von 100 mm), was einem durchschnittlichen Bodenwassergehalt von rund 60% der nutzbaren Feldkapazität entspricht. Weniger als 500 mm wurden seit 1900 nur 15 Mal gemessen, weniger als 400 mm nur 5 Mal. Die Niederschlagssummen in der subalpinen und alpinen Stufe sind höher; nur die inneralpinen Täler, insbesondere das Wallis, sind heute mit dem Problem der Wasserknappheit konfrontiert. Die Szenarien für das Jahr 2050 zeigen eine geringfügige Änderung der Frühlingsniederschläge und eine deutliche Abnahme der Sommer- (bis zu 35%) und Herbstniederschläge (bis zu 15%).

Im Extremfall muss im Mittelland mit durchschnittlichen Niederschlagssummen (April bis September) von weniger als 500 mm, wochenlangen kritischen Bodenwasserzuständen (Resultate auf das Jahr 2050 herunterskaliert⁶), und einer Zunahme von Sommerdürren gerechnet werden.^{9,10} Bewässerung wäre dann vielerorts öfter nötig, auch wenn der frühere Vegetationsbeginn (vgl. Abschnitt 2) die Situation entschärft. Das Ausmass der lokalen Wasserverknappung dürfte nicht nur vom Wasserbedarf der Kulturen, sondern auch von den Standortbedingungen abhängig sein¹⁴ (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft). Wasserknappheit könnte in Extremjahren dann auch im Futterbau zum Problem werden trotz der zum Teil höheren Lage der entsprechenden Flächen.

Unsicherheiten

Es bleibt unsicher, inwiefern der Ausbau von Bewässerungsanlagen zur Überbrückung von Trockenperioden sinnvoll, machbar und angesichts der Wasserverfügbarkeit in Trockenjahren möglich ist. Die Meidung von gefährdeten Standorten und der Anbau von weniger wasserbedürftigen Kulturen sind eher vorzuziehen.

6. Schadorganismen und deren Bedeutung

Der Klimawandel fördert das Aufkommen von Unkräutern und begünstigt die Insekten-Schädlinge, während die Populationen von pilzlichen und bakteriellen Krankheitserregern in Abhängigkeit von der Wirtspflanze gefördert, gehemmt oder nicht beeinflusst werden.

Klima, Witterung und Anbaufaktoren sind massgebend für Art, Umfang und Bedeutung von Problemen mit Unkräutern und Schaderregern. Die Klimaänderung hat zusammen mit verstärktem Güter- und Reiseverkehr zur Verbreitung von Pflanzenarten beigetragen, die bei uns natürlicherweise nicht vorkamen (sogenannte Neophyten). Beispielsweise breitet sich momentan von Genf und dem Tessin her in der ganzen Schweiz *Ambrosia artemisiifolia* aus, ein

Unkraut, das sich in Feldern rasch ausbreiten und durch seine Pollen Allergien und Asthma hervorrufen kann (vgl. Kapitel Gesundheit).¹⁵ Mit dem Anstieg der Temperaturen könnten sich auch wärmeliebende Pflanzenarten wie Gräser subtropischen Ursprungs mit geringerem Nährwert für Tiere ausbreiten. Holzige Pflanzenarten sowie Wurzelunkräuter und -ungräser wie Ackerdistel, Ampfer und Quecke könnten vermehrt Probleme verursachen.¹⁶

Durch milde Winter werden Herbstkeimer wie Ackerfuchsschwanz und Klettenlabkraut bevorzugt. Durch die schnellere Anpassungsfähigkeit der Unkrautpopulationen und deren stärkere Konkurrenzkraft gegenüber Kulturpflanzen sowie durch reduzierte Bodenbedeckung verursacht durch Hitzeperioden und Erosionsereignisse dürfte sich der Unkrautdruck erhöhen.

Als Folge der Klimaerwärmung werden zunehmende Probleme durch Insekten-Schädlinge erwartet.¹⁷ Insektenarten wie Maiszünsler, Maiswurzelbohrer, Getreidehähnchen, Blattläuse und Kartoffelkäfer dürften sich rascher entwickeln und weiter verbreiten als bisher. Die verlängerte Wärmeperiode wird es Schädlingen mit bisher 1-2 Generationen pro Saison ermöglichen, in Zukunft 2-3 Generationen zu bilden (z.B. Maiszünsler). Schädlinge, die bisher nur alle 3 Jahre Schäden verursachten (z.B. Maikäferengerlinge), werden in kürzeren und unregelmässigeren Abständen auftreten. Blattläuse, die in der adulten Phase überwintern, werden aufgrund wärmerer Winter früher von ihren Winterstandorten zu den Kulturpflanzen migrieren.¹⁸

Das Auftreten von pilzlichen und bakteriellen Krankheitserregern ist stark klima- und witterungsabhängig. Je nach Wirt-Pathogen-System wird sich die Klimaänderung auf die Populationen positiv, negativ oder neutral auswirken.¹⁹ Milde Winter und Frühjahre sind förderlich für Braun- und Gelbrost, Mehltau und Helminthosporium-Blattfleckenkrankheiten von Getreide und Mais. Warme und eher trockene Sommer dürften hingegen zu einem Rückgang von feuchteliebenden Krankheiten wie der Spelzenbräunekrankheit und von Ährenfusariosen bei Weizen führen. Auch Epidemien der Kraut- und Knollenfäule der Kartoffel würden dabei gebremst, aber wegen einem früheren Beginn insgesamt möglicherweise nicht geschwächt. Beim Mais dürften durch zunehmende Frassschäden (Maiszünsler) und wetterbedingte mechanische Verletzungen der Pflanzen (Hagel, Sturm) toxinbildende Fusarium-Pilze verstärkt auftreten (siehe Abb. 4). Zudem können als Folge der steigenden Ozon-Konzentration fakultative Parasiten, die für ihre Vermehrung nicht auf den Wirt angewiesen sind und nur zeitweise dort gefunden werden, vermehrt Schaden an Kulturpflanzen anrichten.⁶



Abbildung 4:
Befall eines Maiskolbens durch toxische Fusarium-Pilze. Das Auftreten der Fusarien wird durch Verletzungen des Maises durch Insekten, Hagel und Wachstumsrisse verursacht. Es wird durch stark wechselnde Klimabedingungen gefördert.
(Quelle: H.R. Forrer, Agroscope ART Reckenholz-Tänikon)

Unsicherheiten

Durch die komplexen Wechselwirkungen zwischen Schadorganismen, Nützlingen, Wirtspflanzen und Anbausystemen sowie unterschiedlichen Wirkungen der abiotischen Faktoren Wärme, CO₂ und O₃ sind Voraussagen zu längerfristigen Entwicklungen schwierig. Sicher ist wohl nur, dass wir mit dem Klimawandel in immer kürzeren Rhythmen mit neuen Problemen konfrontiert werden. Vereinfachte Fruchtfolgen und die Konzentration auf wenige Kulturpflanzenarten leisten grösseren Problemen mit Schaderregern zusätzlich Vorschub.

7. Erzeugung von Lebensmitteln durch Tierhaltung

Im Futterbau wird an Standorten mit ausreichender Wasserversorgung die Produktivität als Folge der Klimaänderung steigen und die Tierproduktion wird demzufolge von kostengünstigeren, vermehrt im Inland produzierten Futtermitteln profitieren. Auch die Verlängerung der Weideperiode und neue, angepasste Futterpflanzenmischungen können das Potenzial der tierischen Produktion vergrößern. Aber auch negative Effekte sind zu erwarten: Die Zunahme der Hitzetage wird Probleme für die Tierhaltung mit sich bringen. Ausserdem könnte die Futterqualität zurückgehen und die Ertragssicherheit durch vermehrte Extremereignisse abnehmen.

Die Schweiz ist ein „Futterbauand“: Die Voraussetzungen bezüglich Niederschlagsmenge und -verteilung sind sehr günstig für die futterbauliche Produktion (Grünland). Ausserdem erlaubt die Topografie für grosse Flächenanteile nur eine futterbauliche Nutzung. Bodenunabhängige Produktion hat einen vergleichsweise geringeren, wenn auch zunehmenden Stellenwert.

Die Tierhaltung war traditionell vom Bemühen geprägt, sich von den Klimavariationen unabhängiger zu machen (z.B. mit Stallklimakontrolle, geschlossenen Systemen und konservierten Futtermitteln). In den letzten Jahren hat jedoch die Weidenutzung wieder zugenommen. Gründe dafür sind wirtschaftliche Überlegungen (Kosteneinsparung) und das Bestreben, das Tierwohl zu verbessern und die Produktion naturnaher zu gestalten. Dadurch ist die Tierhaltung abhängiger vom Klima geworden. Strategien für den Umgang mit klimatischen Extremsituationen werden aber nach wie vor nur in Ausnahmefällen benötigt. Vereinzelt kommt es zu Konflikten bei bestimmten Haltungssystemen, beispielsweise bei der Freilandhaltung während der Sommerhitze.

Die in Zukunft erwartete Zunahme der Anzahl Hitzetage bringt Probleme für die Tierhaltung: Der Wasserbedarf steigt, die Tiere müssen vermehrt vor hohen Temperaturen durch geeignete Stallklimatisierung oder Beschattung geschützt werden. Tierkrankheiten und Parasiten werden vermutlich nicht generell zunehmen, aber Verschiebungen im Spektrum der Schadorganismen können nicht ausgeschlossen werden. Bereits heute existieren Tierrassen, die mit solchen Bedingungen, wie auch mit den vorgenannten Veränderungen, besser zurechtkommen. Die Zuchtziele der in der Schweiz verbreiteten Rassen müssen angepasst werden.

In Zukunft wird an Standorten, wo die Wasserverfügbarkeit nicht limitierend ist, die Produktivität im Futterbau als Folge der Klimaänderung in höheren Lagen eher steigen. Die tierische Produktion wird dank eines verbesserten Angebots vom kostengünstigeren inländischen Futtermittel

profitieren können. Durch die Zucht angepasster Futterpflanzenarten (auch von neuen Arten) und die Entwicklung geeigneter Mischungen kann dieser Vorteil noch verstärkt werden. Die Verlängerung der Weideperiode (vgl. Abschnitt 2) bringt zusätzliche Weidetage und steigert das Produktionspotenzial. Zudem könnte die Zunahme geeigneter Trocknungstage die Qualität des konservierten Futters verbessern. Aber auch negative Effekte sind zu erwarten: Durch die Zunahme von Wetterextremen wird das Futterangebot während der Vegetationsperiode unregelmässiger und die Abhängigkeit von Futterkonserven steigt (vgl. Abschnitt 3). Futterpflanzen, die an wärmere Wachstumsbedingungen angepasst sind, haben oft einen geringeren Futterwert. Zudem entwickeln sich in Pflanzen aus gemässigten Zonen häufiger Parasiten (in erster Linie pilzliche), die den Futterwert beeinträchtigen können und Risikofaktoren für die Gesundheit von Tier und Mensch darstellen. Alle diese Faktoren werden sich je nach Höhenlagen und Regionen unterschiedlich auswirken. Produktionsverlagerungen sind zu erwarten; alternativ könnte auch der Anteil boden- bzw. klimaunabhängiger Produktion zunehmen.

Unsicherheiten

Es ist offen, wieweit sich einerseits die Abnahme des Bedarfs an Futterkonserven infolge einer verlängerten Vegetationszeit und andererseits die Zunahme zur Überbrückung von Mangelsituationen durch Trockenheit während der Wachstumsperiode gegenseitig kompensieren. Das Spannungsfeld zwischen kontrollierter (intensiver) und naturnaher Produktion wird um eine Dimension bereichert. Die Anzahl potenzieller Weidetage („Freilandtage“) wird zwar eher zunehmen, die optimalen Weidetage dürften sich bedingt durch mehr Tage mit zu hohen Temperaturen oder Trockenheit aber verringern; in Bezug auf Trittschäden bei zu nassen Weideflächen könnte sich die Situation eher verbessern.

8. Massnahmen bei Kulturen, Anbauverfahren und Betriebsführung

Die Anpassungsfähigkeit der Landwirtschaft dürfte gross genug sein, um sich durch geeignete Massnahmen im Bereich der Kulturen- und Sortenwahl, der Anbauverfahren sowie der Betriebsführung an eine durchschnittliche Erwärmung von 2 bis 3 °C bis 2050 anzupassen. Hingegen stellt die Zunahme der Witterungsvariabilität und der Extremereignisse eine Herausforderung dar.

Die derzeitige Entwicklung hin zu wärmeren und trockeneren Sommern mit häufigeren Extremereignissen erfordert eine Überprüfung der verbreiteten Kulturpflanzen, der üblichen Anbauverfahren sowie auch der Art der Betriebsführung.

Kulturen

Viele unserer Kulturpflanzen dürften bei zunehmender Sommerhitze und Trockenheit ihre bisherige Ertragskonstanz einbüßen. Das Potenzial bestehender und alternativer Kulturen muss deshalb geprüft werden. Heutige Sorten können möglicherweise durch robustere Sorten oder Arten ersetzt werden, die nicht unbedingt neu gezüchtet werden müssen, sondern in entsprechenden Klimaten bereits verfügbar sind. Weniger einfach ist die Anpassung im Falle von mehrjährigen Spezialkulturen (z.B. im Obst- und Rebbau).

Beim Import neuer Nutzpflanzensorten ist die inländische Kompetenz bei der Sortenprüfung zur zielgerichteten Selektion wichtig (Erhalten von Know-how). Die Sortenprüfung dient auch dazu, unter verstärkter Berücksichtigung der Klimaänderung und der Veränderung des Schadorganismenkomplexes konkurrenzkräftige und breit resistente Sorten zu selektionieren, die sich auch durch erhöhte Witterungs-, Ertrags- und Qualitätstoleranz auszeichnen.

Um das Risiko von Missernten besser verteilen zu können, sollte zumindest innerhalb der Regionen ein vielfältiger Mix an Kulturen angestrebt werden, ohne dabei zur kleinflächigen Bewirtschaftung zurückzukehren (vgl. Betriebsführung). Auf Betriebsniveau kann neben dem Futterbau speziell auch im Getreidebau mit Sortenmischungen eine erhöhte Ertragsstabilität erzielt werden. Kulturen, die dem veränderten Klima nicht mehr angepasst werden können (z.B. Hafer), müssen durch neue (z.B. Soja, Trockenreis) ersetzt werden. Bei den Spezialkulturen könnten beispielsweise vermehrt Melonen, Tafeltrauben oder Zitrusfrüchte angebaut werden, um eine hohe Wertschöpfung zu erzielen.

Anbauverfahren

Die moderne Landtechnik hat die Witterungsabhängigkeit der Landwirtschaft bereits verringert und zur Verbesserung der Futterqualität geführt. Im Futterbau können Schnitte heute früher (bei kleinerer Biomasse bzw. Blattflächenindex) erfolgen, und damit kann eine höhere Qualität erreicht werden. Besonders bei den intensiven Wiesen mit Pflegemassnahmen ist eine weitere Anpassung künftig möglich, während dies bei extensiven Wiesen weniger der Fall sein wird.²⁰ Ertragsverluste im Ackerbau können auch reduziert werden, indem der Aussaatzeitpunkt den wärmeren Temperaturen angepasst wird. Dadurch entstehen neue Möglichkeiten der Ausgestaltung der Fruchtfolgen.

Die erwartete Zunahme der Sommertrockenheit wird die Landwirte zum haushälterischen Umgang mit Wasser zwingen. Zu den möglichen Massnahmen gehören die frühere Aussaat bzw. Kopfdüngung im Frühling, die möglichst lückenlose Bodenbedeckung mit lebendem oder abgestorbenem pflanzlichem Material sowie der Verzicht auf wendende Bodenbearbeitung im Sommer. Diese Massnahmen vermindern gleichzeitig die Bodenabschwemmung bei Starkniederschlägen. Die konsequenteste Form der gefügeschonenden Bodenbestellung ist die Direktsaat (no-till). Sie erfordert aber vor allem bei feuchter Witterung flankierende Massnahmen gegen die Ausbreitung von Unkräutern, Schnecken oder Pilzen und ganz allgemein gegen zu starke Konkurrenzierung durch die bodenbedeckende Kultur.

An Standorten mit ausreichendem Wasserangebot für künstliche Bewässerung muss das Bewässerungswasser möglichst effektiv eingesetzt werden. Zu den Massnahmen gehören u.a. die konsequente Anwendung der Tröpfchenbewässerung in Reihenkulturen und das Abstellen von Sprinkleranlagen bei Sonnenschein. Schliesslich sollen Pflanzen auch nicht durch zu frühe oder zu häufige Bewässerung verwöhnt werden, sondern ein leistungsfähiges Wurzelwerk ausbilden. Das entsprechende Know-how für die Schweiz muss erarbeitet werden und künftig in die Ausbildungsgänge einfließen.

Betriebsführung

Die Klimaerwärmung verlängert die Vegetationsperiode und erhöht die Zahl der verfügbaren Feldarbeitstage. Diese Veränderungen haben Auswirkungen auf die Betriebsführung: Hochmechanisierte Anbauverfahren mit besonderen Anforderungen an die Befahr- bzw. Bearbeitbarkeit des Bodens werden zunehmend interessant. Teure und leistungsfähige Maschinen können besser ausgelastet und – im Falle der Silageernte – vermehrt auch im Berggebiet zeitverschieben eingesetzt werden (siehe Abb. 5). Zudem wird die kurzfristige Disposition der Arbeitskräfte bei häufigerem Schönwetter einfacher. Insgesamt wird die Arbeitsproduktivität steigen und werden die Produktionskosten sinken. Diese Vorteile könnten allerdings durch häufigere Unwetterschäden oder steigende Versicherungskosten zunichte gemacht werden. Im Berggebiet bringt die Klimaerwärmung eine willkommene Verkürzung der langen Winterfütterungsperiode. Dadurch sinkt der Bedarf an konserviertem Futter, was nicht nur die Heuernte erleichtert, sondern auch die Baukosten für die Futter- und Düngerlager vermindert. Bei abnehmenden Sommerniederschlägen nimmt auch im Berggebiet die Gefahr der Vernässung und Bodenverdichtung ab. Damit kommt es speziell auf schweren Böden weniger zur Bodenverdichtung durch schwere Maschinen. Dabei vermindert sich auch die Gefahr, dass die Wasserspeicher- und

Wasserhaltekapazität der Böden immer mehr abnehmen und die Erosionsanfälligkeit steigt. Die vorausschauende Planung und Risikoabwägung werden wichtiger. Zur Risikovermeidung sind prophylaktische Massnahmen zu ergreifen, wie beispielsweise der Einbezug von Karten für Naturgefahren bei der Planung der Landnutzung oder die Umsetzung der Strategie Naturgefahren der PLANAT.²¹ Eine stärkere Diversifizierung der Betriebe dürfte als Strategie der Risikoverminderung wieder an Aktualität gewinnen. Sowohl bei den Ackerkulturen als auch beim Futterbau kann der Ausfall einer Kultur durch die anderen ausgeglichen werden. Wegen der Arbeitsrationalisierung ist es sinnvoll, einen vielfältigen Kulturenmix in grösseren Produzentengemeinschaften zu realisieren. Bezüglich vorausschauender Planung besteht in der praktischen Landwirtschaft ein grosser Bedarf an der Verbesserung der Zuverlässigkeit monatlicher und saisonaler Wettervorhersagen, wie sie momentan beispielsweise an der MeteoSchweiz entwickelt werden.²²

Unsicherheiten

Besonders nützlich wäre es für die Praxis, wenn bei der Jahresplanung eine saisonale Vorhersage vorliegen würde. Damit würde die Betriebsführung unterstützt, die für den Fall eines stärker von Extremen geprägten Klimas eine breite Massnahmenpalette zur Hand haben muss.



Abbildung 5: Bei der Ernte von Rundballensilage ergeben sich aufgrund der Klimaerwärmung zusätzliche Erntemöglichkeiten im Früh- und Spätsommer. Teure Spezialmaschinen können so besser ausgelastet werden. (Quelle: Agroscope ART Reckenholz-Tänikon)

9. Nationale und globale Nahrungsversorgung

Bei der Abschätzung der zukünftigen nationalen und globalen Nahrungsmittelversorgung spielen die internationalen Agrarmärkte eine wichtige Rolle. Bis 2050 werden die Liberalisierung der Märkte und die Anpassungen der Agrarpolitik die Nahrungsversorgung zusammen mit einer steigenden Nachfrage aus Schwellenländern auf dem Weltmarkt stärker beeinflussen, als dies der globale Klimawandel tun wird.

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Nahrungsversorgung der Schweiz müssen vor dem Hintergrund der absehbaren Marktöffnung der Landwirtschaft in den kommenden Jahrzehnten betrachtet werden. Durch die zunehmende Vernetzung der internationalen Agrarmärkte werden die lokalen Märkte weniger durch lokale Gegebenheiten geprägt sein, weil sich die Konsequenzen in einem grösseren System verteilen. Dafür wird lokal zu spüren sein, was anderswo verursacht wurde. Durch die komplette Öffnung der Agrarmärkte werden Produktionen mit komparativen Kostennachteilen zurückgehen. Gewisse Ackerprodukte dürften davon stärker betroffen sein als die Tierhaltung.²³

Auf globaler Ebene kann man davon ausgehen, dass die Agrarproduktion in agronomisch relativ günstiger gewordene Gebiete verlagert wird. Zum Beispiel werden Mittel- und Nordeuropa klimabedingte Standortvorteile erhalten, während semiaride Gebiete klimatisch benachteiligt werden. An einzelnen Standorten könnte dies zu einer Versorgungsunsicherheit führen.

Die Weltgetreideproduktion wird allgemein zurückgehen und sich geografisch verschieben. Durch die Verschiebung, verstärkt durch die Handelsliberalisierung, werden die Agrarmärkte und der internationale Handel wichtiger werden. Aufgrund einer erwarteten Verknappung werden die Weltmarktpreise steigen. Die Auswirkungen auf die Agrarmärkte hängen aber stark von der allgemeinen wirtschaftlichen und weltpolitischen Situation ab und werden räumlich variieren. Die globale Verteilungsproblematik

wird sich verschärfen. Zudem ist mit grösseren Preisschwankungen aufgrund der erwarteten stärkeren meteorologischen Extremereignisse zu rechnen. Speziell Länder in Afrika werden unter den Folgen des Klimawandels leiden. Die Solidarität von Ländern im Norden mit denen im Süden bezüglich der Nahrungsversorgung wird noch wichtiger werden.

In der Schweiz ist der Beitrag der Landwirtschaft an das BIP marginal. Die Folgen des Klimawandels – positive und negative – auf die Landwirtschaft sind daher gesamtwirtschaftlich unbedeutend. Die Nahrungsmittelnachfrage lässt sich in der Schweiz durch Importe decken und Versorgungsprobleme werden nicht erwartet.

Weil die Schweiz in einer tendenziell günstigen Klimazone liegt, werden die komparativen Vorteile des Standortes zunehmen. Allgemein wird mit einer erhöhten Risikosituation gerechnet. Diese wird zusätzlich durch den Strukturwandel verstärkt werden, der zu grösseren, kapitalintensiveren Betrieben mit einem höheren Spezialisierungsgrad führen wird. Der Strukturwandel wird aber auch zu einer verbesserten Agilität, Professionalität und Anpassungsfähigkeit der Betriebe führen.

Unsicherheiten

Es bleibt unsicher, welchen Stellenwert die direkte Wirkung der Klimaänderung auf die einheimische Landwirtschaft im Kontext der übrigen, hauptsächlich durch Veränderungen im internationalen Handel bewirkten Veränderungen bis 2050 haben wird.

Literatur und Anmerkungen

- 1 Bundesamt für Statistik (BFS). Einblicke in die schweizerische Landwirtschaft. Neuchâtel, 2004.
- 2 Bundesamt für Landwirtschaft (BLW). Agrarbericht 2005. Bern, 2005.
- 3 S. Flückier, P. Rieder. Klimaänderung und Landwirtschaft – Ökonomische Implikationen innerhalb der Landwirtschaft und ihres Umfeldes aus globaler, nationaler und regionaler Sicht. Vdf Verlag der ETH Zürich, 1997.
- 4 W. Luder, C. Moriz. Raufutterernte: Klimaerwärmung besser nutzen. FAT-Berichte 634, 2005.
- 5 C. Defila. 2004. Regionale Trends bei pflanzenphänologischen Zeitreihen in der Schweiz. Meteorologen-Tagung in Karlsruhe, Langfassung auf CD, 6 Seiten, 2004.
- 6 J. Fuhrer. Elevated CO₂, ozone, and global climate change: agroecosystem responses. In: Agriculture, Ecosystems and Environment 97, 2003, 1–20.
- 7 K. Jasper, P. L. Calanca, D. Gyalistras, and J. Fuhrer. Differential impacts of climate change on hydrology of two alpine river basins. In: Clim Res 26, 2004, 113–129.
- 8 OcCC (Hg.). Extremereignisse und Klimaänderung. Bern, 2003.
- 9 J. Fuhrer, M. Beniston, A. Fischlin, Ch. Frei, S. Goyette, K. Jasper, and C. Pfister. Climate risks and their impact on agricultural land and forests in Switzerland. In: Climate Change 79, 2006, 79–102.
- 10 C. Schär, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M. Liniger, and C. Appenzeller. The role of increasing temperature variability in European summer heat waves. Nature 427, 2003, 332–336.
- 11 P. Calanca (2006). Climate change and drought occurrence in the Alpine region: how severe are becoming the extremes? Accepted for publication in Global and Planetary Change.
- 12 J. Doorenbos, A. H. Kassam. Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage Paper 33, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 1979.
- 13 R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes, and M. Smith. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, 1998.
- 14 K. Jasper, P. Calanca, J. Fuhrer. Changes in summertime soil water patterns in complex terrain due to climatic change. In: J. Hydrol. 327, 2006, 550–563.
- 15 B. Clot, R. Gehrig, A. G. Peeters, D. Schneiter, P. Tercier et M. Thibaudon. Pollen d'ambroisie en Suisse : production locale ou transport? In : Europ. Ann. Allergy and Clinical Immunol. 34, 2002, 126–128.
- 16 OcCC (Hg.). Das Klima ändert – auch in der Schweiz. Bern, 2002.
- 17 R. J. C. Cannon. The implications of predicted climate change for insect pests in the UK, with emphasis on non-indigenous species. In: Global Change Biol. 4, 1998, 785–796.
- 18 R. Harrington, J. S. Bale, and G. M. Tatchell. Aphids in a changing climate. In: R. Harrington and N. E. Stork (Hg.). Insects in a changing environment. Academic Press, London, 1995.
- 19 S. M. Coakley, H. Scherm, and S. Chakraborty. Climate change and plant disease management. In: Ann. Rev. Phytopathol. 37, 1999, 399–426.
- 20 A. Lüscher, J. Fuhrer, and P. C. D. Newton. Global atmospheric change and its effect on managed grassland systems. In: D. C. McGilloway (Hg.). Grassland – a global resource. Wageningen Academic Publishers, 2005, 251–264.
- 21 PLANAT. Strategie Naturgefahren Schweiz. Biel, 2005. (http://www.planat.ch/ressources/planat_product_de_543.pdf)
- 22 W. Müller. Analysis and prediction of the European winter climate. Veröffentlichung der MeteoSchweiz, Nr. 69, 2004.
- 23 Vgl. www.blw.admin.ch (Studien der FAT oder des Instituts für Agrarwirtschaft der ETH)

Wasserwirtschaft

Autoren

Bruno Schädler, Chair

Hydrologie, Bundesamt für Umwelt BAFU

Bodo Ahrens

Atmospheric and Climate Science ETH

Rudolf Feierabend

Schweiz. Vereinigung für Schifffahrt & Hafenwirtschaft

Christoph Frei

Climate Services, MeteoSchweiz, Zürich

Roland Hohmann

Redaktion, OcCC, Bern

Thomas Jankowski

Water Resources Dept., EAWAG

Ronald Kozeł

Sektion Hydrogeologie, Bundesamt für Umwelt BAFU

David M. Livingstone

Water Resources Dept., EAWAG

Armin Peter

Angewandte Gewässerökologie, EAWAG

Armin W. Petrascheck

Ennetbaden

Martin Pfaundler

Sektion Gewässersysteme, Bundesamt für Umwelt BAFU

Andreas Schild

Abt. Strukturverbesserungen, Bundesamt für Landwirtschaft BLW



1. Einleitung

Einbettung

Die Wasserwirtschaft umfasst alle Aktivitäten des Menschen zur Nutzung des Wassers, zum Schutz des Wassers und zum Schutz vor den Gefahren des Wasser. Die Klimaänderung beeinflusst diese wasserwirtschaftlichen Funktionen durch Veränderungen des hydrologischen Kreislaufs (vgl. Kapitel Grundlagen).

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserwirtschaft für folgende Bereiche detaillierter behandelt:

- Veränderungen in natürlichen Gewässern (Seen, Biodiversität, Fische)
- Naturgefahren Wasser (Hochwasser, Trockenheit)
- Wasserangebot und Wasserbedarf (Grundwasserneubildung, Bedarf an Trink- und Brauchwasser)
- Wassernutzung (Energie, Rheinschifffahrt)
- Bewirtschaftung der Wasserressourcen

Die Klimaänderung beeinflusst auch andere Bereiche der Wasserwirtschaft, wie beispielsweise die Binnenschifffahrt, den Erholungswert des Wassers und die Wassernutzung bei der Produktion von Gütern. Obwohl auch diese und andere Themen wichtig sind, werden sie hier nicht behandelt.

Die Wasserwirtschaft wird nicht nur durch die Klimaänderung beeinflusst, sondern insbesondere durch menschliche Aktivitäten. In der Vergangenheit waren Bevölkerungsdruck, Veränderung der Landnutzung, Wasserverbrauch und -verschmutzung die massgebenden Faktoren, die zu einer stetigen Veränderung der Bewirtschaftung führten. Als Folge der Klimaänderung müssen nicht nur Veränderungen bei der Wassernutzung, sondern neu auch Veränderungen im Wasserangebot berücksichtigt werden. Ob in Zukunft Veränderungen des Wasserangebots oder des -verbrauchs wichtiger sein werden, ist unklar. Im ungünstigsten Fall sind die Entwicklungen gegenläufig (Abnahme des Angebots und Zunahme der Nachfrage).

Überblick

Niedrigwasser

Im Vergleich zu anderen Regionen der Welt befindet sich heute die Schweiz mit rund 5560 m³ verfügbarem Wasser pro Jahr und Einwohner in einer günstigen Lage (Israel 115, Niederlande 690,

Deutschland 1305, Spanien 2785 m³ a⁻¹ E⁻¹). Die ergiebigen Niederschläge sowie die ausgleichende Wirkung der Schneeschmelze und – mit abnehmender Bedeutung – der Gletscherschmelze sorgen auch in Zukunft für ein vergleichsweise hohes Wasserdargebot.

Als Folge der Klimaänderung wird im Sommer und Herbst das Wasserdargebot abnehmen (vgl. Kapitel Grundlagen). Insbesondere in den öfters auftretenden Hitzesommern können selbst mittlere und grössere Mittellandflüsse ähnlich niedrige Wasserstände wie im Winter aufweisen. Grundwasserstände in Talschottern werden entsprechend im Spätsommer und Herbst stärker sinken.

Gleichzeitig wird der Bedarf der Landwirtschaft an Bewässerungswasser steigen. Dadurch entsteht eine Konkurrenzsituation zwischen dem Wasserbedarf der Flussökosysteme und verschiedenen Verbrauchern und Regionen, insbesondere bei der Nutzung von Grundwasser und kleinen und mittleren Fließgewässern. Diese Konkurrenzsituation hat unterschiedliche Auswirkungen:

- In der Landwirtschaft kann es wegen Wassermangel zu Produktionseinbussen kommen.
- Die Stromproduktion wird vom reduzierten Wasserdargebot und den erhöhten Wassertemperaturen betroffen sein (Wasserkraft, Entnahme von Kühlwasser).
- Bei der Rheinschifffahrt werden in Zukunft Einschränkungen im Sommer und Herbst erwartet.

Hochwasser

Das Schadenpotenzial von Hochwassern hat in den letzten 50 Jahren markant zugenommen. Grund dafür sind das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum: Es befinden sich immer mehr Infrastrukturwerte in exponierten Lagen. Diese Entwicklung wird sich in Zukunft fortsetzen.

Die heutigen Klimaszenarien zeigen eine Zunahme des mittleren Niederschlags und der Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlägen im Winterhalbjahr. Zudem werden die Niederschläge häufiger als Regen statt als Schnee fallen. Diese Veränderungen lassen eine Zunahme der Hochwasserhäufigkeit vor allem im Winter erwarten und führen vor allem im Mittelland

und Jura sowie in den Voralpen unterhalb etwa 1500 m ü.M. zu höheren Hochwasserständen. Für den Sommer sind noch keine klaren Aussagen möglich.

Sowohl die erwartete Zunahme des Schadenpotenzials als auch die Möglichkeit häufigerer Hochwasser erfordern einen höheren Schutz vor Hochwasser. Eine mögliche Antwort auf diese Unsicherheiten sind so genannte no regret Massnahmen, wie sie beispielsweise der nachhaltige Hochwasserschutz darstellt: Im Falle unveränderter Hochwasserintensität sind renaturierte und verbreiterte Flüsse ein Gewinn für das Flussökosystem; im Falle einer Zunahme der Hochwasserintensität als Folge der Klimaänderung wird das erhöhte Risiko zumindest teilweise kompensiert und durch die Berücksichtigung des Überlastfalls minimiert.

Ökologie

Der Anstieg der Wassertemperaturen wird auch unerwartete Auswirkungen auf die aquatischen Ökosysteme haben, die sich jedoch nicht abschätzen lassen.

In Seen wird die Erwärmung zu einer stabileren Dichteschichtung und zu einer Abnahme des Sauerstoffgehalts im Tiefenwasser führen. Dadurch steigt das Risiko von Sauerstoffmangel in mesotrophen und vielleicht auch in oligotrophen Seen.

Massnahmen

Als Massnahme gegen Niedrigwasser bietet sich eine regionale/überregionale Bewirtschaftung der Ressourcen an. Dazu braucht es ein Umdenken hin zu einer integralen Wasserbewirtschaftung ganzer Flusseinzugsgebiete.

Die Seenbewirtschaftung bewirkt eine Reduktion und Verschiebung der Schwankungen. In Zukunft müssen die bestehenden Regulierschemata den veränderten Bedingungen angepasst werden (neue Zielfunktionen und -optimierung). Der Druck, heute unregulierte Seen in Zukunft zu bewirtschaften, wird zunehmen. Es ist unklar, welche ökologischen Probleme damit verbunden sind. Zu erwarten sind Auswirkungen auf die Ufervegetation, zum Beispiel Schilfbestände und andere Pflanzengemeinschaften, die auf natürliche Veränderungen der Pegel angewiesen sind.

Die flexible Hochwasserstrategie der Schweiz beinhaltet raumplanerische Massnahmen zur Begrenzung des Schadenpotenzials, Objektschutz zur Minderung der Schadenempfindlichkeit, bauliche Schutzmassnahmen sowie Notfallmassnahmen für den Überlastfall. Beim Augusthochwasser 2005 hat sich die Strategie bewährt. Überall dort, wo sie bereits umgesetzt worden war, konnten die Schäden im Vergleich zu ähnlichen Hochwassern deutlich vermindert werden. Eine ständige Überprüfung der Risikosituation ist Voraussetzung für eine langfristige Wirksamkeit der Umsetzung der Strategie, da sich sowohl Schadenpotenzial als auch Gefahrensituation laufend ändern.

Die alpinen Speicherbecken könnten in Zukunft auch vermehrt für den Rückhalt von Hochwasserspitzen eingesetzt werden. Der Einsatz als Mehrzweckanlagen wird an Bedeutung gewinnen.

Verknüpfung mit anderen Themen Landwirtschaft

Bedarf der Landwirtschaft an Bewässerungswasser, Produktionseinbussen wegen Mangel an Bewässerungswasser

Tourismus

Auswirkungen wasserbedingter Naturgefahren auf Tourismus, Auswirkungen des veränderten Wasserdargebots auf Tourismus (geringere Wasserstände in Seen und Fliessgewässern im Sommer: Baden / Personenschiffahrt), Wasserversorgung für Beschneiungsanlagen

Energie

Produktion Wasserkraft bei reduziertem Angebot im Sommer/Herbst, Einfluss von Extremereignissen auf Wasserkraft, Einfluss der Wassertemperaturerhöhung auf die Kühlwassernutzung durch thermische Kraftwerke und Kernkraftwerke mit Durchlaufkühlung (Betzau und Mühleberg), Veränderung der Energienachfrage im Sommer und im Winter

Finanzwirtschaft

Investitionsbedarf, Schadensversicherung

Infrastrukturen

Hochwasserschutz, Bewässerungsanlagen, Kanalisation, Vernetzung der Systeme im Sinne der integralen Wasserwirtschaft

2. Veränderungen in natürlichen Gewässern

Wassertemperatur

Die Klimaänderung hat einen unmittelbaren Einfluss auf die Wassertemperaturen. In der Schweiz werden die Wassertemperaturen in den Flüssen und in der Oberflächenschicht der Mittellandseen bis 2050 um ungefähr 2 °C gegenüber 1990 ansteigen.¹ In Mittellandseen steigt das Risiko des Sauerstoffmangels im Tiefenwasser.²

In den vergangenen Jahrzehnten sind die Wassertemperaturen in den Flüssen parallel zu den Lufttemperaturen angestiegen (Abb. 1).³ In den Seen war die Erwärmung in der durchmischten Oberflächenschicht stärker als im Tiefenwasser. Die Stabilität der Dichteschichtung hat dadurch zugenommen und die Periode der stabile Schichtung im Sommer dauert länger an. Im Zürichsee wurde seit den 1950er Jahren eine Erwärmung von durchschnittlich 0.24 °C pro Dekade in der Oberflächenschicht und 0.13 °C pro Dekade im Tiefenwasser beobachtet. Die stabile Schichtung dauert rund 2–3 Wochen länger. In den Mittellandseen ohne regelmässige Eisbedeckung hat die Häufigkeit von Durchmischungsereignissen im Winter tendenziell abgenommen. Dadurch gelangt weniger Sauerstoff ins Tiefenwasser. In höher gelegenen Seen mit regelmässiger Eisbedeckung trifft dies nicht zu; stattdessen findet die Durchmischung im Frühling früher und im Herbst später statt.

Gemäss Szenario werden sich die Flüsse bis 2050 um weitere rund 2 °C gegenüber 1990 erwärmen. In den Mittellandseen wird sich die Oberflächenschicht weiterhin stärker erwärmen als das Tiefenwasser und die Stabilität und Dauer der Dichteschichtung werden zunehmen. Die Dauer der Periode, während der eine volle Durchmischung stattfinden kann, wird weiter verkürzt, die Häufigkeit von Durchmischungsereignissen wird weiter abnehmen und der Sauerstoffeintrag ins Tiefenwasser reduziert werden. In Seen mit heute ausreichendem Sauerstoffgehalt steigt das Risiko des Sauerstoffmangels im Tiefenwasser.

Mit der Klimaänderung wird erwartet, dass die tiefer gelegenen Mittellandseen seltener zufrieren und in den höher gelegenen Seen die Eisbedeckung kürzer dauert. In den Bergseen wird die Abnahme der jährlichen Eisbedeckung zur Erhöhung der biologischen Produktion und zu vermehrtem Sauerstoffbedarf führen.

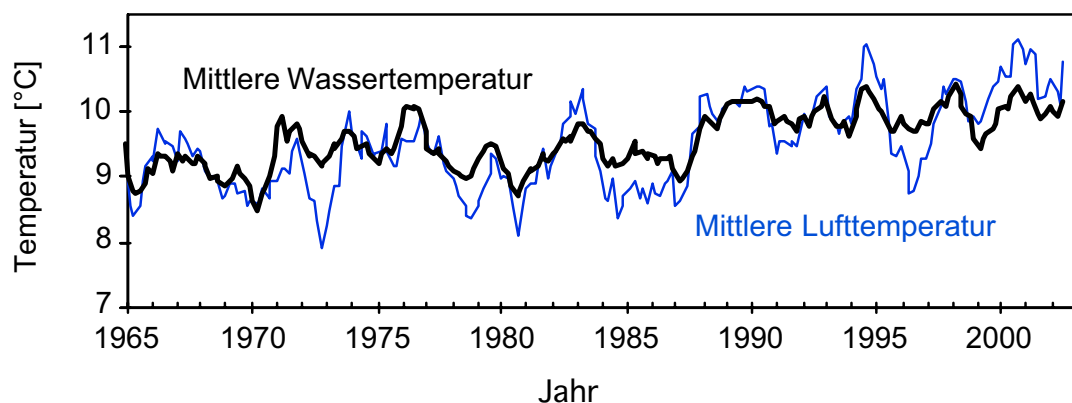


Abbildung 1: Der Anstieg der mittleren Wassertemperatur in den Schweizer Flüssen (schwarze Kurve) seit 1965 verlief parallel zum Anstieg der mittleren Lufttemperatur (blaue Kurve).³

Mikro- und Kleinorganismen

Die Wassertemperaturen in der Oberflächenschicht von Seen haben in den letzten Jahrzehnten im Winter zugenommen, was zu einer Zunahme der thermischen Stabilität und einer Änderung der Zirkulationsverhältnisse geführt hat. Es kam zu zeitlichen Verschiebungen in der Nahrungskette und in Seen mit ausreichendem Sauerstoffgehalt zu einer Abnahme der Phytoplanktondiversität. Als Folge der künftigen Erwärmung kann es in Seen, die heute einen ausreichenden Sauerstoffgehalt aufweisen, zu einer Verschlechterung der Lebensbedingungen kommen.²

Umfassende Prognosen über die Veränderungen der aquatischen Biodiversität bis 2050 sind aufgrund des heutigen Kenntnisstands nicht möglich. Anpassungsfähigkeit und -geschwindigkeit sind artenspezifisch und können nicht vorausgesagt werden. Hingegen sind einzelne Veränderungen qualitativ absehbar.

In Seen kommt es wegen der Erwärmung zu einer zeitlichen Verschiebung in der Nahrungskette. Im Frühling wird die Algenblüte durch den Frassdruck des Zooplanktons beendet. Es folgt das so genannte Klarwasserstadium. Weil Zooplankton bei höheren Wassertemperaturen grössere Wachstums- und Frassraten aufweist als bei tiefen Wassertemperaturen, findet das Klarwasserstadium nach warmen Wintern früher statt als nach kalten Wintern. In den letzten 20 Jahren wurde

aufgrund der Erwärmung eine Verfrühung der Klarwasserphase um rund 2 Wochen beobachtet. Gemäss Klimaszenario wird sich auch in Zukunft die Klarwasserphase weiter verfrühen, allerdings ist dies nicht unbegrenzt möglich.

Seit den 1970er Jahren haben die winterlichen Phosphatkonzentrationen durch kostenintensive Massnahmen (Abwassereinigung, Ringleitungen) abgenommen. Gleichzeitig ist eine Zunahme der Phytoplanktondiversität zu beobachten. Die warmen Wintertemperaturen in den letzten Jahrzehnten hatten in Seen mit ausreichendem Sauerstoffgehalt eine negative Wirkung auf die Phytoplanktondiversität. Diese Entwicklung wird sich mit der künftigen Erwärmung wahrscheinlich fortsetzen. In Seen ohne ausreichenden Sauerstoffgehalt ist der Einfluss unklar.

Fische

Die Erwärmung der Gewässer hat Auswirkungen auf Kaltwasserfische; ihre geeigneten Habitate werden verkleinert und die Artenzusammensetzung verändert sich. Kalt- und Warmwasserfische profitieren von den wärmeren Wintern.

Für Fische waren in der Vergangenheit menschliche Eingriffe in die Hydrologie und Morphologie der Gewässer wichtige Einflussfaktoren. Dies wird auch in Zukunft der Fall sein.

Als Folge der Erwärmung in den Schweizer Fließgewässern um 0.4–1.6 °C in den letzten 25 Jahren (Abb. 1) hat sich die Forellenregion um 100–200 m in der Höhe verschoben.³ Eine ähnliche Entwicklung wurde in Nordamerika beobachtet: In den Rocky Mountains verringerte sich die Habitatseignung von Forellen um 17% bei einer Erwärmung des Wassers im Juli um 1 °C.⁵

Abschätzungen zeigen, dass bei einer Erwärmung von 2 °C bis 2050 die Lebensräume der Salmoniden in der Schweiz um $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{4}$ gegenüber heute schrumpfen werden. Von den wärmeren Wintertemperaturen profitieren sowohl Kalt- als auch Warmwasserfische; die Wachstumsphasen dauern länger und die Fische wachsen schneller. Als Folge davon werden die Gewässer geeigneter für Karpfen (Cypriniden) und exotische Fischarten.

Krankheiten wie die Parasiteninfektion PKD (Proliferative Kidney Disease) werden sich bei wärmeren Wassertemperaturen ausbreiten.⁶

3. Naturgefahren Wasser

Als Folge der Klimaänderung werden im Winter und Frühjahr in Höhenlagen unter ca. 1500 m ü.M. häufigere und zum Teil grössere Hochwasser erwartet. Im Sommer werden Trockenperioden markant zunehmen.

Hochwasser

Die Bildung von Hochwassern wird stark durch das Niederschlagsklima bestimmt. In der Vergangenheit gab es sowohl Perioden mit vielen Hochwassern als auch solche mit wenigen Hochwassern. Im Vergleich zu früheren Jahrzehnten des 20. Jahrhunderts scheinen sich seit ungefähr 20 Jahren häufiger grosse Hochwasser zu ereignen (Sommer 1987, September 1993, Mai 1999, Oktober 2000, August 2005).

In einer Trendanalyse von gemessenen Abflüssen⁷ kleiner und mittelgrosser Einzugsgebiete in der Schweiz (Periode 1930–2000) wurde in vielen der untersuchten Flüsse eine Zunahme der Jahresabflüsse festgestellt. Sie wird hauptsächlich durch einen Anstieg der Abflüsse im Winter und Frühling verursacht. Die beobachtete Zunahme intensiver Winterniederschläge⁸ kann zumindest einen Teil der beobachteten Abflusstrends erklären.

In Zukunft sind gemäss dem heutigen Erkenntnisstand verschiedene Veränderungen des Niederschlagsklimas möglich, welche sich auf die Hochwasserhäufigkeit auswirken können (vgl. Kapitel Grundlagen). Im Winter wird mit einer Zunahme des mittleren Niederschlags gerechnet. Dieser fällt häufiger und bis in höhere Lagen als Regen statt als Schnee. Beide

Faktoren dürften zu einer Zunahme der mittleren Abflüsse im Winter bis in den Frühling führen.^{9,10} Zudem zeigen viele Analysen von globalen und regionalen Klimamodellen, dass die mittlere Niederschlagsintensität und die Häufigkeit von starken und extremen Niederschlägen in Mittel- und Nordeuropa im Winter zunehmen dürfte.^{11,12,13,14} Auswertungen aktueller Modellresultate zeigen auch eine Zunahme von Starkniederschlägen in Mitteleuropa für Frühling und Herbst. Die Modellresultate für den Sommer streuen stark. Für diese Jahreszeit sind auch qualitative Aussagen heute kaum möglich, aber die Abnahme des mittleren Niederschlags wird in vielen Modellen durch eine höhere Niederschlagsintensität begleitet.^{11,15}

Bei der Entstehung von Hochwassern spielt neben der Intensität und Dauer der Niederschläge auch der Zustand des Einzugsgebiets eine entscheidende Rolle. Die Abflussbereitschaft wird durch die mittlere Temperaturerhöhung und Niederschlagsabnahme im Sommer eher vermindert. Infolge der erwarteten Veränderungen im Niederschlagsklima ist vor allem im Winter und in den Übergangsjahreszeiten und vor allem für mittlere und grosse Einzugsgebiete des Juras, des Mittellandes, der Voralpen und des Tessins mit häufigeren und teilweise grö-

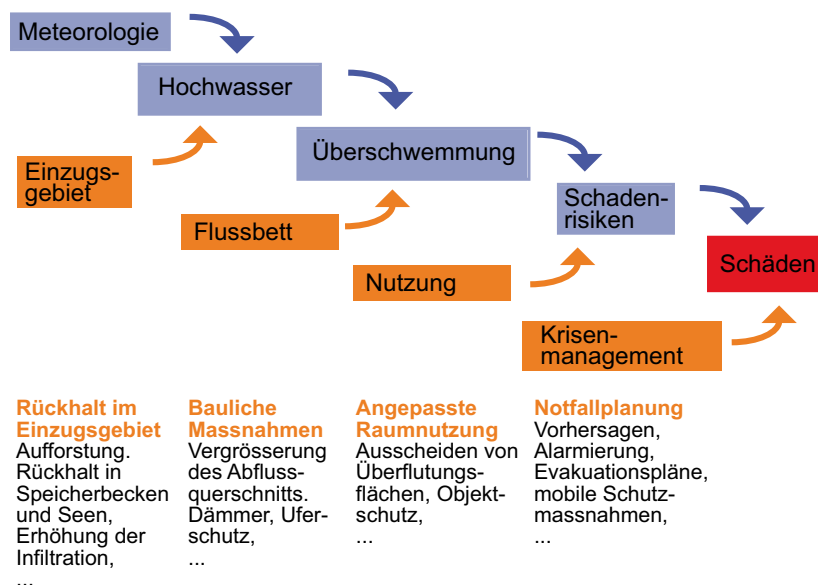


Abbildung 2:
Hochwasserschäden entstehen nur, wenn eine Reihe von Voraussetzungen erfüllt sind. Entsprechend zahlreich sind die Eingriffsmöglichkeiten.
(Quelle: BWG - BAFU)

Umleitung im Überlastfall

Um bei einem ausserordentlich grossen Hochwasser den Schaden auf ein erträgliches Mass zu begrenzen, werden die überschüssigen Wassermassen auf wenig schadenempfindliche Flächen umgeleitet. Beim Hochwasser vom August 2005 kam diese Notfallmassnahme zur Anwendung. 25–50% des Hochwasserabflusses wurde auf Sportplätze, Landwirtschaftsflächen, Parkplätze und andere wenig schadenempfindliche Flächen um das Siedlungsgebiet geleitet. Diese Massnahmen müssen baulich und raumplanerisch vorbereitet werden.



Abbildung 3: Im August 2005 wurde das Hochwasser der Engelberger Aa um das Schadenempfindliche Siedlungsgebiet geleitet. (Quelle: Schweizer Luftwaffe 2005)

seren Hochwassern zu rechnen als unter heutigen Klimabedingungen. Dazu kommt, dass die Temperaturzunahme einen häufigeren Wechsel zwischen Schneefall und Schneeschmelze bewirkt, so dass am Alpenrand vermehrt mehrere Tagesniederschläge kumuliert zum Abfluss kommen. Da die Verdunstung im Winter gering ist, sind keine nennenswerten Kompensationseffekte zu erwarten. In kleinen Einzugsgebieten des Mittellands und in den Alpen treten die grössten Hochwasser meist im Sommer nach kurzen aber intensiven Gewitterniederschlägen auf. Ob und in welche Richtung sich deren Häufigkeit ändert, ist sehr unsicher.

Im Hochgebirge wird im Winter keine signifikante Beeinflussung der Hochwasser erwartet, da Winterniederschläge, auch wenn diese zunehmen, wegen des Schneeanteils weiterhin nicht

Hochwasser bildend sind. Im Frühling wird eine Intensivierung der Schneeschmelze erwartet. Dies könnte zum Anstieg der Hochwassergefährdung bei Überlagerung von Schneeschmelz- und Regenereignissen führen. Im Sommer ist generell mit weniger Schmelzwasser und trockeneren Böden zu rechnen.

Hochwasserschäden sind die Folge des Konflikts zwischen dem sich natürlich ausbreitenden Hochwasser und der menschlichen Nutzung des Einzugsgebiets (Abb. 2). In den vergangenen 50 Jahren hat das Schadenpotenzial von Hochwassern im Zuge der wirtschaftlichen Entwicklung markant zugenommen. Immer mehr Infrastrukturbauten befinden sich in exponierten Lagen. Unabhängig von der Klimaänderung erfordert das höhere Schadenpotenzial einen verbesserten Schutz vor Hochwassern.

Die Schweiz verfolgt beim Hochwasserschutz eine flexible Strategie, die in erster Linie darauf abzielt, Schäden zu vermeiden und nicht unbedingt die Überschwemmung zu verhindern. Sie beinhaltet eine Reihe von Massnahmen, die angesichts der Unsicherheiten kombiniert angewandt werden müssen. Folgende Grundsätze sind dabei wichtig:

- Ein weiterer Anstieg des Schadenpotenzials ist durch raumplanerische Massnahmen zu verhindern; neue Überbauungen in gefährdeten Gebieten sind zu vermeiden.
- Für bestehende Gebäude und in weniger gefährdeten Gebieten ist die Schadenempfindlichkeit durch entsprechenden Objektschutz herabzusetzen. Dadurch werden ein weiterer Anstieg des Schadenpotenzials und die Notwendigkeit von baulichen Schutzmassnahmen am Gewässer vermindert.
- Bauliche Schutzmassnahmen werden ergriffen, wenn Raumplanung und Objektschutz nicht ausreichen. Ihre Bemessung soll nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen, was eine Differenzierung der Schutzziele – höhere Werte sind höher zu schützen – impliziert. Bei bestehenden Siedlungen sind Bemessungen auf ein 100- bis 300-jährliches Hochwasser üblich.
- Unabhängig davon, ob die errechneten Wahrscheinlichkeiten für das Bemessungshochwasser gültig sind oder nicht, kann ein noch grösseres Hochwasser eintreten. Für diesen Überlastfall muss eine Notfallplanung eingerichtet werden. Sie hat zum Ziel, im Falle eines deutlichen Überschreitens des Bemessungshochwassers den Schaden auf ein erträgliches Mass zu begrenzen. Die Konzepte können Evakuationen, mobile Sperren oder Notentlastungen umfassen (vgl. Kasten).

Der wesentliche Vorteil dieser Strategie ist, dass die Schutzbauten aufgrund bekannter Wahrscheinlichkeiten dimensioniert werden. Ihre Wirtschaftlichkeit ist somit für heutige Bedingungen gesichert und in noch stärkerem Masse bei erhöhter Hochwassergefahr in einem

zukünftigen Klima. Der Einschluss eines wesentlich grösseren Hochwassers in die Planung ergibt bis zu einem gewissen Grad eine Schadenbegrenzung auch bei einer Erhöhung der Hochwassergefahr. Er verschafft einen Zeitgewinn, bis verlässlichere Grundlagen zur Entwicklung der Risikosituation zur Verfügung stehen. Dabei ist eine ständige Überprüfung der Risikosituation die Voraussetzung für eine langfristige Wirksamkeit, da sich sowohl Schadenpotenzial als auch Gefahrensituation laufend ändern.

Trockenheit

Die letzten Dürresommer erlebte die Schweiz 1947 und 2003. In der Landwirtschaft verursachte der Hitzesommer 2003 Schäden von ungefähr 500 Mio. Franken. Ein lebensbedrohender Wassermangel bestand jedoch nicht. Im Verlauf des 20. Jahrhunderts wurden in der Schweiz keine systematischen Trends in der Häufigkeit langer niederschlagsfreier Perioden gefunden.⁸ Gemäss Szenario werden die Niederschläge im Sommer abnehmen und die Wahrscheinlichkeit von Trockenperioden wird zunehmen. Auch extreme Trockenperioden werden gemäss Modellrechnungen zunehmen.

Im Vergleich zu anderen Regionen der Welt befindet sich heute die Schweiz in einer günstigen Lage. Die ergiebigen Niederschläge sowie die ausgleichende Wirkung der Schneeschmelze und – mit abnehmender Bedeutung – der Gletscherschmelze sorgen auch in Zukunft für ein vergleichsweise hohes Wasserdargebot. Um Engpässe bei der Wasserversorgung vorzubeugen, müssen die entsprechenden Infrastrukturen rechtzeitig massvoll ausgebaut werden. Bedarfsprognosen und Bauzeiten müssen bei der Planung berücksichtigt werden.

In Abflussregimes der Hochalpen, die durch die winterliche Schneedecke und die Schneeschmelze geprägt sind, dürften bei winterlichen Niedrigwassern infolge des Temperaturanstiegs und des höheren Winterniederschlags höhere Wasserstände erreicht werden.

4. Wasserdargebot und Wasserbedarf

Grundwasserneubildung

Als Folge der Klimaänderung wird die Grundwasserneubildung im Winter eher zunehmen und im Sommer und Herbst zurückgehen. Die Grundwasserstände werden insgesamt leicht sinken.

83% des Trink- und Brauchwasserbedarfs der Schweiz werden aus dem Grundwasser gedeckt; davon stammen 44% aus Quellen in Karst- und Kluft-Grundwasserleitern und 39% aus Filterbrunnen in Lockergesteinen (siehe Abb. 4). Die Lockergesteins-Grundwasserleiter weisen einen langsamen Grundwasserfluss auf und sind generell ergiebig. In Karstgebieten fliesst das Grundwasser schnell ab, weshalb diese Quellen nach Niederschlägen hohe Abflüsse aufweisen. Quellen in Kluftgebieten weisen einen gleichmässigeren Abfluss auf, sind aber generell wenig ergiebig. Die verschiedenen Grundwasserleitertypen reagieren daher in unterschiedlichem Ausmass und mit unterschiedlichen Verzögerungen auf klimatische Veränderungen. Als Folge der prognostizierten Klimaänderung wird die Grundwasserneubildung im Winter infolge vermehrten Niederschlags in Form von Regen eher zunehmen. Im Sommer und Herbst wird die Grundwasserneubildung infolge höherer Temperaturen, zunehmender Trockenperioden sowie Konzentration auf Starkniederschläge im

Mittelland und in den Voralpen zurückgehen. Die Infiltration aus alpinen Oberflächengewässern wird leicht zurückgehen.

Diese Veränderungen bei der Grundwasserneubildung haben zur Folge, dass die Quellschüttungen bei oberflächennahen Quellen mit kleinem Einzugsgebiet und bei Karst-Grundwasserleitern saisonal stärker schwanken werden und im Sommer und Herbst zum Teil versiegen können. In Grundwasservorkommen in Talschottern mit mittelländischem Fliessregime ist zu erwarten, dass die Grundwasserstände im Sommer und Herbst sinken. Grundwasservorkommen in Talschottern mit alpinem Fliessregime, die im Sommer ihren saisonalen Höchststand aufweisen, werden nur leicht sinkende Wasserstände verzeichnen. Allerdings muss wohl auch hier während den öfters vorkommenden Hitzesommern und der fehlenden Gletschereisschmelze im Spätsommer und Herbst mit tieferen Grundwasserständen gerechnet werden. In tieferen Grundwasserleitern wird ebenfalls ein leichter Rückgang der Grundwasserstände erwartet.



Abbildung 4: Verteilung verschiedener Grundwasserleiter in der Schweiz.¹⁶

Bedarf an Trink- und Brauchwasser

Als Folge der Klimaänderung wird es vermehrt zu Konkurrenzsituationen zwischen verschiedenen Wassernutzungen und Wassernutzern kommen. Für die Trinkwasserversorgung werden die Voraussetzungen regional und zeitlich begrenzt beeinträchtigt. In der Landwirtschaft steigt der Bedarf an Bewässerungswasser.

Durch die Klimaänderung werden die Voraussetzungen für Trinkwasserversorgungen beeinflusst. Die Auswirkungen sind regional

und zeitlich sehr unterschiedlich. Massnahmen gegen Engpässe bei der Trinkwasserversorgung und zur Erhöhung der Versorgungssicherheit

beinhalten die Nutzung von Oberflächenwasser (Seen), den Ausbau von Verbundnetzen der Trinkwasserversorgung und die Erschliessung neuer Grundwasserressourcen.

Wegen der abnehmenden Niederschläge im Sommer nehmen die Wasserreserven im Boden ab. Höhere Temperaturen führen zu höherer Evaporation und zu einem grösseren Wasserbedarf der Pflanzen (Transpiration). Dadurch führen länger anhaltende und häufigere Trockenperioden zur Bodenaustrocknung. In der Folge verringern sich lokal die Wasseraufnahmefähigkeit des Bodens durch Verkrustung und die Wasserspeicherfähigkeit durch Trockenrisse; die Fähigkeit zur Humusbildung nimmt ab.

Das geringere Wasserangebot und ein steigender Bedarf der Landwirtschaft an Bewässerungswasser führen zu einer Konkurrenzsituation zwischen verschiedenen Nutzungen und Nutzern wie beispielsweise mit unterliegenden Anrainern. Wasser wird – allerdings zeitlich und örtlich beschränkt – im Sommer zunehmend zu einem knappen Gut werden. Dadurch wird die Notwendigkeit einer geeigneten Bewirtschaftung zunehmen. Diese wird Auswirkungen auf Nutzungs-Prioritäten, Nutzungs-Rechte und Nutzungs-Preise haben. Für Ausgleichs- und Bewässerungsmassnahmen wird es einerseits Regeln und andererseits neue Infrastrukturen brauchen.

5. Wassernutzung

Wasser wird in der Schweiz sehr stark für die Energieerzeugung genutzt. Als Folge der Klimaänderung wird die Stromproduktion durch Speicher- und Flusskraftwerke abnehmen. Die Rheinschifffahrt wird in Zukunft vermehrt durch längere Perioden mit aussergewöhnlich niedrigen Wasserständen beeinträchtigt werden.

Energie

Die Schweiz deckt rund 60% der Elektrizitätsnachfrage respektive $\frac{1}{8}$ des gesamten Energiebedarfs durch Wasserkraft.

Die Klimaänderung wird insbesondere im Alpenraum zu einem jahreszeitlichen Ausgleich der Abflussregime führen. Die Wasserführung nimmt im Winter und Frühjahr zu und im Sommer und Herbst ab. Dadurch erhalten die Kraftwerksbetreiber mehr Flexibilität. In Zukunft wird die Bewirtschaftung der Speicherräume neben dem Ausgleich jahreszeitlicher Schwankungen auch auf die Schwankungen des Strommarktes ausgerichtet sein. Insgesamt muss mit einer Einbusse bei der hydroelektrischen Energieproduktion durch Speicherkraftwerke gerechnet werden, weil weniger Wasser zur Verfügung steht: Die Jahresniederschläge nehmen ab und die Verdunstung nimmt zu.

Niedrigwasser im Spätsommer und Herbst werden die Stromproduktion der Flusskraftwerke im Mittelland einschränken. Andererseits können die Laufkraftwerke im Winter und Frühjahr durch die erhöhten Abflüsse profitieren, da die Kapazität der Turbinen heute in dieser Jahreszeit kaum ausgelastet ist.¹⁷ Insgesamt wird mit einer

kleinen Abnahme der Stromproduktion in den Flusskraftwerken gerechnet.¹⁸

Hochwasser und Hanginstabilitäten werden mit der Klimaänderung zunehmen, wobei insbesondere grosse Massenbewegungen Kraftwerksnebenanlagen wie z.B. Wasserfassungen an steilen Gebirgshängen gefährden können. Auch der Sediment-, Geschiebe- und Gschwemmseltransport könnte zunehmen und die Verlandung von Speicherseen verstärken und beschleunigen.^{19,20}

Auch die Produktion in Kernkraftwerken und anderen thermischen Kraftwerken wird von der Klimaänderung betroffen sein. Wegen der ansteigenden Wassertemperaturen und der abnehmenden Abflüsse werden sie weniger Kühlleistung aus den Gewässern beziehen können, insbesondere während Hitzeperioden wie im Sommer 2003.

Durch die Klimapolitik wird die Wasserkraft als erneuerbare, CO₂-neutrale Energie wirtschaftliche Vorteile gewinnen.

Rheinschifffahrt

Über die Rheinhäfen werden 15% des mengenmässigen Aussenhandels abgewickelt; bei den Mineralölprodukten sind es sogar 35%. Jährlich

werden 9 Mio. Tonnen Güter auf dem Rhein in die Schweiz transportiert.

Während Niedrig- und Hochwassern kann die Rheinschifffahrt eingeschränkt sein. Im Jahre 2003 verzeichneten die Beförderungsmenge und -leistung gegenüber dem Vorjahr einen Rückgang um 5.8% bzw. 9.9%. Für diesen Rückgang war in erster Linie die geringe Wasserführung in der zweiten Jahreshälfte verantwortlich. Wegen des Niedrigwassers konnten die Schiffe nicht gleich viel laden wie bei normalem Pegelstand. Bei Hochwasser wird die Rheinschifffahrt bei einem Pegelstand bei Rheinfelden von über 4.30 m eingestellt. Im Mai 1994 war die Fahrt zwischen Basel und Rheinfelden während 13 Tagen gesperrt. Im Februar 1999 war die Schifffahrt während fünf Tagen und vom 12. Mai bis zum 16. Juni für weitere 38 Tage unterbrochen.

Die Klimaänderung wird einen Einfluss auf den Abfluss haben. Heute weist der Rhein einen sta-

bilien Abfluss auf dank der Speisung im Frühling/Sommer durch Schmelzwasser und Niederschlag in den Alpen und im Herbst/Winter durch Niederschlag in den tiefer gelegenen Gebieten. Das Schmelzwasser der winterlichen Schneedecke und der Gletscher ist heute eine wichtige Quelle für den gleichmässigen Abfluss in Zeiten mit geringem Niederschlag. Dieser ausgleichende Einfluss wird mit dem Abschmelzen der Gletscher laufend abnehmen. Die Wahrscheinlichkeit von längeren Perioden mit aussergewöhnlich niedrigen Wasserständen wird bis 2050 zunehmen. Obwohl der Fortbestand der Schifffahrt dadurch nicht beeinträchtigt wird, dürfte die zeitliche Zuverlässigkeit der Rheinschifffahrt in Mitleidenschaft gezogen werden. Fortschritte bei den saisonalen Voraussagen der Wetterentwicklung und damit der Wasserstände werden in Zukunft die logistische Planung vereinfachen und die Planungssicherheit erhöhen.

6. Verstärkte Bewirtschaftung der Wasserressourcen

Die Schweiz verfügt heute über ein räumlich und zeitlich relativ ausgeglichenes Wasserdargebot. Wegen der Klimaänderung wird das natürliche Wasserdargebot den künftigen Bedarf nicht mehr zu allen Zeiten und überall decken können.

Als Folge der Klimaänderung werden die alpinen Abflussregimes etwas ausgeglichener und die Mittellandregimes werden vermehrt Niedrigwasser- und Trockenperioden aufweisen. Gemäss Klimaszenario werden Hitze- und Trockenperioden zunehmen. Dies hat zur Folge, dass Wasser – zeitlich und örtlich beschränkt – im Sommer immer mehr zu einer knappen Ressource wird. Mit der Klimaänderung verändern sich auch die Ansprüche an die Wassernutzung. Von den Seennutzern und den Anwohnern flussabwärts wird vermehrt eine Erhöhung des Abflusses bei niedrigen Wasserständen gefordert für die Schifffahrt, die Anliegen des Gewässerschutzes, die Entnahme von Trink- und Bewässerungswasser und für Freizeit und Erholung. Das saisonal und regional reduzierte Wasserdargebot und die veränderten Nutzungsansprüche führen zur Notwendigkeit, das Wasser mengenmässig zu bewirtschaften. Ohne Wassermengenbewirtschaftung können nicht mehr alle Ansprüche in gleichem Masse erfüllt werden.

Bei regulierten Seen müssen die bestehenden Regulierschemata den künftigen Anforderun-

gen angepasst werden. Bei Seen, die noch nicht reguliert werden (z.B. Bodensee), wird der Ruf nach Regulierung zunehmen.

Die intraregionale Bewirtschaftung heisst, dass wasserwirtschaftliche Einrichtungen (Verbundnetze und Speicher- und Seenbewirtschaftung) forciert werden müssten, um den erforderlichen Ausgleich zwischen (natürlichem) Dargebot und dem Bedarf gewährleisten zu können.

Die integrale Bewirtschaftung auf Einzugsgebietsbasis erfordert auf der organisatorischen Ebene administrativ-institutionelle Anpassungen (Neuregelung der Zuständigkeiten; Koordination) sowie rechtliche Anpassungen, da die bislang sehr kleinräumigen Zuständigkeiten zu diesem Zweck keine effiziente Struktur bieten.

Neben den Ansätzen der Bewirtschaftung sind auch Massnahmen auf der Nachfrageseite zu treffen, insbesondere bei der Landwirtschaft (effizienter Einsatz von Bewässerungstechniken bis hin zur Wahl der angepflanzten Kulturen) und beim Brauch- und Trinkwasserbedarf.

Literatur und Anmerkungen

- 1 F. Peeters, D. M. Livingstone, G.-H. Goudsmit, R. Kipfer, and R. Forster. Modeling 50 years of historical temperature profiles in a large central European lake. In: *Limnol. Oceanogr.*, 47(1), 2002, 186–197.
- 2 D. M. Livingstone and D. M. Imboden. The prediction of hypolimnetic oxygen profiles: a plea for a deductive approach. In: *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 53(4), 1996, 924–932.
- 3 R. E. Hari, D. M. Livingstone, R. Siber, P. Burkhardt-Holm and H. Güttinger. Consequences of climatic change for water temperature and brown trout populations in Alpine rivers and streams. In: *Global Change Biol.*, 12, 2006, 10–26.
- 4 D. M. Livingstone. Impact of secular climate change on the thermal structure of a large temperate central European lake. In: *Clim. Change* 57, 2003, 205–225.
- 5 C. J. Keleher and F. J. Rahel. Thermal limits to salmoid distributions in the Rocky Mountain Region and potential habitat loss due to global warming: a geographic information system (GIS) approach. In: *Transaction of the American Fisheries Society* 125, 1996, 1–13.
- 6 P. Burkhardt-Holm, W. Giger, H. Güttinger, U. Ochsenbein, A. Peter, K. Scheurer, H. Segner, E. Staub, and M. J.-F. Suter. Where have all the fish gone? In: *Env. Science & Technology* 39 (21), 2005, 441A–447A.
- 7 M. V. Birsan, P. Molnar, M. Pfaundler und P. Burlando. Trends in schweizerischen Abflussmessreihen. In: *Wasser Energie Luft*, Heft 1/2, 2004, 29–38.
- 8 J. Schmidli and C. Frei. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. In: *Int. J. Climatol.*, 25, 2005, 753–771.
- 9 F. Bultot, D. Gellens, B. Schädler and M. Spreafico. Effects of climate change on snow accumulation and melting in the Broye catchment (Switzerland). In: *Clim. Change*, 28, 1994, 339–363.
- 10 J. Kleinn. Climate change and runoff statistics in the Rhine basin: A process study with a coupled climate-runoff model. Diss. ETH Nr. 14663., 2002.
- 11 J. Räisänen, U. Hannson, A. Ullerstig, R. Döscher, L. P. Graham, C. Jones, H. E. M. Meier, P. Samuelsson, and U. Willén. European climate in the late twenty-first century: regional simulations with two global models and two forcing scenarios. In: *Climate Dyn.*, 22, 2004, 13–31.
- 12 M. Ekström, H. J. Fowler, C. G. Kilsby, and P. D. Jones. New estimates of future changes in extreme rainfall across the UK using regional climate model integrations. 2. Future estimates and use in impact studies. In: *J. Hydrol.*, 300, 2005, 234–251.
- 13 C. Frei, R. Schöll, S. Fukutome, J. Schmidli and P. L. Vidale. Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. In: *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 111, 2006, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- 14 OcCC (Hg.). *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, 2003.
- 15 J. H. Christensen and O. B. Christensen. Severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421, 2003, 805–806.
- 16 BUWAL. *Wegleitung Grundwasserschutz. Vollzug Umwelt*. Bundesamt für Umweltschutz, Wald und Landschaft, Bern, 2004.
- 17 D. Vischer und S. Bader. Einfluss der Klimaänderung auf die Wasserkraft. In: *Wasser Energie Luft*, Heft 7/8, 1999.
- 18 M. Piot. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz. In: *Wasser Energie Luft*, Heft 11/12, 2005.
- 19 IG Wasserkraft, VSE, ProClim, OcCC, NCCR Climate. *Wasserkraft und Klimawandel in der Schweiz – Vision 2030*, 2003.
- 20 A. Schleiss und C. Oehy. Verlandung von Stauseen und Nachhaltigkeit. In: *Wasser, Energie, Luft*, 94 (7/8), 2002, 227–234.

Gesundheit

Autoren

Charlotte Braun, Chair	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel
Miges Baumann	Bundesamt für Gesundheit, Bern
Andreas Biedermann	Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz, Herzogenbuchsee
Ariane Cagienard	Bundesamt für Veterinärwesen, Bern
Joachim Frey	Institut für Veterinärbakteriologie, Universität Bern
Regula Gehrig	MeteoSchweiz, Zürich
Bruno Gottstein	Institut für Parasitologie, Universität Bern
Anke Huss	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Bern
Urs Neu	Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz
Lukas Perler	Bundesamt für Veterinärwesen, Bern
Christoph Schierz	Zentrum für Organisations- und Arbeitswissen, ETH Zürich
Oliver Thommen Dombois	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel
Ursula Ulrich-Vöggtlin	Bundesamt für Gesundheit, Bern
Jakob Zinsstag	Schweizerisches Tropeninstitut, Basel



1. Einleitung

Einbettung

Die Klimaänderung beeinflusst die Gesundheit der Menschen nicht isoliert, sondern in Kombination mit anderen sozioökonomischen und ökologischen Veränderungen.

Eine Änderung des Klimas beeinflusst die Gesundheit der Menschen auf vielfältige Weise. Häufigere Extremereignisse wie Hitzewellen, Stürme und Überschwemmungen können tödliche Folgen haben, die Verbreitung von Krankheiten, wie beispielsweise die durch Zecken übertragene Hirnhautentzündung oder Salmonellenvergiftungen, kann verändert werden, und die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen steigt mit zunehmenden Temperaturen.

Die meisten dieser Entwicklungen werden jedoch nicht nur durch die Klimaänderung, sondern auch durch andere Faktoren beeinflusst. So sind für die Verbreitung von Malaria in der Schweiz vor allem die natürliche Umgebung (z.B. Sümpfe) und die hygienischen Verhältnisse wichtig, das Klima hat eine eher untergeordnete Bedeutung. Im folgenden Kapitel werden mögliche klimabedingte Veränderungen, die in den nächsten 50 Jahren die Gesundheit beeinflussen werden und gesellschafts- und gesundheitspolitische Bedeutung haben könnten, diskutiert. Folgende Themen wurden detailliert behandelt: Hitzewellen, Extremereignisse, Lebensmittelvergiftungen, Atemwegserkrankungen, vektorübertragene Krankheiten und Wasserverschmutzung durch Überschwemmungen.

Bereiche, für welche die Fachpersonen den Einfluss der Klimaänderung als gering einschät-

zen, werden dabei nicht berücksichtigt. Dies betrifft hauptsächlich die Problematik der Einschleppung von Krankheiten durch Migration. Migration erhöht die Gefahr der Verbreitung von Infektionskrankheiten und der Einführung von für die hiesige Bevölkerung unbekanntem Krankheitskeimen. Auch können bereits „ausgerottete“ Krankheiten wie Kinderlähmung und Tuberkulose wieder eingeführt werden. Für diese Migration hat jedoch das Klima nur eine untergeordnete Bedeutung, sie erfolgt primär aus anderen Gründen. Umweltflüchtlinge gehen eher in Nachbarländer und nicht in weit entfernte Industrieländer.

Neben den aufgeführten Bereichen mit negativen Folgen sind auch einzelne positive Entwicklungen zu erwarten, vor allem bezüglich Kälte- und Frostperioden. Mit zunehmender Erwärmung nimmt deren Häufigkeit und die damit verbundene Sterblichkeit ab. Kälteperioden mit signifikant erhöhter Sterblichkeit sind aber bereits heute sehr selten und es sind deshalb keine grossen Veränderungen zu erwarten. Negativ könnte sich hingegen auswirken, dass die Gesellschaft schlechter auf schwere Kältewellen vorbereitet sein wird, weil diese seltener vorkommen und der Kälteschutz vernachlässigt wird, was zu entsprechend stärkeren gesundheitlichen Folgen führen kann.

Sekundäre Nutzen im Gesundheitsbereich

Massnahmen zur Emissionsreduktion von Treibhausgasen führen auch zu einer Abnahme der Luft-Schadstoffkonzentrationen und damit zu einer Senkung der Häufigkeit von Atemwegserkrankungen und Herz-Kreislaufkrankungen (Sekundäre Nutzen).

In diesem Kapitel werden die Auswirkungen von Klimaschutzmassnahmen nicht diskutiert. Emissionsminderungsmaßnahmen wirken sich bis 2050 auf die erwartete Temperaturerhöhung noch kaum aus, sie erreichen diesbezüglich erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts eine

signifikante Wirkung. Im Gesundheitsbereich unmittelbar spürbar ist jedoch die Abnahme von gesundheitsschädlichen Schadstoffkonzentrationen. Dadurch wird beispielsweise eine Abnahme von Atemwegserkrankungen erreicht.

Überblick

In der Schweiz wird die Frage nach dem Zusammenhang von Klimaänderung und Gesundheit durch Extremereignisse wie dem Hitzesommer 2003 oder durch die beobachtete langsame Zunahme von Zeckenerkrankungen in den Mittelpunkt des Interesses gerückt.

Hitzewellen

In der Schweiz stellt die wahrscheinliche Zunahme von Hitzewellen die wichtigste klimabedingte Veränderung für den Gesundheitsbereich dar. Der Hitzesommer 2003 hat mit rund 1000 zusätzlichen Todesfällen die Anfälligkeit der Bevölkerung aufgezeigt. 2050 sind ähnliche Bedingungen alle paar Jahre zu erwarten.

Der Mensch kann sich bedingt an höhere mittlere Temperaturen anpassen, wie die Erfahrungen aus südlichen Ländern zeigen. Die Anpassung an das kurzfristige Auftreten von Hitzewellen ist jedoch schwieriger. Der Zunahme von hitzebedingter Mortalität durch Hitzewellen kann jedoch mit entsprechenden Massnahmen begegnet werden. Offen ist, wie schnell sich der menschliche Organismus an neue, wärmere Verhältnisse anpassen kann.

Hitzewellen beeinträchtigen auch die Leistung der Arbeitstätigen und haben damit wirtschaftliche Folgen. Bei Temperaturen über 30 °C ist ein Nachlassen der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung nachweisbar.

Andere Extremereignisse

Ebenfalls direkte gesundheitliche Auswirkungen hat die wahrscheinliche Zunahme von Extremereignissen wie Überschwemmungen, Murgängen und vermutlich stärkeren Stürmen. Solche Ereignisse verursachen Tote und Verletzte, haben aber auch gravierende psychische Folgen. Diesen Folgen kann durch präventive Massnahmen (Verbauungen, Bauverbotszonen, Überflutungsflächen etc.) nur teilweise begegnet werden.

Lebensmittel- und wasserübertragene Krankheiten

Bei höheren Temperaturen, insbesondere auch Hitzewellen, ist die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen aufgrund verdorbener Lebensmittel und von Krankheiten, die durch Lebensmittel übertragen werden (z.B. Salmonellen), höher. Dies

betrifft vor allem den Konsum im Privatbereich, wo im Zuge gesellschaftlicher Veränderungen das Wissen über den sicheren Umgang mit Lebensmitteln abnimmt.

Bei den wasserübertragenen Krankheiten ist ein Anstieg der Gefährdung unwahrscheinlich. Zwar können durch Überschwemmungen Abwässer oder giftige Stoffe in offene Gewässer gelangen, doch ist dank der weitgehenden Trennung von Trink- und Abwassersystemen und der gut kontrollierten Trinkwasserversorgung in der Schweiz die Gefahr von Trinkwasserverschmutzung und der Übertragung von Krankheiten relativ gering.

Schadstoffe

Eine Erwärmung kann infolge höherer Ozonkonzentrationen sowie möglicherweise infolge höherer Konzentrationen von biogenen Luftpartikeln wie Pollen oder Pilzsporen auch zu einer erhöhten Häufigkeit von Atemwegserkrankungen führen.

Vektorübertragene Krankheiten

Bei verschiedenen durch so genannte Vektoren (Träger von Infektionskrankheiten) übertragenen Krankheiten könnten wesentliche Veränderungen auftreten. Die Abschätzung der Entwicklung ist jedoch noch ziemlich unsicher. In der Schweiz ist die Ausbreitung von nur bei Menschen ausbrechenden exotischen Krankheiten wie Malaria oder Dengue-Fieber eher unwahrscheinlich. Hingegen sind Krankheiten, die von Tieren auf den Menschen übertragen werden, im Vormarsch, z.B. das West-Nile-Fieber. Höhere Temperaturen könnten jedoch auch neue Vektoren erzeugen oder zu einem Wirtewechsel – auch auf den Menschen – führen.

Auch die Veränderung der Häufigkeit von zeckenübertragenen Krankheiten ist unklar. Zecken benötigen eine bestimmte Temperatur sowie eine bestimmte Feuchtigkeit, um sich zu verbreiten. Durch diese beiden Faktoren ist ihr Verbreitungsgebiet in Europa nördlich (zurzeit in Nordschweden) und südlich (zurzeit in Italien) begrenzt. Ein Temperaturanstieg beeinflusst den Aktivitätszeitraum der Zecken, eventuell deren Infektionsrate sowie das Freizeitverhalten der Menschen. Zurzeit ist in der Schweiz eine Zunahme der gemeldeten Zeckenzephalitisfälle zu beobachten.

Verknüpfung mit anderen Themen

Landwirtschaft

Die Pollenkonzentrationen sind mit Veränderungen in der Landwirtschaft verbunden. So verändert der Anbau von anderen Nutzpflanzen oder die Verschiebung der Anbaumengen auch die damit zusammenhängenden Pollenkonzentrationen.

Infrastrukturen

Die Beeinträchtigung der Arbeitsleistung durch Hitze ist eng mit den Veränderungen der Infrastrukturen verknüpft. Die Berücksichtigung von zukünftigen Temperaturverhältnissen in der Architektur und bei der Planung von Industrie- und Bürobauten ist nicht nur für die

Arbeitsverhältnisse, sondern auch für andere bautechnische Belange von Bedeutung.

Wasserwirtschaft

Die Häufigkeit von Überschwemmungen wird durch den Hochwasserschutz beeinflusst. Überschwemmungen und die Trinkwasserversorgung haben auch eine grosse Bedeutung für die Wasserwirtschaft.

Im Folgenden werden die verschiedenen Bereiche, in welchen Folgen der Klimaerwärmung für die Gesundheit erwartet werden, dargestellt. Die Reihenfolge widerspiegelt die abnehmende gesundheitliche Bedeutung der erwarteten Veränderungen.

2. Hitzewellen

In der Schweiz wird die wahrscheinliche Zunahme von Hitzewellen bis 2050 die wichtigste klimabedingte Veränderung für die Gesundheit sein. Der Hitzesommer 2003 hat mit rund 1000 zusätzlichen Todesfällen die Anfälligkeit der Bevölkerung aufgezeigt. 2050 könnten ähnliche Bedingungen alle paar Jahre auftreten. Als kurzfristige Massnahmen bieten sich unter anderem die Information der Bevölkerung und Frühwarnsysteme an. Langfristig kann eine angepasste Bauweise und Städteplanung das Wohlbefinden steigern. Unklar ist, wie schnell sich die Bevölkerung an die neuen klimatischen Verhältnisse anpassen kann.

Hitze und Mortalität

Die Zunahme von Hitzewellen ist eine unbestrittene Folge einer Zunahme der Durchschnittstemperaturen. Steigt die Temperatur im Mittel an, so steigt auch die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Ereignissen, die heute selten sind. Es ist noch nicht klar, ob sich die Verteilung der Temperaturen lediglich um die Erhöhung der Mitteltemperaturen verschiebt, oder ob sich auch die Streuung der Einzeljahre vergrössert, wie dies einzelne Arbeiten nahe legen.^{1,2}

Die Mortalität weist eine klare Temperaturabhängigkeit auf. Beim Überschreiten eines regionenspezifischen Temperaturschwellenwertes steigt die Mortalität deutlich an. Abb. 1 zeigt die Beziehung zwischen Sterblichkeit und gefühlter Temperatur auf der Alpennord- und der Alpensüdseite im Zeitraum 1990–2003. Klar erkennbar ist der regionale Unterschied: Die „optimale“ Temperatur mit der geringsten Sterblichkeit liegt auf der Alpensüdseite um rund 3.5 °C höher als auf der Alpennordseite. Das

bedeutet, dass sich die Menschen sowohl physisch als auch durch Verhaltensänderungen und technische Massnahmen an allgemein höhere Umgebungstemperaturen anpassen. Für die Betrachtung der Folgen einer Klimaveränderung stellt sich damit die Frage, wie rasch eine solche Anpassung erfolgt. Im Jahr 2005 waren aufgrund der Erfahrungen von 2003 bereits Anpassungen in den Verhaltensmustern erkennbar (Sonnenschutz, Kühlung, etc.).

Der Hitzesommer 2003 hat deutlich gezeigt, dass starke Hitzewellen zu erheblichen Gesundheitsproblemen und zusätzlichen Todesfällen führen. Direkte Auswirkungen sind zum Beispiel hitzebedingte Herz-Kreislaufprobleme, Hitzschlag, Dehydrierung (Austrocknung des Körpers) und Hyperthermie (Überhitzung). Besonders häufig betroffen sind ältere und pflegebedürftige Menschen.

2003 bewirkten die Hitzewellen in den betroffenen Gebieten in Mitteleuropa (Frankreich, Süddeutschland, Schweiz, Norditalien und Spanien)

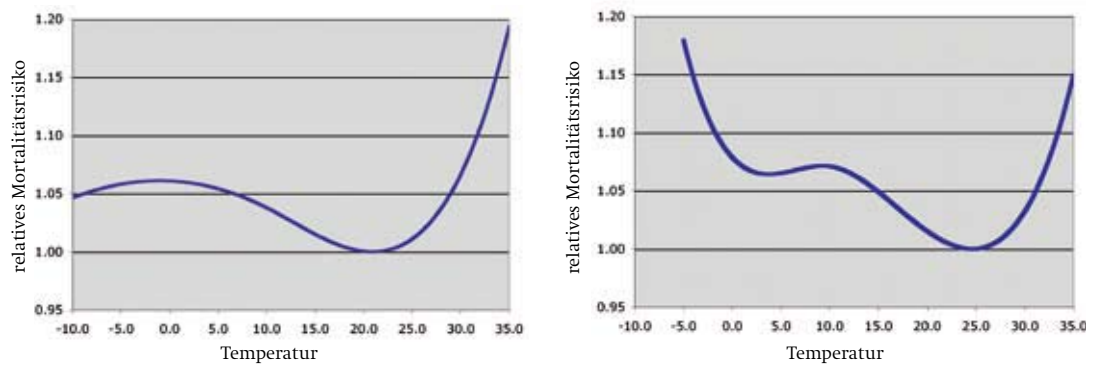


Abbildung 1: Beziehung zwischen Sterblichkeit und Temperatur auf der Alpennordseite (links) und der Alpensüdseite (rechts) im Zeitraum 1990–2003. Der Temperaturbereich mit der tiefsten Sterblichkeit liegt mit ca. 21 °C auf der Alpennordseite rund 3,5 °C tiefer als auf der Alpensüdseite mit ca. 24,5 °C. (Datenquelle: L. Grize, ISPM Basel)

eine deutliche Erhöhung der Mortalität³, insbesondere bei fehlender Information und Betreuung der Risikogruppen. Europaweit wurde die Anzahl zusätzlicher Todesfälle auf ca. 35'000 geschätzt. Die mittleren Temperaturen lagen im Sommer 2003 um 4 bis 5,5 °C über dem langjährigen Mittelwert. Dies liegt etwa im oberen Grenzbereich des erwarteten Temperaturanstiegs bis 2050. In diesem Fall und unter der Annahme, dass sich die Variabilität der jährlichen Sommertemperaturen mit der Klimaänderung nicht verändert, würden die Verhältnisse von 2003 im Jahr 2050 bereits dem Durchschnitt entsprechen. Auch im mittleren Szenario mit einem durchschnittlichen Temperaturanstieg von rund 2,5 °C würden die Werte von 2003 bereits alle paar Jahre auftreten. Die Hitzewellen im Sommer 2003 haben in der Schweiz zu rund 1000 zusätzlichen Todesopfern geführt, wovon rund ein Drittel den erhöhten Ozonwerten zugeschrieben werden. Es ist wahrscheinlich, dass ein Teil der hitzebedingten Todesfälle Menschen betrafen, die sich in gesundheitlich kritischem Zustand befanden und auch ohne Hitze in Kürze gestorben wären. Die massiv erhöhte Sterberate lässt sich jedoch nicht alleine mit diesen Fällen erklären, da in den Folgemonaten kein Kompensationseffekt beobachtet wurde.

Hitze und Arbeit

Der Mensch muss die Körperkerntemperatur konstant halten. Diese wird durch körperliche Arbeit erhöht, wodurch die Toleranz für Hitze abnimmt. Hitzewellen können die Leistung der Arbeitstätigen beeinträchtigen. Bei Temperaturen über 30 °C ist in mittleren geografischen Breiten (Mitteleuropa, USA, Australien) ein Nachlassen

der mentalen und körperlichen Arbeitsleistung nachweisbar.^{4,5} Hohe Luftfeuchtigkeit beeinträchtigt die Arbeitsleistung bei Hitze zusätzlich. An den langsamen Anstieg der mittleren Temperatur kann sich der Mensch anpassen. Der Vergleich mit südlichen Ländern zeigt, dass auch bei höheren Temperaturen Arbeit und Leistung möglich sind. So wird auch in Zukunft der Anstieg der mittleren Temperatur einen geringen Einfluss auf die Arbeitsleistung haben. Hingegen ist die kurzfristige Anpassung an Hitzewellen schwierig. Die erwartete Zunahme von Hitzewellen dürfte sich also negativ auf die Arbeitsleistung auswirken, wenn entsprechende Anpassungen bzw. Massnahmen ausbleiben.

In der Vergangenheit wurde die Arbeitswelt immer wieder durch Innovationen plötzlich und stark verändert. So waren die Verbreitung von Computern und Internet vor 40 Jahren noch nicht absehbar. Parallel zu dieser Entwicklung haben sich auch in der Schweiz in den letzten Jahrzehnten die Arbeitsplätze mehrheitlich von körperlicher Arbeit im Freien zu sitzenden Tätigkeiten in Büros und Innenräumen verlagert. Die künftige Bedeutung des Klimas für die Arbeitswelt im Vergleich zu anderen Veränderungen ist deshalb schwer einzuschätzen.

Massnahmen und Unsicherheiten

Die Folgen von Hitzewellen können durch verschiedene Massnahmen verringert werden, wie beispielsweise Frühwarnsysteme, Organisation der Betreuung von Risikogruppen und Information der Bevölkerung. Nach dem Hitzesommer 2003 wurden hierzulande erste Massnahmen eingeleitet. Das Bundesamt für Gesundheit stellt Informationen und Faktenblätter

zur Verfügung⁶ und die MeteoSchweiz hat ein Hitzefrühwarnsystem eingerichtet.

Als energietechnisch und klimapolitisch problematische Massnahme wird der verbreitete Einsatz von Klimaanlage beurteilt: der Energieverbrauch steigt und – je nach Energiequelle – kann der Ausstoss von Treibhausgasen zunehmen (vgl. Kapitel Energie). Das Wohlbefinden kann aber durch eine verbesserte und angepasste Bauweise gesteigert werden, wie beispielsweise bessere Isolation und kleinere Fensterfläche bei Gebäuden oder Durchlüftungskorridore und Grüngürtel in Städten. Dabei ist die Stadtplanung besonders gefordert, da die hitzebedingten Gesundheitsprobleme überwiegend in Städten auftreten. Nicht vergessen werden darf allerdings die Gefahr, dass bei immer selteneren Kälteperioden der Kälteschutz vernachlässigt

wird und extreme Kältewellen dadurch stärkere gesundheitliche Folgen haben können.

Im Arbeitsbereich können während Hitzeperioden die Arbeitszeiten angepasst oder längere Pausen (Siesta) eingeführt werden. Bei extremer Hitze können Hitze-Freitage gesundheitliche Risiken lindern.

Die wichtigste offene Frage betrifft die Anpassungszeit des menschlichen Organismus und der ganzen Bevölkerung an die neuen Bedingungen. Ein Vergleich der Beziehung zwischen Temperatur und Mortalität aus den Jahren 1960–1975 mit den aktuellen Zahlen könnte einen Hinweis auf die Anpassungsfähigkeit der Bevölkerung über einige Jahrzehnte geben. Unklar ist auch, inwiefern die Witterungsbedingungen im vorangehenden Winter die gesundheitlichen Auswirkungen einer Hitzewelle im Sommer beeinflussen.

3. Weitere Extremereignisse: Überschwemmungen, Erdbeben, Stürme

Mit der Zunahme der Extremereignisse steigt auch das Risiko durch Naturgefahren für den Menschen. Überschwemmungen, Murgänge und stärkere Stürme verursachen Tote und Verletzte und haben auch gravierende psychische Folgen. Diesen Folgen kann durch präventive Massnahmen (Verbauungen etc.) nur teilweise begegnet werden.

Als Folge der Klimaänderung werden sich Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen verändern⁷ (vgl. auch Abschnitt Extremereignisse im Kapitel Grundlagen). Hochwasser und Erdbeben werden wahrscheinlich aufgrund häufigerer Starkniederschläge zunehmen (siehe Abb. 2). Auch Bergstürze und Steinschlag dürften sich häufen. Aufgrund des höheren Energiegehaltes in der Atmosphäre ist nach bisherigen Kenntnissen in Zukunft zwar nicht mit häufigeren, jedoch mit stärkeren Stürmen zu rechnen.

Extremereignisse haben zuweilen verheerende Folgen. Sie fordern Menschenleben und verursachen Sachschaden. Letztere können gravierende gesundheitliche Folgen haben, wenn Einrichtungen betroffen sind, die für die Versorgung und das Gesundheitswesen wichtig sind (Spitäler, Transportwege etc.) oder in denen giftige Stoffe gelagert oder verarbeitet werden. Auch die psychischen Auswirkungen von Extremereignissen dürfen nicht unterschätzt werden. Die betroffenen Menschen sind nach dem Ereignis oft traumatisiert.

Im Vergleich zum Hitzesommer 2003 verursachen Überschwemmungen, Erdbeben und Stürme weniger Todesfälle (20 Todesfälle im Jahr 2000 durch Rutschungen/Überschwemmungen). Der Verlust an Lebensjahren kann aber in beiden Fällen in einer ähnlichen Grössenordnung liegen. Bei den Hitzewellen sind nämlich vor allem ältere Bevölkerungsschichten betroffen, während Überschwemmungen, Erdbeben und Stürme oft auch jüngere Menschenleben fordern.

Wasserverschmutzung bei Überschwemmungen

Bei Überschwemmungen können Kläranlagen und Abwasserkanäle überlaufen und Abwässer oder giftige Stoffe die Gesundheit der Bevölkerung gefährden. Die Gefahr der Trinkwasserverseuchung ist in der Schweiz allerdings gering. Der überwiegende Teil des Trinkwassers stammt aus Grund- oder Quellwasser (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft). Es kommt zwar vor, dass das Trinkwasser bei Überschwemmungen lokal verschmutzt wird,



Abbildung 2: Murgang im Herbst 2000 in Gondo, VS, nach heftigen Niederschlägen.
(Quelle: Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen, Kommission für Elementarschadenverhütung. VKF, Bern)

wie die Hochwasser im Herbst 2005 gezeigt haben. Die Trinkwasserkontrolle funktioniert aber so gut, dass die Bevölkerung rechtzeitig informiert und die Trinkwasserversorgung bis zur Wiederherstellung der normalen Versorgung über andere Quellen sichergestellt werden kann. Bisher gab es nur sehr wenige Fälle von Gesundheitsproblemen, die durch verschmutztes Trinkwasser ausgelöst worden sind. Daran dürfte sich auch mit der Klimaänderung bis 2050 nichts ändern.

Unsicherheiten und Massnahmen

Mit der Zunahme von Extremereignissen steigt auch das Risiko für den Menschen. Wie stark die Zunahme von Häufigkeit und Stärke von Extremereignissen aufgrund der Klimaänderung sein wird, ist aber schwer abzuschätzen und heute noch weitgehend unbekannt.

Der Mensch kann sich durch entsprechende Massnahmen bis zu einem gewissen Grad von den Auswirkungen der Extremereignisse schützen. Beispiele für erfolgreiche Schutzmassnahmen sind Lawinverbauungen in den Alpentälern und Hochwasserschutzmassnahmen entlang der Flussläufe. Aber selbst die modernste Infrastruktur bietet keinen absoluten Schutz. Mancherorts muss sich unsere Gesellschaft deshalb darauf beschränken, gefährdete Siedlungszonen auszuscheiden (Gefahrenkarten), die negativen Auswirkungen durch frühzeitige Warnungen und Massnahmen zu mildern und den Opfern durch schnelle Hilfe beizustehen.⁷ Das richtige individuelle Verhalten der Bevölkerung im Falle von Warnungen ist sehr wichtig.

4. Lebensmittelvergiftungen

Als Folge der Klimaerwärmung steigt die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen aufgrund verdorbener Lebensmittel und von Krankheiten, die durch Lebensmittel übertragen werden (z.B. Salmonellen). Das Risiko ist insbesondere während Hitzewellen gross. Davon betroffen ist vor allem der Privatbereich, wo das Wissen über den fachgerechten Umgang mit heiklen Lebensmitteln nur beschränkt vorhanden ist.

Bei höheren Temperaturen verderben Nahrungsmittel schneller. Zudem vermehren sich Krankheitsträger in Nahrungsmitteln schneller als bei niedrigeren Temperaturen. Auch sind Krankheitsträger in einer wärmeren Umgebung länger überlebensfähig. Mit der Klimaerwärmung steigt somit die Gefahr von Lebensmittelvergiftungen und von Krankheiten, die durch Lebensmittel übertragen werden (z.B. Salmonellen oder Colibakterien).

Die von verdorbenen Lebensmitteln und Krankheitsträgern in Nahrungsmitteln ausgehende Gefahr ist vor allem im Privatbereich gross, wo das Know-how über den sachgerechten Umgang mit Lebensmitteln bei lange andauernder Hitze oft fehlt. Es konnte beispielsweise ein Zusammenhang zwischen der Temperatur und der Häufigkeit von Salmonellenerkrankungen festgestellt werden.

Massnahmen

Die Lebensmittelkontrolle und die Kontrollen in der Lebensmittelindustrie sind ausreichend, um die Auswirkungen der Erwärmung bis 2050 zu bewältigen. Allerdings werden die Anforderungen an die Lebensmittelindustrie betreffend Einhaltung der Hygienevorschriften und der dazu notwendige Aufwand steigen. Wichtige Massnahmen im Privatbereich sind vor allem die Information der Bevölkerung bezüglich der Risiken nahrungsmittelbedingter Krankheiten in der warmen Jahreszeit und entsprechende Empfehlungen zur sachgemässen Lagerung von Lebensmitteln.

5. Atemwegserkrankungen und Allergien

Wegen der Klimaerwärmung könnte die Ozonbelastung im Sommer zunehmen. Zudem dürfte die Pollensaison länger werden. Beides hätte eine Zunahme von Atemwegserkrankungen zur Folge.

Ozon

Höhere Temperaturen führen bei gleichbleibenden Ausgangsbedingungen zu höheren Ozonkonzentrationen. Die Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Ozonwerte sind in Abb. 3 deutlich erkennbar. Bei längeren warmen Trockenperioden wird das Ozon teilweise akkumuliert. Ozon kann mindestens vorübergehend Atemwegsbeschwerden und Einschränkungen der Lungenfunktion bewirken sowie auch die akute Sterblichkeit erhöhen.

Mit der Klimaerwärmung und dem häufigeren Auftreten von Hitzewellen sind auch die Voraussetzungen für hohe Ozonkonzentrationen günstig. Für die Ozonbildung und für längerfristige

Auswirkungen auf Atemwegserkrankungen sind jedoch die Primärschadstoffe wie Stickstoffdioxid (NO₂), flüchtige organische Verbindungen (VOC) oder Feinstaub wichtiger.

Massnahmen

Die Ozonkonzentrationen, vor allem die belastenden Spitzenkonzentrationen, können durch die Verminderung der Emissionen von Primärschadstoffen (Stickoxide, VOC) gesenkt werden. Die Bevölkerung sollte bei hohen Konzentrationen rasch informiert werden. Ozoninformationssysteme wurden in den letzten 10 Jahren in vielen Regionen bereits etabliert.

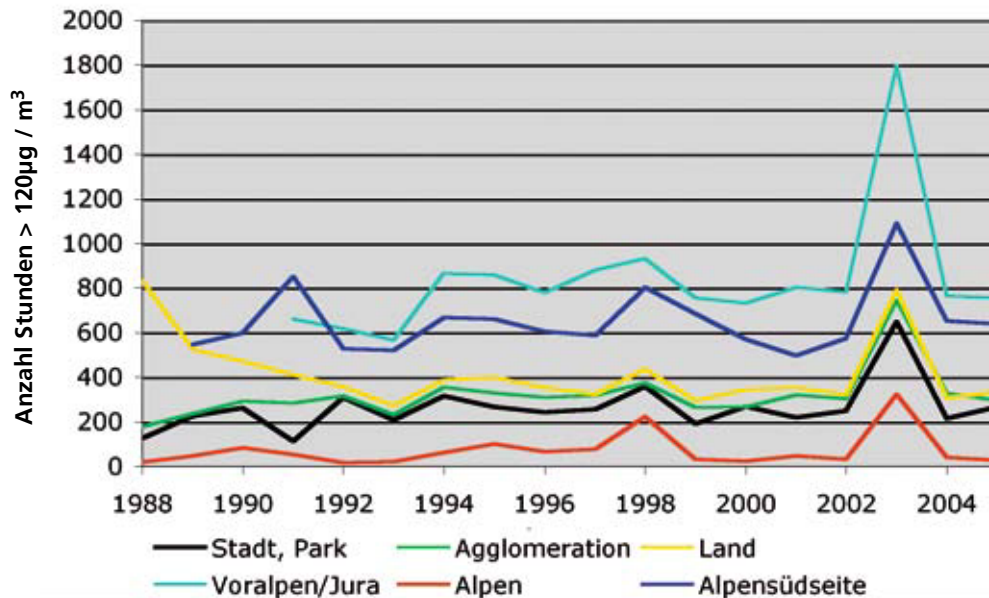


Abbildung 3: Anzahl Stunden pro Jahr mit Ozonkonzentrationen über 120µg/m³ an den NABEL-Messstationen in Städten/Pärken (grau), Agglomerationen (rot), ländlichen Gegenden (grün), Voralpen/Jura (blau), Alpen (gelb) und auf der Alpensüdseite (violett). (Datenquellen: NABEL, BAFU und Empa)

Pollen

Temperatur und Niederschlag sind wichtige Faktoren für die Zusammensetzung der Vegetation und die Länge der Vegetationszeit. Vegetations- und Blütezeit werden aber auch stark durch die Landnutzung und durch den CO₂-Gehalt der Luft beeinflusst (vgl. Kapitel Landökosysteme und Landwirtschaft).

Die Erwärmung wird die Pollenproduktion der Pflanzen verändern. In den letzten Jahrzehnten hat sich die Pollensaison bereits in Richtung früheres Auftreten im Jahr verschoben. Es gibt auch Hinweise darauf, dass sich die Pollensaison für Gräser etwas verlängert hat. Eine signifikante Veränderung der Pollenmengen wurde hingegen noch nicht festgestellt. In Zukunft dürfte die Pollensaison und somit die Belastungszeit für Allergiker als Folge der Klimaänderung länger werden. Ob der künftige Temperaturanstieg zu höheren Pollenkonzentrationen führen wird, ist unklar. Die Pollenproduktion könnte auch wegen der höheren CO₂-Konzentration zunehmen.

Die derzeit beobachtete Zunahme von Ambrosiapollen ist hauptsächlich auf die stärkere Verbreitung dieser Pflanzenart zurückzuführen. Ambrosia weist ein grosses Allergiepotezial auf. Ihre Ausbreitung und die Ausbreitung anderer mediterraner Pflanzen mit grossem Allergiepotezial (Parietaria, Cupressaceae, Olea,

Platanus, Chenopodiaceae) begünstigt durch die Klimaerwärmung könnte eine Zunahme allergischer Erkrankungen bewirken. Unklar sind jedoch die Auswirkungen dieser Veränderungen auf die Atemwegserkrankungen, z.B. ob mehr Menschen von Allergien betroffen sein werden.

Unsicherheiten und Massnahmen

Bisher gibt es praktisch nur rückblickende Studien über die Verbreitung von Pollenallergien und den möglichen Zusammenhang mit klimatischen Parametern. Modelle für die zukünftige Entwicklung fehlen hingegen. Viele Zusammenhänge sind unklar, insbesondere die Gründe für die Auslösung von Allergien. Unbeantwortet ist auch die Frage nach einem möglichen Einfluss der Erwärmung auf den Allergengehalt der Pflanzen.

Die Pollenausbreitung kann nicht verhindert werden. Möglich sind aber Massnahmen gegen die Ausbreitung neuer allergener Pflanzen wie Ambrosia oder der Verzicht auf den Anbau von Pflanzen mit hohem Allergiepotezial wie beispielsweise Olivenbäume. Eine wichtige Massnahme betrifft die Information der Bevölkerung über die aktuelle Pollenbelastung, die aber bereits heute gut organisiert und sichergestellt ist. Allergiker können sich über verschiedene Medien die benötigten Informationen holen.

6. Vektorübertragene Krankheiten

Exotische Krankheiten

Die Verbreitung von vektorübertragenen Krankheiten wird durch die Klimaänderung beeinflusst. In der Schweiz ist die Ausbreitung von nur bei Menschen ausbrechenden exotischen Krankheiten wie Malaria oder Dengue-Fieber eher unwahrscheinlich. Hingegen sind Krankheiten, die von Tieren auf den Menschen übertragen werden, im Vormarsch (z.B. West-Nile-Fieber).

Die Verbreitung exotischer Krankheiten ist nicht nur von der Temperatur abhängig, sondern wird massgeblich von der Vegetation und den hygienischen Verhältnissen beeinflusst. So wurde beispielsweise die Malaria in Mitteleuropa vor allem durch die Trockenlegung von Sumpfbereichen und die Verbesserung der Hygiene ausgerottet. Es gibt jedoch viele komplexe Vorgänge in der Ausbreitung dieser Krankheiten wie Veränderungen der Erbsubstanz von Vektoren und Krankheitserregern oder Temperaturschwellen, welche die Abschätzung der zukünftigen Verbreitung erschweren.

Die Klimaänderung kann die Verbreitung von Vektorerkrankungen (Erkrankungen, deren Erreger von so genannten Vektoren, d.h. anderen Lebewesen wie bspw. Insekten, übertragen werden) über verschiedene Mechanismen beeinflussen: Mücken können sich so verändern, dass sie zu neuen Vektoren werden; die Reproduktion von Vektoren kann begünstigt werden; Stürme können den Vektortransport begünstigen oder den Lebensraum für Vektoren verbessern. Bei veränderten klimatischen Bedingungen kann auch nicht ausgeschlossen werden, dass einzelne Krankheitserreger bisher nicht betroffene Arten befallen, darunter auch den Menschen. In Einzelfällen können höhere Temperaturen die Ausbreitung von Krankheitsvektoren auch vermindern (z.B. Schistosomiasis).

Als Folge der Klimaänderung ist eine Veränderung der regionalen Verbreitung und des saisonalen Auftretens von vektorübertragenen Krankheiten

möglich⁸. Bereits beobachtet worden ist die Nordwärtsausbreitung von Dengue-Fieber in Afrika und das Auftreten von West-Nile-Fieber in der Camargue. In der Schweiz ist die Ausbreitung tropischer Krankheiten (Malaria, Dengue-Fieber) jedoch eher unwahrscheinlich. Allerdings dürfte es zu einer leichten Zunahme der bisher seltenen Ansteckungen (z.B. „Flughafen-Malaria“) kommen, da die Vektoren bei wärmeren Temperaturen in unseren Breiten länger überleben können. Auch die grössere globale Verbreitung der Vektoren und die zunehmende Mobilität im Zuge der Globalisierung wird zu mehr „Importen“ führen.

Einige Erreger von Tierkrankheiten – wie z.B. Herzwurm, Piroplasmen und Leishmanien – sind bereits auf den Menschen übertragbar (Zoonosen) oder könnten es werden. Im Tierreich ist sowohl im benachbarten Ausland als auch in der Schweiz ein Trend zu vermehrten Ausbrüchen von Krankheiten, die durch exotische Vektoren übertragen werden, feststellbar. Beispiele sind die Anaplasmosose in der Schweiz im Jahr 2002 oder die Blauzungkrankheit in Italien und Frankreich.

Massnahmen

Die Beobachtung und Überwachung der Ausbreitung von Tierkrankheiten ist nötig. Die Früherkennung von Wirtewechseln kann sehr wichtig für präventive Massnahmen und die Information der Bevölkerung sein. Die Wachsamkeit gegenüber neu auftretenden Krankheiten hat sich das Bundesamt für Veterinärwesen (BVET) zum Ziel gesetzt.

Durch Zecken übertragene Krankheiten

Die Veränderung der Häufigkeit von zeckenvermittelten Krankheiten ist unklar. Die Verbreitung von Zecken weist gegen unten eine Temperaturschwelle auf, in wärmeren Gebieten begrenzt Trockenheit das Vorkommen der Zecken. Ein Temperaturanstieg beeinflusst den Aktivitätszeitraum der Zecken, eventuell die Infektionsrate und das Freizeitverhalten der Menschen. Zurzeit ist eine Zunahme der Zeckenzephalitis zu beobachten.

Eine stärkere Auswirkung als auf die exotischen Krankheiten könnte die Klimaerwärmung auf die Verbreitung bereits einheimischer Krankheiten wie die durch Zecken übertragene Borreliose (bakterielle Erkrankung) und Enzephalitis (Gehirnentzündung) haben. In der Schweiz sind in den letzten Jahrzehnten die Enzephalitisfälle angestiegen (siehe Abb. 4). Ein direkter Zusammenhang zwischen den jährlichen Schwankungen der Krankheitsfälle und der Temperatur ist allerdings nicht ersichtlich. In Österreich haben dank einem konsequenten Impfprogramm die Enzephalitisfälle in den letzten Jahren abgenommen.

Die Verbreitung der Zeckenerkrankungen hängt sowohl von der Verbreitung der Zecken als auch von der Verbreitung des Borreliosebakteriums und des Zeckenzephalitisvirus ab. Beide werden durch klimatische Faktoren beeinflusst. In der Schweiz ist die Verbreitung von Zecken unter anderem von der unteren Temperaturschwelle abhängig. Mildere Winter begünstigen die Überlebenschancen von Zecken und ihren Wirtstieren und ermöglichen es den Zecken, in höhere Lagen vorzudringen. Steigende Temperaturen beeinflussen die Ausbreitung der Krankheitserreger. So wird im Falle der Zeckenzephalitis als Folge des Anstiegs der Sommertemperaturen und der Abnahme der Feuchtigkeit mit einem

Rückgang in der Schweiz gerechnet. Dies läge nicht an einem Verschwinden der Zecken aus der Region, sondern an einem Unterbruch der Aufrechterhaltung des Virusvorkommens innerhalb der Zeckenpopulation und damit einer möglichen Übertragung auf den Menschen. Bei einer Erwärmung um 2–3 °C bis 2050 könnte die Schweiz in tieferen Lagen frei von Zeckenzephalitis werden. Diese Vorhersage widerspricht jedoch bisher dem, was momentan beobachtet wird.

Durch die Klimaänderung werden nebst der Verbreitung der Zecken und des Enzephalitisvirus bzw. der Borreliosebakterien aber auch andere Faktoren beeinflusst, die für die Verbreitung der Zeckenerkrankungen wichtig sind. Zum Beispiel werden das Freizeitverhalten und die Freizeitbekleidung der Menschen stark durch die Aussentemperatur mitbestimmt.

Massnahmen

Massnahmen gegen die Zeckenerkrankungen beinhalten die Beobachtung und Überwachung ihrer Ausbreitung. Die Daten zur Verbreitung und Übertragung der zeckenübertragenen Hirnhautentzündung sind lückenhaft, was eine Beobachtung erschwert. Die Beobachtung der laufenden Entwicklung könnte auch durch die Einführung der Meldepflicht für Borreliose verbessert werden.

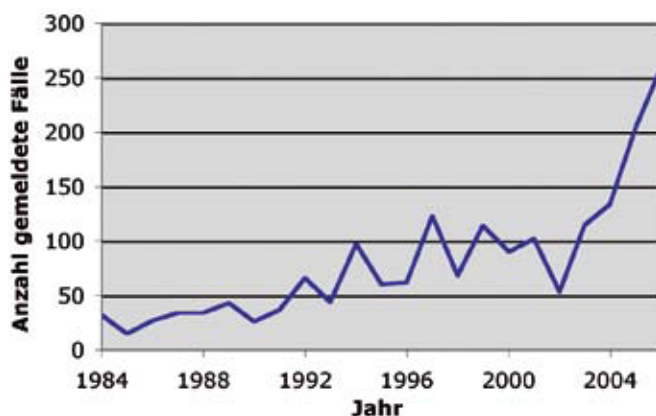


Abbildung 4: Anzahl gemeldete Fälle der zeckenübertragenen Enzephalitis (Gehirnentzündung) in der Schweiz 1984–2006. (Datenquelle: Bundesamt für Gesundheit BAG)

Literatur und Anmerkungen

- 1 Schär C., Vidale P.L., Lüthi D., Frei C., Haeberli C., Liniger M.A. and Appenzeller C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332–336.
- 2 Scherrer S.C., Appenzeller C., Liniger M.A., Schär C., 2005: European temperature distribution changes in observations and climate change scenarios. *Geophys. Res. Lett.*, 32 (L19705)
- 3 Grize L. et al.: Heat wave 2003 and mortality in Switzerland. *Swiss Medical Weekly* No.13–14, 2005.
- 4 Ramsey J. D., 1995: Task performance in heat: a review. *Ergonomics* 38(1), 154–165.
- 5 Wenzel H. G., 1985: *Klima und Arbeit*. Bayrisches Staatsministerium für Arbeit und Sozialordnung, München, 112–118.
- 6 Bundesamt für Gesundheit (Hrsg.), 2005: *Schutz bei Hitzewelle. Heisse Tage – kühle Köpfe*. Bern, BAG. (siehe auch www.Hitzewelle.ch)
- 7 OcCC, 2003: *Extremereignisse und Klimaänderung*. Bern, OcCC.
- 8 Thommen O., Ch. Braun-Fahrlander: *Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz*. Institut für Sozial- und Präventivmedizin der Universität Basel, November 2004.

Tourismus

Autoren

Hansruedi Müller, Chair
Fabian Weber
Esther Thalmann

Institut für Freizeit und Tourismus, Universität Bern
Institut für Freizeit und Tourismus, Universität Bern
Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz

Mit Beiträgen von

Bruno Abegg
Rolf Bürki
Riet Campell
Hans Elsasser
Patrick Hilber
Felix Keller
Sämi Salm
Roger Seifritz
Jürg Stettler
Mila Trombitas
Peter Vollmer

Geographisches Institut, Universität Zürich
Pädagogische Hochschule St. Gallen
Direktor Swiss Snowsports
Geographisches Institut, Universität Zürich
Präsident Schweizer Bergführerverband (SBV)
Academia Engiadina, Samedan
Tourismusdirektor Grindelwald
Tourismusdirektor Gstaad-Saanenland
Institut für Tourismuswirtschaft, Luzern
Schweizer Tourismusverband
Direktor Seilbahnen Schweiz



1. Einleitung

Einbettung

Klimatische Aspekte spielen für den Tourismus eine zentrale Rolle. Die Klimaänderung kann sowohl direkt das Verhalten der touristischen Nachfrage beeinflussen als auch die Bedingungen einer Feriendestination markant prägen. Vielerorts sind erste Folgen durch wärmere Temperaturen, höhere Schneefallgrenzen oder häufigere Wetterextreme bereits spürbar. Wie jedoch der Tourismus in der Schweiz im Jahr 2050 aussehen wird, hängt zusätzlich von zahlreichen Faktoren ab, die nicht mit der Klimaänderung in Zusammenhang stehen. So beeinflussen beispielsweise die Globalisierung, neue Technologien, kriegerische Handlungen, Gesundheitsgefährdungen oder andere Umweltveränderungen das Reiseverhalten sehr stark. Zudem passt sich die Tourismuswirtschaft laufend den neuen Herausforderungen an. All das erschwert eine Voraussage. Trotzdem soll versucht werden, mögliche Effekte des Klimawandels auf den Tourismus aufzuzeigen und zu diskutieren.

Überblick

Auswirkungen auf die verschiedenen touristischen Zonen

1) Städtetourismus

Häufigere extreme Wetterlagen können in Städten vermehrt gesundheitsschädigende Phänomene wie hohe Ozonwerte oder Feinstaubkonzentrationen zur Folge haben und dadurch der Attraktivität der Städte schaden. Andererseits können heisse Sommer zu einer vermehrten Belegung des öffentlichen Raums führen, indem mehr Leute die Sommerferien zu Hause verbringen und Aktivitäten nach draussen verlegt werden.

2) Ländlicher Tourismus

Im Winter wird die steigende Schneefallgrenze dazu führen, dass Skigebiete in den Voralpen zum Teil nicht mehr rentabel betrieben werden können. Im Sommer können Seenregionen bei vermehrt wärmeren Temperaturen vom Ausflugstourismus der städtischen Bevölkerung profitieren.

3) Alpiner Tourismus

Die Klimaänderung führt zu einer vermehrten Gefährdung der Verkehrswege im alpinen Raum, was die Erreichbarkeit der Tourismusorte

erschwert. Die abnehmende Schneesicherheit oder die erwarteten Veränderungen im Landschaftsbild, insbesondere durch den Rückzug der Gletscher, werden die Attraktivität der alpinen Tourismusgebiete stark beeinflussen. Durch Hitzeperioden im Sommer entstehen aber auch Chancen für den Bergtourismus.

Auswirkungen auf touristische Leistungsträger

1) Bergbahnen

Mit der Klimaänderung wird die Höhengrenze der Schneesicherheit weiter steigen. Der Anteil an nicht schneesicheren Skigebieten erhöht sich dadurch beträchtlich. Auch der tauende Permafrost stellt für zahlreiche Bergbahnen ein kostspieliges Risiko dar, da Fundamente von Masten und Stationen häufig im gefrorenen losen Gestein verankert sind. Auch wenn warme Sommer mit langen Schönwetterperioden zu einer erhöhten touristischen Nachfrage führen, sind die meisten Bergbahnen entscheidend auf das Wintergeschäft angewiesen, um finanziell überleben zu können. Hoch gelegene Bahnen können möglicherweise profitieren.

2) Beherbergung

Die Klimaänderung wird sich auf den Beherbergungssektor vor allem aufgrund der erwarteten Veränderungen im Wintersport auswirken. In Gebieten, wo die Schneesicherheit abnimmt, wird die Beherbergung starke Einbrüche erleiden. Andererseits wird der Druck, insbesondere auch im Zweitwohnungsbereich, in schneesicheren und gut erreichbaren Gebieten steigen. Nebst den klimatischen Veränderungen ist die Hotellerie mit zahlreichen Problemen konfrontiert, welche mit der Klimaänderung nicht in Zusammenhang stehen (Kostendruck, Rentabilität, Investitionsbedarf etc.).

3) Outdoorveranstalter

Der Rückzug der Gletscher verändert die alpine Landschaft und führt möglicherweise zu einem Attraktivitätsverlust, während der tauende Permafrost die Gefahr von Steinschlag und Felsstürzen erhöht. Ein vermehrtes Auftreten von Extremereignissen verändert die Gefahrendisposition.

Massnahmen

Verminderungs- (Mitigation) und Anpassungsstrategien (Adaptation) müssen einander ergänzen. Anpassungsmassnahmen sind zwar unabdingbar, werden aber nur dann als glaubwürdig wahrgenommen, wenn der Tourismus als Mitverursacher der Klimaänderung mithilft, deren Ursachen zu bekämpfen.

- Um die Attraktivität von Tourismusdestinationen zu erhalten, müssen die Tourismusverantwortlichen das Angebot den neuen Bedingungen anpassen. Durch neue Konzepte oder eine entsprechende Verlagerung der Schwerpunkte kann die Attraktivität einer Destination erhalten werden.
- Leistungsträger sind gefordert zusammen zu arbeiten, um ihr Angebot zu optimieren, Entwicklungs- und Anpassungsstrategien zu erarbeiten.
- Im Hinblick auf das zukünftige Überleben einer Destination müssen Tourismusträger und -verantwortliche klimatische und landschaftliche Veränderungen beobachten und in der Planung berücksichtigen.
- Der zunehmenden Gefährdung von Infrastrukturen und Aktivitätsräumen muss durch entsprechende Massnahmen begegnet werden. Raumplanung, Entwicklungsstrategien und Kommunikationskonzepte sollen die veränderten Risiken berücksichtigen.

Verknüpfung mit anderen Themen

Der Tourismus als Querschnittsphänomen hat zahlreiche Verknüpfungen mit anderen klimarelevanten Themen. Dabei sind die folgenden besonders brisant, doch sollten auch andere (z.B. Landwirtschaft) nicht ausser Acht gelassen werden:

Landökosysteme

Landschaftliche Veränderungen sind zugleich Veränderungen des touristischen Angebots. Verluste von Schutzfunktionen betreffen den Tourismus im Alpenraum in besonderem Masse.

Wasserwirtschaft

Wasserknappheit hat Auswirkungen auf die Personenschiffahrt und wassergebundene touristische Aktivitäten. Mögliche Engpässe in der Wasserversorgung bestehen für die Beschneidung im Winter.

Gesundheit

Neue gesundheitliche Gefährdungen können die Nachfrage nach Wellness verstärken. Ländliche oder alpine Räume könnten als Erholungsräume attraktiver werden.

Versicherungen

Das erhöhte Gefahrenrisiko für touristische Betriebe durch eine Häufung von Naturgefahren verteuert Versicherungsprämien.

Bauten/Infrastrukturen

Das Mobilitäts- und Reiseverhalten ist eine wichtige Einflussgrösse für den Bereich Bauten und Infrastrukturen. Veränderungen der touristischen Entwicklung wirken sich auf die Bautätigkeit (Zweitwohnungen, Anlagen etc.) aus. Die Sicherung und der Unterhalt der Verkehrswege mit baulichen Massnahmen sind für den Tourismus von grosser Bedeutung.

2. Veränderung von Angebot und Nachfrage unter Klimaaspekten

Mit der Klimaänderung verändern sich die klimatischen und naturräumlichen Bedingungen nicht nur in der Schweiz, sondern gleichzeitig auch in den Herkunftsländern. Dies führt zu Veränderungen bei Angebot und Nachfrage, was Verlagerungen der Gästeströme – auch innerhalb der Schweiz – zur Folge haben kann.

Herkunftsländer und -regionen

Mit der Klimaänderung sind Veränderungen bei den internationalen Touristenströmen zu erwarten. Während gewisse Gebiete klimatisch an Attraktivität verlieren, können sich für andere neue Chancen ergeben. Für die ausländischen Gästeströme in die Schweiz sind die Bedingungen in den Herkunftsländern von grosser Relevanz. Wenn die Temperaturen im Mittelmeerraum als Folge der Klimaänderung massiv steigen, wird die Nachfrage nach Ferien in den Bergen begünstigt. Im Sommer könnten Ferien im Alpenraum von heissen Temperaturen in Europa profitieren.

Auch innerhalb der Schweiz kann es zu Verlagerungen kommen. So ist es beispielsweise für Wintersportorte von Bedeutung, ob im Mittelland Schnee liegt und somit das Bedürfnis wächst, in die Berge zu fahren. Im Sommer könnte wiederum die Hitze im Unterland die Bewohner motivieren, die Kühle aufzusuchen.

Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass sich Bedürfnisse, Ansprüche und Erwartungen der Touristen mit dem Klimawandel verändern. Die Reisevorlieben können sich sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Dimension wandeln.

Zielländer und -destinationen

Neben wärmeren Temperaturen und einem veränderten Niederschlagsregime verändern sich mit der Klimaänderung auch die naturräumlichen Bedingungen. Veränderungen der natürlichen Bedingungen und des Landschaftsbilds werden sich direkt auf den Tourismus auswirken, auch wenn die Effekte nur schwierig abzuschätzen sind.

Die Klimaänderung beeinflusst das Angebot einer Destination auch indirekt. Mit der Veränderung der klimatischen Bedingungen ändern sich die Möglichkeiten für gewisse Aktivitäten in einer Destination. Die touristischen Leistungsträger müssen ihre Versicherungs- und Investitionsstrategien den neuen Begebenheiten anpassen, was wiederum Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt und die Wertschöpfung hat.



Abbildung 1: Der Gletscherückgang, der bereits im 19. Jahrhundert einsetzte, hatte zunächst vorwiegend natürliche Ursachen. Die durch den Menschen beschleunigte Erwärmung dominiert seit Mitte des 20. Jahrhunderts den fort-dauernden Eisverlust der Alpengletscher.

a) Unterer Grindelwaldgletscher 1858 (Fotografiert von Frédéric Martens, 1809-1875, Alpine Club Library London; Fotografie: Heinz J. Zumbühl)

b) Unterer Grindelwaldgletscher 1974 (Fotografie: Heinz J. Zumbühl). Der Pfeil sowie das eingeschobene Bild zeigen Standort und Zustand der Gletscherfront 2006 (Fotografie: Samuel U. Nussbaumer)

3. Auswirkungen der Klimaänderung auf das natürliche touristische Angebot

Die Klimaänderung hat weitreichende Auswirkungen auf den Tourismus als Folge der abnehmenden Schneesicherheit, des veränderten Landschaftsbildes und der zunehmenden Gefährdung von Infrastrukturen (Verkehrswege, Transportanlagen).

Sinkende Schneesicherheit

Bis ins Jahr 2050 wird die Schneegrenze voraussichtlich um bis zu 350 m ansteigen. Mit wärmeren Temperaturen werden sowohl die Dauer der Schneebedeckung als auch die Tage mit Schneefall in tieferen Lagen abnehmen. Dies stellt für viele Skigebiete die direkteste und grösste Herausforderung dar. Vor allem tiefgelegene Stationen werden im Jahr 2050 kaum mehr genügend Schnee haben, um den Skibetrieb aufrecht zu erhalten (vgl. Abschnitt 4). Mit der erwarteten Zunahme der Winterniederschläge (vgl. Kapitel Grundlagen) werden hingegen die Schneemengen in Lagen über 2000 m zunehmen, was unter Umständen häufiger zu gefährlichen Lawinensituationen führen kann.

Gletscherschwund

Durch den starken Rückgang der Gletscher (Abb. 1) verändert sich die alpine Landschaft markant und damit möglicherweise auch deren touristische Attraktivität. Bis zum Jahre 2050 wird die Gletscherfläche in den Alpen im Vergleich zur Referenzperiode 1971–1990 vermutlich um rund drei Viertel abnehmen (vgl. Kapitel Grundlagen, Abschnitt 3). Einige Tourismusorte haben bereits Probleme, insbesondere wenn Gletscher für Aktivitäten wie Skifahren, Gletscherwanderungen oder Ice-Tubing genutzt werden. Der Unterhalt von Gletschergrotten wird schwieriger und teurer. Massnahmen wie das Abdecken von Gletscherpartien mit Schutzfolien gegen das Abschmelzen werden den Rückgang nicht stoppen können.

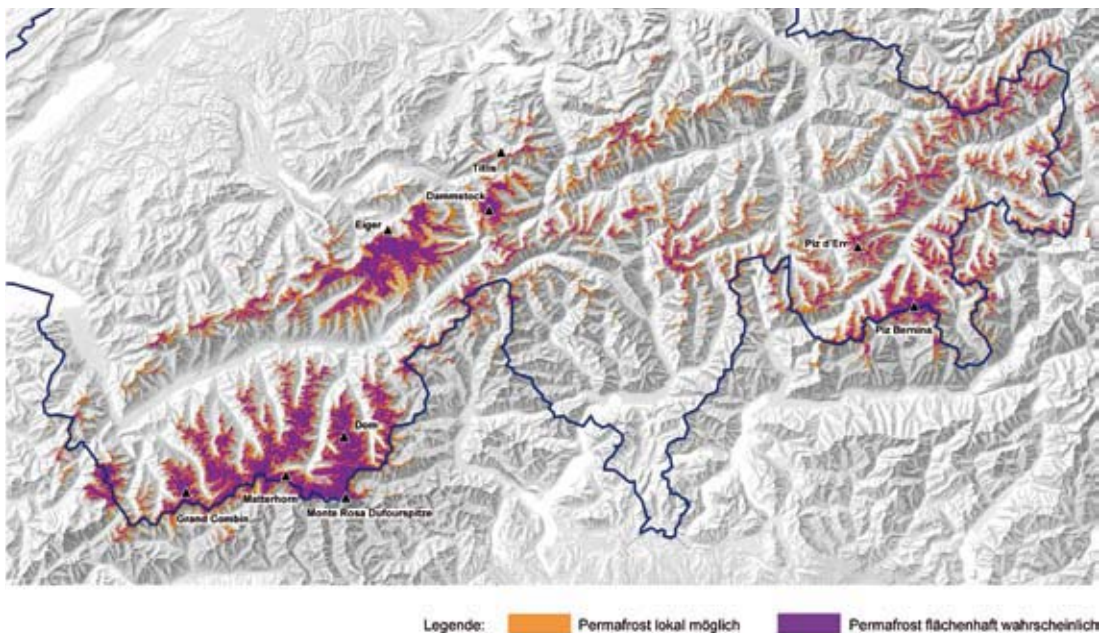


Abbildung 2: Potenzielle Permafrostverbreitung aufgrund von Modellierungen mit dem DHM25. Rund 15% des schweizerischen Alpenraumes oder 4–6% der Landesflächen befinden sich im Permafrostbereich. (Quelle: Bundesamt für Umwelt BAFU 7/06)

Auftauender Permafrost

Das Auftauen des Permafrosts führt zu instabileren Bodenverhältnissen. Betroffen sind vor allem das Engadin, das Wallis, die Berner Alpen und das Tödi-Gebiet (siehe Abb. 2). Probleme sind insbesondere dort zu erwarten, wo Infrastrukturen wie Lawinverbauungen oder Masten von Bergbahnen

in Permafrostböden verankert sind.¹ Auch die Gefahr von Steinschlag und Hangrutschungen wird durch den tauenden Permafrost erhöht. Von der Gefährdung durch Steinschlag ist insbesondere der Alpinismus (Wander-, Bergtour- und Kletterrouten) betroffen. Siedlungen sind durch diese Prozesse kaum gefährdet.

Extremereignisse

Vieles deutet darauf hin, dass extreme Wetterereignisse zunehmen werden. Da der Tourismus stark vom Wetter abhängig ist, sind die Auswirkungen markant:

Hitzeperioden

Hitzeperioden beeinträchtigen den Wasserhaushalt massiv und wirken sich auch auf die Landschaft und die Vegetation aus. Mit häufigeren Hitzeperioden bietet sich dem alpinen Tourismus allerdings auch eine Chance: Die etwas kühlere Bergluft (Sommerfrische) könnte die Alpen als Feriendestination interessanter machen, insbesondere wenn Konkurrenzräume wie das Mittelmeer durch die steigenden Temperaturen an Attraktivität verlieren. Der Hitzesommer 2003 beispielsweise hat zu einer starken Belegung des Tagestourismus in den Alpen geführt.

Trockenperioden

Geringere Niederschläge im Sommer in Kombination mit höheren Temperaturen führen zu häufigeren Trockenperioden. Aus touristischer Sicht können davon Aktivitäten wie Baden in Flüssen und Seen, Fischen, Kajakfahren

oder River-Rafting sowie die Personenschiffahrt betroffen sein. Wenn sich die Speicher bis im Winter nicht wieder genügend füllen, kann die Wasserknappheit zu Versorgungsproblemen für die Beschneigungsanlagen führen.

Niederschlagsextreme

Die erwartete Zunahme bei den Niederschlagsextremen wird sich auf die Häufigkeit und Heftigkeit von Hochwassern, Rutschungen, Murgängen und Steinschlägen auswirken (siehe Abb. 3). Viele Verkehrswege sind einer solchen Gefährdung ausgesetzt. Wenn in Zukunft häufiger Strassen gesperrt werden müssten, wäre dies besonders einschneidend, da die Erreichbarkeit eines Ortes aus Sicht des Tourismus zentral ist. Für die touristischen Leistungsträger führt dies zu mehr Aufwand für die Gewährleistung der Sicherheit.

Landschaftliche Veränderungen

Insbesondere in hochalpinen Landschaften werden die wärmeren Temperaturen ihre Spuren hinterlassen. Viele Landschaftsphänomene wie beispielsweise Gletscher, Vegetation oder Boden werden in Zukunft grosse Änderungen erfahren. Flora und Fauna werden sich den veränderten



Abbildung 3: Während der Unwetter im Sommer 2005 ereigneten sich in Brienz zwei Murgänge (im Bild Murgang am Glyssibach). Nebst den finanziellen Schäden waren auch zwei Menschenleben zu beklagen. (Quelle: Schweizer Luftwaffe)

Bedingungen anpassen, wobei zu beachten ist, dass gewisse natürliche Prozesse wie der Waldwuchs nur sehr langsam vor sich gehen und deshalb erst mit einer starken zeitlichen Verzögerung

auftreten (vgl. Kapitel Landökosysteme, Abschnitt 2). Diese Veränderungen können für den Tourismus sowohl eine Chance als auch ein Risiko bedeuten.

Attraktivitätsveränderungen im Val Morteratsch und Val Roseg bei Pontresina (2005 – 2100)

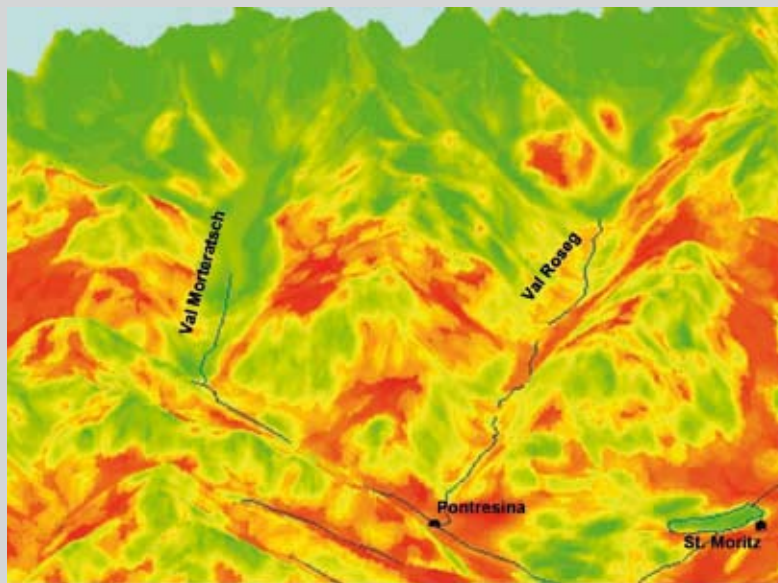
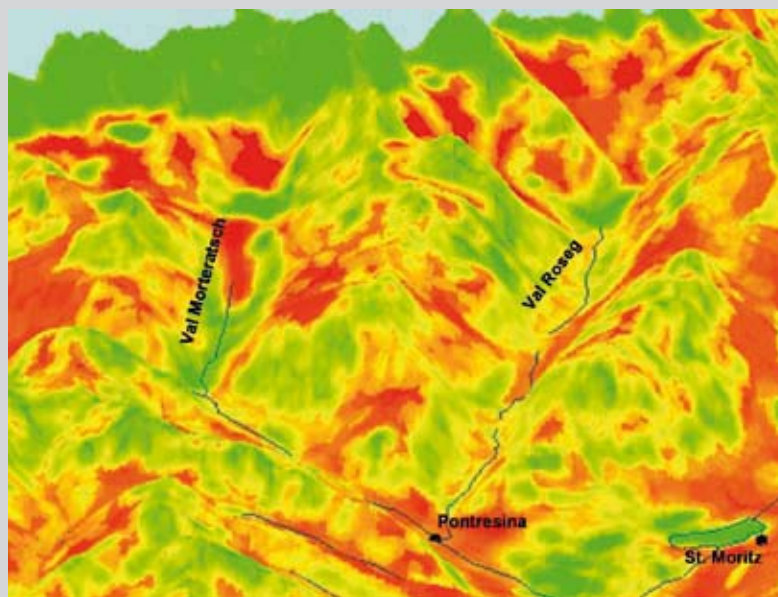


Abbildung 4:
Die im GISALP berechnete indizierte Landschaftsattraktivität im Jahr 2005 (oben, 4a) und 2100 (unten, 4b) nach einer Klimaerwärmung von +3 °C.

a) Gletscherflächen, Seen und abwechslungsreiche Gebiete haben bei guter Einsehbarkeit eine hohe berechnete Landschaftsattraktivität (grün). Siedlungsgebiete und Flächen mit geringer Formenvielfalt und geringerer Sichtbarkeit sind gemäss Rechenmodell weniger attraktiv (rot).



b) In den vom Gletscher freigegebenen Flächen im Val Roseg und Val Morteratsch dominieren Flächen mit Schutt. Zwei neue Seen im Vorfeld des Morteratschgletschers führen zu neuen Landschaftsattraktionen. In gewissen Gebieten erhöht sich damit die Landschaftsattraktivität, während sie gesamthaft gesehen im Hochgebirge massiv abnimmt.

(Grafik: Ch. Rothenbühler, Academia Engiadina)

Die Landschaftsattraktivität des Hochgebirges nimmt infolge der hauptsächlich durch schmelzende Gletscher entstandene Schuttflächen generell ab. Zwar können auch Flächen mit zunehmender Landschaftsattraktivität entstehen, doch sind sie zahlenmässig stark untervertreten.

4. Auswirkungen der Klimaänderung auf den Tourismus in der Schweiz

Der Tourismus ist mit 3.4% des BIP für die Schweiz von grosser Bedeutung. Aufgrund der erwarteten Auswirkungen der Klimaänderung und der wirtschaftlichen Verletzlichkeit einiger Destinationen sind beim alpinen Tourismus die stärksten Veränderungen zu erwarten.

Der Tourismus in der Schweiz

Es ist unbestritten: Der Tourismus ist ein wichtiger Wirtschaftszweig der Schweiz. Die direkte touristische Bruttowertschöpfung (zu laufenden Preisen, 1998) beträgt 12.9 Mrd. Franken, was 3.4% des BIP entspricht. Die direkt ausgelöste, vollzeitäquivalente Beschäftigung beträgt 165'500 Beschäftigte (VZÄ) und entspricht einem direkten Tourismusanteil an der gesamten vollzeitäquivalenten Beschäftigung der Schweiz von 5.2%. Dieser im Vergleich zur Wertschöpfungswirkung deutlich höhere Anteil ist auf das tiefere Niveau der Arbeitsproduktivität zurückzuführen. Der Anteil der wichtigsten Wirtschaftsbranchen an der touristischen Wertschöpfung teilt sich wie folgt auf: Beherbergung (31%), Gaststättengewerbe (14%), Passagierverkehr (20%) und Reisebüros/Tour Operators (9%).²

Im Jahr 2005 verzeichneten Hotel- und Kurbetriebe der Schweiz 13.8 Mio. Ankünfte und 32.9 Mio. Logiernächte. In Hotellerie und Parahotellerie wurden im Jahr 2003 insgesamt 65 Mio. Übernachtungen registriert. 56% davon fielen auf Schweizer Gäste. Der grösste Teil der ausländischen Gäste kommt aus Deutschland (18%), aus Grossbritannien (4%), aus den Niederlanden (4%), Frankreich (3%) und den USA (3%).

46% der Übernachtungen fallen auf den Winter und 54% auf den Sommer, wobei der Winter dank dem Wintersport deutlich umsatzstärker ist.³

Auswirkungen auf touristische Zonen

Grundsätzlich können in der Schweiz drei touristische Zonen unterschieden werden: Der Städtetourismus, der ländliche Tourismus sowie der alpine Tourismus. Die Tourismusstatistik weist Bergkurorte (Orte über 1000 m ü.M.), Seezonen (Orte mit Seeanstoss) sowie grosse Städte (Basel, Bern, Genf, Lausanne und Zürich) speziell aus. Auf die Bergkurorte fallen 39.1% der Hotellogiernächte, in der Seezone sind es 19.9% und in den grossen Städten 17.6% (2003). Die restlichen 23.4% fallen auf die übrigen eher ländlichen Zonen. 60.9% der Hotellogiernächte werden im Alpenraum generiert, 34.6% im Mittelland und 4.8% im Jura.³ Bei der Beschreibung möglicher Auswirkungen der Klimaänderung auf die verschiedenen tou-

ristischen Zonen der Schweiz steht der alpine Tourismus im Vordergrund.

Städtetourismus

Die fünf grössten Städte generierten 2003 beinahe einen Fünftel der Hotellogiernächte in der Schweiz.³ Der Anteil der ausländischen Gäste liegt bei 76.4%. Neben dem Geschäftstourismus spielt der Kurzaufenthalts- und Kulturtourismus in den Städten eine wichtige Rolle. Die Städte sind aufgrund ihrer anthropogenen Umwelt weniger anfällig auf sichtbare Veränderungen des Klimawandels. Trotzdem werden touristische Auswirkungen auch in den Städten spürbar sein. Die Städte sind nicht vor Naturgefahren, insbesondere Überschwemmungen, gefeit. Allerdings sind selten ganze Städte betroffen. In der Regel werden solche Ereignisse in Städten als weniger bedrohlich wahrgenommen als auf dem Land. Mit häufigeren extremen Wetterlagen könnten vermehrt gesundheitsschädigende Phänomene wie hohe Ozon- oder Feinstaubkonzentrationen auftreten. Hohe Temperaturen und mehr Hitzewellen können dazu führen, dass die Städter vermehrt Ausflüge aufs Land oder in die Berge unternehmen.

Andererseits können die heissen Sommer dazu führen, dass die städtischen Bewohner ihre Aktivitäten vermehrt nach draussen verlagern. Dadurch wird der öffentliche Raum belebt und das städtische Bild attraktiver (Mediterranisierung). Vielleicht verbringen dadurch mehr Leute die Sommerferien zu Hause oder verschieben ihre Hauptferien auf die Neben- oder Wintersaison. In Bezug auf das Reiseverhalten ausländischer Besucher wird sich eine Erhöhung der Temperaturen in den Schweizer Städten eher positiv auswirken.

Ländlicher Tourismus

Das Mittelland registriert 34.6% aller Hotelübernachtungen der Schweiz, wobei ein Grossteil davon auf die Städte fällt.³ Der ländliche Tourismus im Mittelland kann untergliedert werden in die Seenregionen und die voralpinen Gebiete. Das Landschaftsbild im Mittelland ist primär landwirtschaftlich geprägt, so dass nicht gleich starke Veränderungen zu erwar-

ten sind wie im Hochgebirge. Die Seenregionen könnten aufgrund ihrer Nähe zu den grossen Agglomerationen bei wärmeren Temperaturen vom vermehrten Ausflugstourismus profitieren. Für die Skigebiete der Voralpen wird die höhere Schneefallgrenze zur grossen Herausforderung. Die schon heute schneearmen Gebiete werden nicht rentabel betrieben werden können. Sie werden sich auf neue Angebote ausrichten müssen. Im Sommer hingegen könnten sie Nutzniesser werden von mehr Tages- und Kurzausflügen der städtischen Bevölkerung.

Alpiner Tourismus

Der Tourismus ist in den Schweizer Alpen vielerorts der wichtigste Arbeitgeber. In einigen Tourismusdestinationen beträgt die touristische Wertschöpfung über 80% am regionalen BIP. Mit der enormen wirtschaftlichen Bedeutung geht auch eine hohe Verletzlichkeit des Wirtschaftszweigs im Alpenraum einher. Einige Auswirkungen der Klimaänderung sind bereits heute deutlich spürbar (siehe Abb. 5 und 6) und werden den Tourismus im Alpenraum in Zukunft vor grosse Herausforderungen stellen. Veränderte Bedingungen im ursprünglichen (natürliche Faktoren, allgemeine Infrastruktur) und abgeleiteten Angebot (touristische Infrastruktur und



Abbildung 5 (links): In Bewegung geratener Hang am Mettenberg bei Grindelwald. Dem Rutsch fiel auch die Stiereggghütte (s. roter Kreis) zum Opfer.

(Quelle: H.R. Keusen, Geotest AG)

Abbildung 6 (unten): Touristische Nutzung an prekärer Lage: Die Stiereggghütte am Mettenberg (s. Abb. 5) steht heute nicht mehr. Aufnahme: Sommer 2005

(Quelle: H.R. Keusen, Geotest AG)





Abbildung 7:
Engelberg Zentralbahn,
Unwetter 2005.
(Quelle: Schweizer Luft-
waffe)

Attraktionen) wirken sich auf alle touristischen Leistungsträger einer Destination aus.⁴

Was die allgemeine Infrastruktur alpiner Ferienorte betrifft, so ist mit häufiger unterbrochenen oder gesperrten Verkehrswegen zu rechnen (siehe Abb. 7). Die Erreichbarkeit, die für den Tourismus zentral ist, könnte damit entscheidend beeinträchtigt werden. Die Gefährdung der sensiblen Verkehrswege könnte zunehmen und das Unfallrisiko steigen. Die Sicherung der Verkehrswege und anderer Infrastrukturen vor Naturgefahren ist aufwändig und teuer. Im Vergleich zu Ereignissen in Ferndestinationen (z.B. Wirbelstürme) sind die in der Schweiz meist punktuell auftretenden Naturgefahren (Lawinen, Murgänge) besser einschätzbar. Zudem stehen mehr Mittel zum Schutz und zur Bewältigung von Ereignissen zur Verfügung, so dass dem Alpenraum aus der Bedrohung in Bezug auf die Sicherheit wohl kaum ein entscheidender komparativer Nachteil erwächst.

Die Veränderungen im Landschaftsbild, welche mit dem Klimawandel erwartet werden, beeinflussen die Attraktivität einer Destination stark. Auch das touristische Angebot wird sich wandeln. Alle Leistungsträger einer Destination stehen in engen Wechselbeziehungen und sind deshalb von veränderten Bedingungen im Tourismus betroffen. Es ist zu erwarten, dass in den Alpen die Bergbahnen und Transportbetriebe die klimatischen Veränderungen am stärksten zu spüren bekommen. Aber auch der Beherbergungssektor (Hotellerie und Parahotellerie) und das erweiterte touristische

Angebot (Outdoorveranstaltungen) werden von den Auswirkungen direkt oder indirekt betroffen sein.

Auswirkungen auf touristische Leistungsträger Bergbahnen

Das Wirtschaftswunder der Nachkriegszeit und die Entwicklung leistungsfähiger Pendel- und Gondelbahnen führten dazu, dass Skifahren zum Volkssport wurde. Heute gibt es in der Schweiz rund 1790 Bergbahnen: 12 Zahnrad-, 58 Standseil-, 216 Pendel-, 120 Gondel- und 314 Sesselbahnen sowie 1070 Skilifte. Die Bergbahnen nehmen in der touristischen Wertschöpfungskette eine zentrale Stellung ein. Oft sind Seilbahnen der treibende Faktor in den touristischen Destinationen und induzieren somit indirekt Wertschöpfung auch in andere Leistungsträger (z.B. Hotellerie, Gastronomie, Detailhandel). Die Bergbahnen bieten über 4700 Vollzeitstellen, die wiederum auf über 11'000 Arbeitsplätze aufgeteilt sind (Voll- und Teilzeitstellen).

Die schneearmen Winter seit den 80er Jahren führten bei Bergbahnunternehmen in bestimmten Gebieten zu starken Rückgängen.⁵ Die steigende Schneegrenze wird auch in Zukunft für viele Bergbahnbetreiber eine grosse Herausforderung darstellen. Vor allem tief gelegene Skigebiete werden tendenziell weniger schneesicher. Eine Verschiebung der Höhengrenze erhöht den Anteil an nicht schneesicheren Skigebieten in der Schweiz beträchtlich. In der Schweiz gelten heute gemäss einer OECD-Studie 97% der Skigebiete als schneesicher⁶, wobei als schneesicher gilt, wenn in min-

Möglichkeiten der Beschneigung

Mit steigenden Schneegrenzen und gleichzeitig steigenden Ansprüchen der Wintersportler an die Schneesicherheit ihrer Feriendestination wird in vielen Wintersportgebieten immer mehr in die künstliche Beschneigung investiert. Um künstlich beschneien zu können, müssen gewisse meteorologische Bedingungen erfüllt sein. Die künstliche Beschneigung funktioniert erst effizient bei Lufttemperaturen von minus 2 °C abwärts,⁶ weniger als 80% Luftfeuchtigkeit und einer Wassertemperatur von maximal 2 °C. Um auch bei höheren Temperaturen beschneien zu können, kommen öfters Schneezusätze zum Einsatz. Der Energieverbrauch wie auch der Wasserverbrauch der Anlagen ist relativ hoch, hängt jedoch vom gewählten technischen System, dem Standort, der Wasserbeschaffung und den Klimabedingungen ab. Zudem fallen hohe Kosten für die Infrastruktur und den Betrieb der Anlagen an.⁸

Technische Massnahmen werden den fehlenden Schnee nur bedingt ersetzen können und das Beschneien wird bei wärmeren Temperaturen seltener möglich sein. Während die Entwicklung auf dem Energiemarkt schwierig abzuschätzen ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Ressource Wasser in Zukunft wertvoller wird. Wasserknappheit kann für jene Wintersportorte zum Problem werden, welche stark von Beschneiungsanlagen abhängig sind. Die Schneelage wird weitere Investitionen in Anlagen erfordern, aber auch in die Erstellung von Staubecken oder die Pflege von Drainagesystemen. Für die Bergbahnen bedeuten daher Schneeknappheit und erhöhtes Gefahrenpotenzial stark steigende Kosten. Beim künstlich erzeugten Schnee können diese Kosten kaum vollständig auf den Preis übertragen werden, denn Schneesicherheit kommt einer Versicherungsleistung gleich, die lediglich komparative Nachteile behebt und keine zusätzliche Attraktion darstellt.

destens 7 von 10 Wintern vom 1.12. bis 15.4. an mindestens 100 Tagen eine für den Schneesport ausreichende Schneedecke von mindestens 30 cm liegt. Die Studie berücksichtigt Skigebiete mit mindestens drei Transportangeboten und 5 km Pistenlänge. Tiefgelegene Skigebiete im Jura werden ausgeklammert. Aufgrund dieser Kriterien erfasst die Studie im Vergleich zu früheren Untersuchungen^{5,7} eine geringere Anzahl von Skigebieten, welche höher gelegen und daher gegenüber Änderungen der Schneesicherheit weniger empfindlich sind. Bei einer Verschiebung der Höhengrenze der Schneesicherheit um 300 m, wie sie bis ins Jahr

2050 erwartet wird, wären noch 79% der Skigebiete schneesicher. Insbesondere der Skitourismus in den Waadtländer und Freiburger Alpen, im Tessin sowie in der Zentral- und Ostschweiz ist gefährdet, wo bis Mitte des 21. Jahrhunderts nur noch rund 50 – 60% der Skigebiete schneesicher sein werden. Weniger betroffen sind die Skigebiete im Wallis und in Graubünden (siehe Tabelle 1). Im Vergleich zur Schweiz werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Skigebiete der Alpenländer Frankreich, Italien, Österreich und Deutschland noch drastischer ausfallen.⁶

Tabelle 1: Schneesicherheit der Schweizer Skigebiete unter gegenwärtigen und zukünftigen klimatischen Bedingungen. (Quelle: Abegg et al. 2007)⁶

Region	Anzahl Skigebiete	Schneesicherheit			
		heute	+1°C ^{a)}	+2 °C ^{a)}	+4 °C ^{a)}
Alpen VD+FR	17	100%	65%	53%	6%
Berner Oberland	26	96%	85%	62%	12%
Zentralschweiz	20	90%	75%	55%	20%
Ostschweiz	12	83%	58%	58%	8%
Graubünden	36	100%	97%	97%	83%
Wallis	49	100%	100%	100%	80%
Tessin	4	100%	75%	50%	0%
Schweiz	164	97%	87%	79%	49%

a) Zeithorizont: +1°C: ca. 2020er Jahre; +2°C: ca. 2050; +4°C: gegen Ende des Jahrhunderts

Der Klimawandel wird sich nicht nur auf die Schneesicherheit auswirken, sondern auch auf die Nachfrage nach Wintersportangeboten. Mittelfristig kann bei den jüngeren Generationen das Interesse am Skisport abnehmen, da den Kindern die Gelegenheit fehlt, bereits in frühen Jahren in der nahen Umgebung das Skifahren zu erlernen. Bereits heute stagniert die Anzahl der Skifahrer in der Schweiz, wobei dies nur am Rande auf die klimatischen Veränderungen zurückzuführen ist.

Das Schmelzen der Gletscher bedeutet für viele Wintersportgebiete nicht nur den Verlust einer wichtigen Attraktion, sondern – vor allem im Sommer – auch eine Einschränkung des Angebots von Gletscheraktivitäten. Eine weitere Bedrohung stellt sich bestimmten Bergbahnen mit dem auftauenden Permafrost. In Permafrostböden verankerte Infrastrukturen können durch die Temperaturschwankungen destabilisiert werden. Da teilweise Fundamente von Masten und Stationen der Bergbahnen sowie von Lawinenverbauungen im gefrorenen losen Gestein verankert sind, steigt die Notwendigkeit, die Fundamente kostspielig zu erneuern. Durch das Auftauen der Permafrostböden nimmt auch das Risiko von Steinschlag, Rutschungen und Murgängen zu, was wiederum erhöhte Investitionen in die Sicherheit zur Folge hat und zudem zu einem Anstieg der Betriebsunterbrüche führen könnte.

In warmen Sommern mit langen Schönwetterperioden können die Bergbahnen hingegen von der Zunahme des mobilitätsintensiven Tages- und Kurzaufenthalts-tourismus profitieren. Mit einer entsprechenden Ausrichtung könnten bestimmte für die Bergbahnen interessante Sportarten wie das Mountainbiking an Bedeutung gewinnen oder gar neue Aktivitätsangebote geschaffen werden. Allerdings gelingt es nur wenigen Bergbahnen, das Sommergeschäft zu rentabilisieren. Ohne einen „guten“ Winter sind sie finanziell nicht überlebensfähig.

Beherbergung

Die Anzahl Hotelbetriebe hat in den letzten Jahren von 6300 (1992) auf 5600 (2003) abgenommen. Die Bettenzahl ist in der gleichen Periode von 261'900 auf 258'700 nur leicht gesunken. Auch wenn gewisse Konzentrationsprozesse im Gang sind, dominieren in der Schweiz weiterhin die kleinen Hotels. Die wirtschaft-

liche Situation der Schweizer Hotellerie zeigt kein erfreuliches Bild. Die Rentabilität ist oft ungenügend, der Fremdkapitalanteil hoch und der Investitionsbedarf gross. Auch die Hotellogiernächte haben sich zwischen 1992 und 2003 von 36 Mio. um rund 14% auf 31 Mio. zurück entwickelt. Während die Anzahl Gästekünfte in dieser Zeit leicht stieg, verkürzte sich die durchschnittliche Aufenthaltsdauer stark. Der boomende Zweitwohnungstourismus wurde zu einem zentralen Konkurrenten für die Alpenhotellerie. Die vielseitigen Probleme der Schweizer Hotellerie stehen in den wenigsten Fällen mit der Klimaänderung in direktem Zusammenhang.

Während die Hotellerie rund 260'000 Betten anbietet, stehen in Ferien- und Zweitwohnungen rund 1.2 Mio. Betten zur Verfügung. Weitere rund 430'000 Betten und Schlafstellen werden in Gruppenunterkünften, Jugendherbergen und auf Campingplätzen angeboten. Der Alpenraum ist eine beliebte Region für Zweit- und Ferienwohnungen. Die Zahl der Zweitwohnungen ist in den letzten Jahren enorm gestiegen, was verschiedene Probleme mit sich gebracht hat (auf Spitzenbelastungen ausgerichtete Infrastruktur, Zersiedelung, schlechte Auslastung, Preissteigerungen für Einheimische etc.). Ungefähr zwei Drittel der ca. 300'000 Zweit- und Ferienwohnungen in der Schweiz sind Zweitwohnungen, die nur wenige Wochen im Jahr besetzt, jedoch während dem ganzen Winter beheizt werden. Sie tragen somit wesentlich zum klimarelevanten Ausstoss von CO₂ bei. Trotz einer voraussichtlichen Abnahme der Heizgradtage von 98 (2004) auf 85 (2050), wird der Energieverbrauch weiterhin zunehmen. Im Sommer entsteht zudem zusätzlicher Kühlbedarf (vgl. Kapitel Energie, Abschnitt 2).

Im Beherbergungssektor wird sich die Klimaänderung insbesondere aufgrund der Veränderungen im Wintersport auswirken. Wo der Wintersport als Katalysator wegfällt, wird die Beherbergung starke Einbrüche erleiden. Hingegen wird der Siedlungsdruck an Vorzugsstandorten zunehmen, und damit auch die Mobilität weiterhin steigen. Da die Lex Friedrich (Bewilligungen für den Grundstückerwerb durch Ausländer) aufgehoben wird, versuchen einzelne Regionen mit neuen Massnahmen, den Bau neuer Wohnungen einzuschränken. Die Dynamik im Zweitwohnungsmarkt ist durch viele

Einflussfaktoren geprägt, wobei das Klima bisher eher eine untergeordnete Rolle spielte.

Veränderungen im touristischen Angebot und in der Landschaft werden die Attraktivität einer Destination und damit die Immobilienpreise beeinflussen. Mit der Zunahme der Gefährdung durch Naturgefahren im Alpenraum nimmt das Konfliktpotenzial bei Neuerschliessungen zu. Der Druck auf schneesichere und gut erreichbare Gebiete wird steigen. Aufgrund der erhöhten Risiken werden Versicherungsprämien und Bankkredite tendenziell teurer⁹ (vgl. Kapitel Versicherungen, Abschnitt 4). Insgesamt wird an gewissen Orten trotz einer Zunahme der touristischen Betten die touristische Wertschöpfung abnehmen. Wenn saisonale und räumliche Verlagerungseffekte der Touristenströme auftreten, bekommt dies auch die Beherbergung zu spüren, jedoch vermutlich nicht im gleichen Ausmass wie vom Tagestourismus abhängige Betriebe. Wo aufgrund der Schneelage das attraktive und wertschöpfungsstarke Wintergeschäft einbricht, werden viele Hotels schliessen müssen.

Outdoorveranstalter

Wandern und Alpinismus sind als Freizeitvergnügen seit vielen Jahren sehr beliebt und erle-

ben zurzeit einen Boom. Zudem sind mit Carving, Snowboarding, Schneeschuhlaufen, Mountainbiking, Nordic Walking, Gleitschirmfliegen usw. laufend neue Outdoorsportarten hinzugekommen.

Die alpine Landschaft ist stark vom Klima geprägt. Die Veränderung des Klimas führt nicht nur zu einem Attraktivitätsverlust, sondern erhöht auch die Gefahr von Steinschlag und Felsstürzen als Folge des auftauenden Permafrosts. Vermehrte Extremereignisse beeinflussen zudem die Gefahrendispositionen auf den Gewässern, was für Sportarten wie Kajakfahren oder Canyoning von Bedeutung sein kann. Mit der Häufung von Wetterextremen steigt das Risiko für alle Outdoorsportarten. Gleichzeitig erhöht sich mit wärmeren und niederschlagsärmeren Sommern die Attraktivität fürs Wandern oder für Bade- und andere Wasseraktivitäten wie beispielsweise Kitesurfen.

Die Outdoorveranstalter werden sich auf veränderte naturräumliche Bedingungen mit angepassten Angeboten einstellen müssen. Die Berücksichtigung der Gefahrendispositionen und entsprechende Investitionen in die Sicherheit werden eine zunehmende Bedeutung erhalten.

5. Strategien und Massnahmen

Der Tourismus muss sich den durch die Klimaänderung verursachten Auswirkungen anpassen. Die Anpassung und Diversifikation des Angebots sowie technische und organisatorische Massnahmen können negative Folgen mildern und neue Chancen bieten. Als Mitverursacher der Klimaänderung ist der Tourismus jedoch gleichzeitig gefordert, die Treibhausgasemissionen zu vermindern.

Der Tourismus ist nicht nur Betroffener, sondern auch ein wichtiger Mitverursacher der Klimaänderung. Insbesondere der Individualreiseverkehr trägt wesentlich zur Emission von klimawirksamen Gasen bei. Mit der verbesserten Erschliessung, der steigenden Motorisierung und der zunehmenden Mobilitätsbereitschaft nach dem zweiten Weltkrieg hat der Verkehr in den Alpen stark zugenommen. Ebenso wächst der mobilitätsintensive Kurzzeit- und Zweitwohnungstourismus. Neben den Verkehrsemissionen haben auch die Heiz- und zunehmend auch die Kühlenergie der touristischen Beherbergung ihren Anteil am touri-

stisch bedingten Ausstoss von Treibhausgasen. Insbesondere die Zweitwohnungen fallen dabei ins Gewicht.

Deshalb haben Massnahmen zur Verminderung der Emissionen Priorität: Förderung des öffentlichen Verkehrs, konsequente Anwendung des Verursacherprinzips (z.B. zur Förderung schadstoffarmer Fahrzeuge), ein verbessertes Verkehrsmanagement, Reduktion der Emissionen von Heizanlagen touristischer Beherbergung, Kompensation von klimawirksamen Emissionen etc. Gleichzeitig muss sich der Tourismus den mit der Klimaänderung eintretenden veränderten Bedingungen anpassen.

Förderung von Innovation und Diversifikation

Die Tourismusverantwortlichen sind gefordert, ihr Angebot den neuen Bedingungen anzupassen und koordinierte, umfassende Konzepte zu erarbeiten, da jeder einzelne Leistungsträger zur Attraktivität der Destination beiträgt:

- Angebot diversifizieren, auf neue touristische Aktivitäten einstellen respektive Schwerpunkte verlagern
- Saison mittels entsprechender Angebote verlängern (zeitliche Expansion)
- Bereits erschlossene hochgelegene Gebiete gezielt fördern, um die Schneesicherheit zu erhöhen (räumliche Expansion)
- Verständnis von Wellness in Bezug auf Luft, Höhenlage, Licht, Ernährung und Kultur (Alpine Wellness) erweitern
- Aktiv gestalteter Rückzug vom (Ski-)Tourismus, beispielsweise durch Stilllegungsentschädigungen (managed retreat), Diversifikation in andere Wirtschaftssektoren

Verstärkung der Gefahrenabwehr und der technischen Massnahmen

Infrastrukturen und Aktivitätsräume müssen vor neuen und teilweise zunehmenden Gefährdungen geschützt werden:

- Biologische Massnahmen wie Aufforstungen unterstützen
- Landschaftliche Veränderungen lenken, Schutz- und Freihaltezonen einrichten
- Fundamente von Anlagen erneuern und vor Naturgefahren sichern
- Infrastrukturen vor Lawinen, Steinschlag, Rutschungen und Murgängen schützen
- Effektivität von Beschneiungsanlagen erhöhen
- Pisten gezielt beschneien, Stauseen erstellen, Gletscher ggf. abdecken etc.

Risikoverminderung durch organisatorische Massnahmen

Im Hinblick auf neue Herausforderungen sind Kooperationen oder auch Fusionen zwischen den Leistungsträgern zu intensivieren und gemeinsam Anpassungsstrategien zu entwickeln:

- Bergbahngesellschaften fusionieren und Kompensationsstilllegungen zur Optimierung der Skigebiete durchführen, Skigebiete zusammenschliessen
- Gemeinsam Destinationsentwicklungsstrategie erarbeiten
- Gefahrenzonenpläne erstellen respektive anpassen (raumplanerische Massnahmen)
- Evakuierungs- und Kommunikationskonzepte erstellen
- Bevölkerung und Touristen offen informieren und für Klimafragen sensibilisieren

Intensivierung der Forschung und Schliessen von Wissenslücken

Viele mögliche Auswirkungen und insbesondere die Wechselwirkungen zwischen verschiedenen für den Tourismus relevanten Faktoren sind bisher noch unklar. Die Entwicklungen sind im Auge zu behalten und neue Erkenntnisse der Forschung sind zu berücksichtigen:

- Entwicklungen vor Ort beobachten und Handlungsbedarf frühzeitig erkennen
- Veränderungen im Reiseverhalten der Touristen verfolgen und Angebote entsprechend anpassen
- Bevölkerung über Wetterrisiken und Naturgefahren aufklären
- Spezifische Forschungsvorhaben verfolgen und unterstützen

6. Der Tourismus im Jahr 2050

Die Klimaänderung ist Risiko und Chance zugleich. Mit einer entsprechenden Ausrichtung des touristischen Angebots können Kernkompetenzen ausgebaut und neue Gästegruppen angesprochen werden. Viel versprechende Entwicklungsmuster sind die Konzentration des Wintersports auf Topdestinationen, die Förderung von alpinen Wellnessoasen und des Sommertourismus.

Revival der Sommerfrische

Wärmere Temperaturen und häufigere heisse und trockene Sommer bewirken ein Wiedererleben der sommerlichen ‚Bergfrische‘. Hohe Temperaturen in Südeuropa und in den Städten führen dazu, dass die Alpen als Ort der Kühle aufgesucht werden und im Vergleich zu südlicheren Destinationen profitieren können. Die touristische Sommersaison kann verlängert werden, und insbesondere der stark wetterabhängige Tages- und Kurzaufenthaltstourismus der Schweizer an den Wochenenden sichert Tourismusorten, die sich mit entsprechenden Angeboten auf das veränderte Reiseverhalten eingestellt haben, das Sommergeschäft.

Der Hitzesommer 2003 hat gezeigt, dass der Sommertourismus in höheren Lagen an Bedeutung gewinnen kann. Von häufigen Hitzewellen und Schönwetterperioden profitieren Orte mit attraktiven Wander- und Bademöglichkeiten. Entscheidend ist auch die Nähe zu den grossen Agglomerationen und eine entsprechende Ausrichtung des Angebots. Neue Gästegruppen können angesprochen werden, wenn Destinationen in Südeuropa aufgrund der Hitze an Attraktivität verlieren und die Alpen wieder zu einem Refugium der ‚Sommerfrische‘ werden.

Boom der Neuen Alpinen Wellness

Der Kurtourismus in den Alpen spielte anfangs des 20. Jahrhunderts eine grosse Rolle: Klimatherapien an Luftkurorten waren zur Heilung von Atemwegkrankungen anerkannt und Badekurorte erfreuten sich einer grossen Beliebtheit. In den letzten Jahren wurde der Kurtourismus weitgehend durch den Wellnessrend abgelöst. Während einige klassische Kurhotels in den letzten Jahren schliessen mussten, gehören Wellnesseinrichtungen bei Vier- und Fünfsternehotels zunehmend zum erwarteten Standard. Klassische Heilbäder werden immer häufiger zu Wellnessoasen und Erlebnisbädern umgebaut.

Der Gesundheitstourismus hat sich von der Heilung von Krankheiten hin zu einem präventiven, selbstverantwortlichen und ganzheitlichen Verständnis von Körper, Geist und Seele weiterentwickelt. Fitness und Wohlbefinden heisst die neue Symbiose. Die demografische Entwicklung führt zu einer weiteren Zunahme der Bedeutung der Gesundheit in unserer Gesellschaft. Alpine Wellness, welche die Komponenten Wasser, Luft, Höhenlage, Licht, Ernährung, Bewegung und Kultur einbezieht, gewinnt an Bedeutung. Möglicherweise unterstützen neue gesundheitliche Gefährdungen (vgl. Kapitel Gesundheit) und die sommerliche Flucht vor der Hitze diesen Trend, so dass die Wertschätzung der Höhenlage für die Erholung wieder ansteigt.

Konzentration auf Wintersport-Topdestinationen

Die mit der Klimaänderung erschwerten Bedingungen führen zu einer Konzentration der lebensfähigen Wintersportorte. Strukturelle Probleme und Finanzierungsschwierigkeiten der Bergbahnen werden sich durch die ungünstigen natürlichen Bedingungen vielerorts verschärfen und den Strukturwandel im Bergbahnsektor vorantreiben. Die Schneearmut und Wasserknappheit erweisen sich vor allem als Engpass für die Voralpendestinationen, die aufgrund der höheren Temperaturen Mühe haben, mit künstlicher Beschneigung den Naturschnee zu kompensieren. Insgesamt nimmt die Bedeutung des Skisports ab und die Palette an Aktivitäten, die in den Winterferien ausgeübt werden, wird breiter. Die Kosten für die Beschneigung werden zunehmen. Ebenso wird die Gewährung der Sicherheit vor Naturgefahren finanziell aufwendige Massnahmen erfordern. Grosse Unternehmen, welche Synergien effizient nutzen können, besitzen im Konkurrenzkampf die besseren Karten. Kleinere Orte setzen vermehrt auf alternative Angebote und spezialisieren sich auf Nischen, um neue Märkte zu erschliessen respektive um Gästeanteile zu gewinnen.

Literatur und Anmerkungen

- 1 H.R. Müller. Tourismus und Ökologie – Wechselwirkungen und Handlungsfelder, Oldenbourg, 2003.
- 2 Bundesamt für Statistik (BFS). Satellitenkonto Tourismus der Schweiz. Neuchâtel, 2003.
- 3 Bundesamt für Statistik/Schweizer Tourismus-Verband (BFS/STV). Schweizer Tourismus in Zahlen. Neuchâtel/Bern, 2005.
- 4 H.R. Müller. Freizeit und Tourismus. Eine Einführung in Theorie und Politik. Berner Studien zu Freizeit und Tourismus Nr. 41. Bern, 2005
- 5 R. Bürki. Klimaänderung und Anpassungsprozesse im Wintertourismus. St.Gallen, 2000.
- 6 B. Abegg et al. Climate Change Impacts and Adaptation in Winter Tourism. In: Agrawala Shardul (Hg.): Climate Change in the European Alps: Adapting Winter Tourism and Natural Hazards Management, OECD-Report, S. 25–60 plus Anhang. Paris, 2007.
- 7 B. Abegg. Klimaänderung und Tourismus. Klimafolgenforschung am Beispiel des Wintertourismus in den Schweizer Alpen. Zürich, 1996.
- 8 F. Hahn. Künstliche Beschneigung im Alpenraum. Ein Hintergrundbericht. CIPRA. 2004.
- 9 (www.alpmedia.net/pdf/Dossier_Kunstschnee_D.pdf)
- 10 A. Güthler. CIPRA Deutschland. Aufrüstung im alpinen Wintersport. Ein Hintergrundbericht. CIPRA. 2003. (<http://seilbahn.net/thema/aufruestung.pdf>)

Energie

Autoren

Alexander Wokaun

General Energy Research Department, Paul Scherrer Institut

Bernhard Aebischer

Centre for Energy Policy and Economics, ETH

Christof Appenzeller

Klimatologie, MeteoSchweiz

Jean-François Dupont

Les Electriciens Romands

Timur Gül

Energy Economics Group, Paul Scherrer Institut

Lukas Gutzwiller

Bundesamt für Energie BFE

Pamela Heck

Natural Catastrophes, Swiss Re

Roland Hohmann

Redaktion, OcCC, Bern

Christoph Rutschmann

Holzenergie Schweiz

Niklaus Zepf

Axpo Holding AG



1. Einleitung

Einbettung

In der Schweiz hat der Energieverbrauch im 20. Jahrhundert stark zugenommen (Abb. 1). Seit 1945 hat er sich ungefähr verachtfacht. Der massive Anstieg ist auf die Zunahme des Verbrauchs von Erdölbrennstoffen, Treibstoffen und Gas zurückzuführen. Aber auch der Stromverbrauch hat kontinuierlich zugenommen, während der Anteil der Kohle stark abgenommen hat. 2004 setzte sich der Energieverbrauch wie folgt zusammen: Erdölbrennstoffe 31.3%; Erdölbrennstoffe 25.7%; Elektrizität 23.1%; Gas 12.1%; Übrige 7.8%. Die folgenden Ausführungen sind vor dem Hintergrund dieser Entwicklung zu verstehen.

Im Zusammenhang mit der Klimaänderung ist vom Energiesektor meistens als Verursacher die Rede. Als wichtigste Quelle menschengemachter Treibhausgase spielt er bei Massnahmen zur Emissionsreduktion eine zentrale Rolle. Im vorliegenden Bericht nehmen wir einen anderen Blickwinkel ein und betrachten den Energiesektor als Betroffenen der Klimaänderung. Wie wirken sich die Erwärmung und die Veränderungen bei den Niederschlägen auf die Energieproduktion und die Energienachfrage aus?

Auf den Energieverbrauch durch den Verkehr gehen wir bewusst nicht ein. Wir nehmen dabei an, dass der Verkehr weniger von den direkten Auswirkungen der Klimaänderungen betroffen ist als von den indirekten Auswirkungen (Klimapolitik).

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Energiesektor wurden für folgende Themen detaillierter behandelt:

- Veränderung der Energienachfrage (Sommer, Winter)
- Etablierte Produktion elektrischer Energie (Wasserkraft, Kernenergie)
- Neue erneuerbare Energien (Wind, Holz)
- Wirtschaftliche Aspekte (Energiepreise, Versicherungen)

Diese Auswahl ist nicht umfassend, sondern stellt eine Auswahl interessanter und relevanter Fragestellungen dar. Die Klimaänderung beeinflusst auch andere wichtige Bereiche des Energiesektors, wie beispielsweise die Versorgungssicherheit, die Sicherheit des Leitungsnetzes sowie die Chancen anderer Energieformen (Geothermie, Solarenergie etc.). Diese Themen wurden von der Arbeitsgruppe im Rahmen der beschränkten Auswahl nicht behandelt.

Der Energiesektor wird von anderen Rahmenbedingungen stärker beeinflusst als von der Klimaänderung. Beispielsweise haben in der Vergangenheit Einflussfaktoren wie das Wirtschaftswachstum, die technologische Entwicklung, die Bevölkerungszunahme und die Öffnung des Strommarktes den Energiesektor geprägt und werden ihn auch in Zukunft prägen.

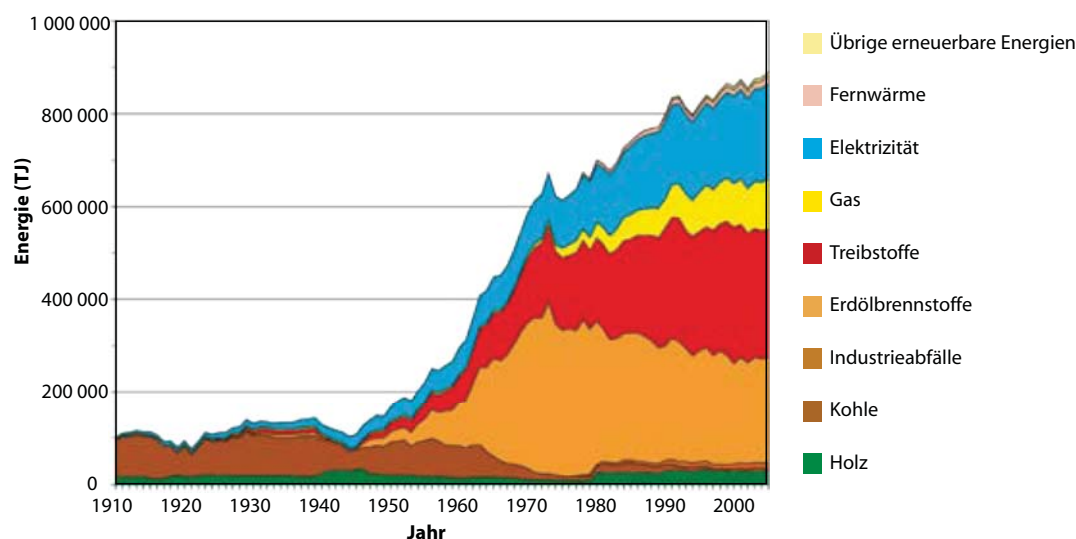


Abbildung 1: Energieverbrauch in der Schweiz, aufgeteilt nach den verschiedenen Energieträgern (1 TJ \approx 0.3 GWh). (Quelle: BFE Gesamtenergiestatistik 2005)

Überblick

Als Folge der Klimaänderung wird in Zukunft im Winter weniger Heizenergie und im Sommer mehr Kühlenergie verbraucht werden. Es kommt zu einer Verlagerung der Nachfrage von den Brennstoffen zu Strom. Die Zunahme der Klimatisierung ist vor allem im Dienstleistungssektor ausgeprägt.

Bei der Elektrizitätsbereitstellung wird sich die Klimaänderung nachteilig auf die Wasserkraft und die Kernenergie auswirken. Bei der Wasserkraft dürfte der geringere Wasserabfluss bis 2050 zu einer um 5–10% geringeren Produktion führen. Die Kernenergie wird bei ansteigenden Wassertemperaturen weniger Kühlleistung aus den Flüssen beziehen können. Im Sommer 2003 führte der Mangel an Kühlleistung zu einer um 4% geringeren Jahresproduktion. Hitzeperioden wie im Sommer 2003 werden bis 2050 zunehmen.

Die Chancen der neuen erneuerbaren Energien werden durch die Klimaänderung erhöht. Einerseits wird die Nachfrage nach CO₂-neutraler Energie als Reaktion auf die Klimaänderung und im Zuge der Klimapolitik steigen, andererseits nimmt die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien wegen der steigenden Preise der konventionellen Energien zu. Gemessen am heutigen Verbrauch kann der Beitrag der neuen erneuerbaren Energien zur Schweizer Stromversorgung bis 2050 auf über 10% (5500 GWh/a)¹ gesteigert werden. Die Windenergie kann dazu einen Beitrag leisten. Bei einem Vollausbau aller Windparkstandorte könnte das Gesamtpotenzial von 1150 GWh/a bis 2050 ausgeschöpft werden. Einzelanlagen weisen ein zusätzliches Potenzial von 2850 GWh/a auf. Bei einer Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit als Folge der Klimaänderung ist im Mittel mit einer höheren Stromproduktion aus Wind zu rechnen. Im Falle von Extremereignissen kann es zu Produktionsunterbrüchen an einzelnen Windparkstandorten kommen.

Auch die Holzenergie wird von der verbesserten Wettbewerbsfähigkeit der neuen erneuerbaren Energien profitieren. Das Energieholzpotenzial erlaubt in Zukunft mindestens eine Verdoppelung der heutigen Nutzung auf über 5 Mio. m³. Unter Berücksichtigung der langfristigen Trends der Waldwirtschaft und der Entwicklungen der Holzwirtschaft könnte das Potenzial sogar auf das Dreifache ansteigen. Die Konkurrenz bei der Holznutzung wird jedoch durch andere stoff-

liche Verwertungen zunehmen. Als Folge der Klimaänderung werden sich die Waldflächen ausdehnen und das Potenzial der Holzenergie weiter wachsen. Gleichzeitig wird die Akzeptanz der Holzenergie zunehmen, sofern Fortschritte bei der Reduktion der Feinstaubemissionen erzielt werden.

Insgesamt werden die höheren Energiepreise den Anstieg des Energieverbrauchs verlangsamen. Aus Überlegungen der Energieeffizienz wird es zu einer Verlagerung zu Strom kommen. Die Nachfrage nach CO₂-neutralen Energien (neue erneuerbare Energien und Kernenergie) wird zunehmen. Generell führt die Klimaänderung zu einer Zunahme der Unsicherheiten, weshalb Systeme mit kurzer Pay-back-Dauer bevorzugt werden.

Mit der Klimaänderung nimmt das Risiko von Betriebsunterbrüchen auch im Energiesektor zu. Beispiele dafür sind das Augusthochwasser 2005, welches zu Unterbrüchen bei den Laufkraftwerken führte, oder die hohen Wassertemperaturen im Sommer 2003, welche zu einer reduzierten Energieproduktion der Kernkraftwerke führte. Versicherungslösungen für Sachschaden und Produktionsausfälle werden an Bedeutung zunehmen.

Massnahmen

Die sich abzeichnende Versorgungslücke muss möglichst reduziert werden. Dazu ist das Energie-sparpotenzial voll auszuschöpfen und sind erneuerbare Energien sowie Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz verstärkt zu fördern. Das Stromeinsparpotenzial bis 2035 ist offensichtlich von den aufgewendeten Vermeidungskosten abhängig; das kumulierte Potenzial bis zu Kosten von 40 Rp./kWh wurde mit 10'000–15'000 GWh beziffert. Bei der Primärenergie liegt das theoretische Reduktionspotenzial bis 2050 insgesamt bei 60%, während die „Energieperspektiven 2035“ des Bundesamtes für Energie² und die „Road map“ der SATW³ ein technisches Einsparpotenzial von 20–25 % orten.

Die künftige Elektrizitätsproduktion soll CO₂-frei bleiben. Damit durch ein allfälliges neues fossiles Kraftwerk keine zusätzlichen Netto-Emissionen entstehen, müssten zusätzliche Massnahmen ergriffen werden (Verknüpfung mit massivem Wärmepumpeneinsatz und Einsparung im Heizenergiesektor, biologische Senken, Carbon Capture and Storage, Emissionshandel).

Diversifikation und Redundanz sind wirksame Massnahmen gegen die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Energiesektor. Ein breit abgestütztes Portfolio von konventionellen und erneuerbaren Energien schützt gegen Versorgungsengpässe bei einem einzelnen Energieträger. Ebenso ist z.B. ein Verbund von mehreren regionalen Biomassevergasungsanlagen mittlerer Grösse weniger störanfällig als ein einziges grosses Biomassekraftwerk. Bei den Verteilungsnetzwerken ist streng auf Redundanz zu achten, d.h. auf die Einrichtung von mindestens zwei unabhängigen Verbindungen zwischen je zwei Knoten.

Während die Notfallpläne der Landesversorgung darauf ausgelegt sind, kurzfristigen Engpässen zu begegnen, können sie langfristige Trends nicht auffangen. Deshalb ist es wichtig, Anpassungsmassnahmen auch seitens der Nachfrage ins Auge zu fassen. Neben technischen Massnahmen (z.B. Lastabwurf während Zeiten eines Spitzenverbrauchs an Elektrizität) ist hier auch das Verhalten der Konsumentinnen und Konsumenten entscheidend. Sie können den Bezug von Energiedienstleistungen, die nicht an den Produktionsprozess gekoppelt sind, an die Gegebenheiten eines geänderten Klimas anpassen.

Verknüpfung mit anderen Themen

Wasserwirtschaft

Wasserstände von Speichern und Laufgewässern; Konkurrenzsituation bei der Wassernutzung, u.a. mit der Landwirtschaft (Bewässerungsbedarf im Sommer)

Versicherungen

Verluste durch und Versicherung von Produktionsausfällen

Landökosysteme

Ausdehnung der Waldflächen, Zunahmen minderwertiger Energiehölzer

2. Energieverbrauch

Als Folge der Klimaänderung wird im Winter weniger Heizenergie und im Sommer mehr Kühlenergie verbraucht werden. Dadurch wird der Brennstoffverbrauch abnehmen und der Stromverbrauch zunehmen.

Ausgangslage

Im Rahmen der Energieperspektiven 2035/2050 des Bundesamtes für Energie (BFE) werden zwei Energieszenarien^{4,5} verglichen, um die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Energieverbrauch in der Schweiz zu untersuchen. Im Referenzszenario wird die Klimaänderung nicht berücksichtigt; im Szenario „Klima wärmer“ wird bis 2030 eine Temperaturzunahme von +2 °C in den Sommermonaten Juni bis August und von +1 °C in den übrigen Monaten gegenüber der Periode 1984–2002 angenommen. Die Strahlung nimmt um 5% zu. Mit der Klimaänderung verändern sich auch meteorologische Kennwerte, die für die Berech-

nung des Wärme- und Klimatisierungsbedarfs wichtig sind. Als Folge der Erwärmung werden die Heizgradtage (vgl. Kasten) in der Heizperiode

Heizgradtage:

Differenz zwischen der erwünschten mittleren Raumtemperatur (20 °C) und der mittleren Aussentemperatur, summiert über alle Kalendertage mit $T < 12$ °C.

Kühlgradtage:

Differenz zwischen der mittleren Tagesaussentemperatur und der Referenztemperatur (18.3 °C), summiert über alle Kalendertage mit $T > 18.3$ °C.

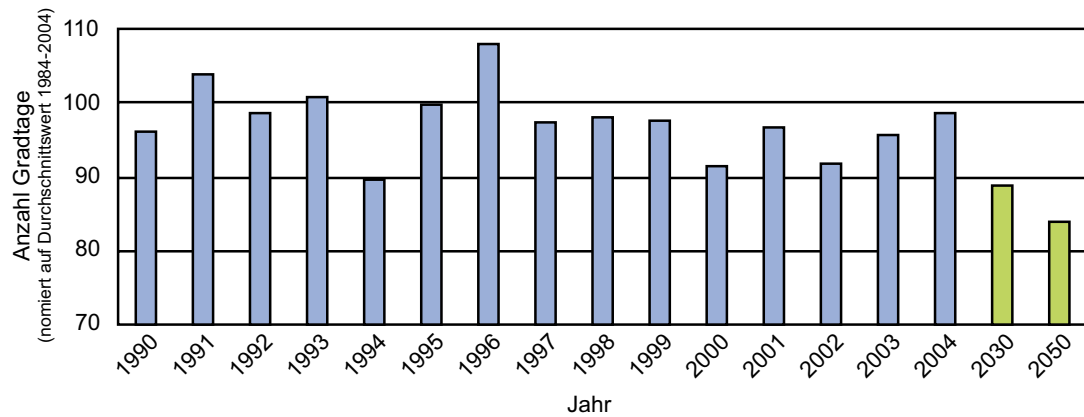


Abbildung 2: Jährliche Heizgradtage in den Jahren 1990–2004 normiert auf den Durchschnittswert der Periode 1984–2004. Für die Jahre 2030 und 2050 sind die erwarteten Werte des Szenarios „Klima wärmer“ aus den Energieperspektiven 2035/2050 des Bundesamtes für Energie BFE abgebildet.⁴

bis 2030 um rund 11% und bis 2050 um 15% gegenüber dem Durchschnittswert 1984–2004 abnehmen (Abb. 2).

Gegenläufig werden gemäss Energieperspektiven die Kühlgradtage (vgl. Kasten) in den Sommermonaten bis 2035 um rund 100% zunehmen. Für eine Temperaturzunahme von ungefähr 2.5 °C bis 2050 wie sie das Klimaszenario in diesem Bericht vorgibt wird eine Zunahme der Kühlgradtage von ungefähr 150% erwartet (Abb. 3).

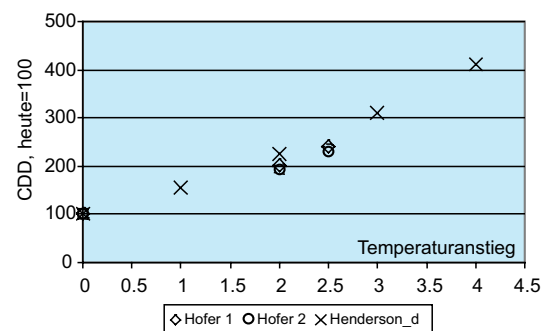


Abbildung 3: Veränderung der Kühlgradtage (CDD) bei einer Temperaturerhöhung in den Sommermonaten Juni–August zwischen 1 und 4 °C (100 = durchschnittliche Temperaturen heute in der Schweiz). Je nach Berechnungsart erhalten die Autoren leicht unterschiedliche Werte.⁴

Dienstleistungssektor

Die Nachfrage des Dienstleistungssektors⁴ nach Wärmeenergie wird in Zukunft auch ohne Klimaerwärmung wegen höherer Energieeffizienz und besserer Wärmedämmung leicht abnehmen. Trotz Wirtschaftswachstum wird der Bedarf bis 2035 von 22'200 GWh/Jahr auf 20'800 GWh/Jahr sinken. Nach 2035 dürften sich die Zunahme der Energieeffizienz und die Zunahme der beheizten Fläche ungefähr kompensieren, so dass die Wärmenachfrage im Jahre 2050 immer noch bei rund 20'800 GWh/Jahr liegen wird.

Als Folge der wärmeren Winter wird die Wärmenachfrage bis 2035 um weitere 13% auf ungefähr 18'000 GWh/Jahr sinken. Im Jahre 2050 liegt dann die Wärmenachfrage wegen der Klimaerwärmung ungefähr um 18% unter dem Referenzszenario (knapp über 16'700 GWh/Jahr). Der Strombedarf für Raumkühlung wird auch ohne Klimaänderung wegen der Zunahme von voll- und teilklimatisierten Flächen von ungefähr 1000 GWh/Jahr im Jahr 2000 auf rund 1500 GWh/Jahr im Jahr 2035 steigen. Der Anteil

der Klimatisierung an der Stromnachfrage steigt dadurch von 6% (2005) auf 7% (2035).

Wegen der Klimaänderung werden sowohl der spezifische Stromverbrauch der Raumkühlung als auch der Bedarf an Raumkühlung zusätzlich zunehmen. Die Zunahme der Kühlgradtage hat zur Folge, dass der spezifische Stromverbrauch für Raumkühlung um 46% zunehmen wird. Bezüglich der Nachfrage nach Raumkühlung wird angenommen, dass bis 2035 rund 50% der heute nicht klimatisierten Flächen teilklimatisiert und 50% der heute teilklimatisierten Flächen vollklimatisiert sein werden. Insgesamt wird die Stromnachfrage des Dienstleistungssektors für Klimatisierung bis 2035 auf ungefähr 3200 GWh/Jahr ansteigen und 115% über dem Referenzszenario liegen.

Bis 2050 werden die Kühlgradtage weiter zunehmen. Der spezifische Stromverbrauch für Raumkühlung steigt dadurch gegenüber dem Referenzszenario um ca. 70%. Aber auch der Anteil der klimatisierten Flächen wird weiter steigen, so dass bei einem Gebäudebestand wie im Referenzszenario die Stromnachfrage für die Klimatisierung zwischen 170% und 200% oder rund 2800 GWh/Jahr über der Nachfrage im Referenzszenario liegen dürfte.

Privathaushalte

Bei den Haushalten wird die Nachfrage nach Wärmeenergie ohne den Einfluss der Klimaerwärmung wegen verbesserter Energieeffizienz und Wärmedämmung von 55'000 GWh/Jahr im Jahr 2000 auf etwa 48'000 GWh/Jahr im Jahr 2035 abnehmen. Beim Warmwasserverbrauch beträgt die Abnahme 1 bis 2%. Als Folge der Klimaerwärmung wird der Raumwärmebedarf bis 2035 um weitere 10% abnehmen und bei 44'000 GWh/Jahr liegen. Bis 2050 wird sich der Heizwärmebedarf um zusätzliche 10% gegenüber dem Referenzverlauf reduzieren.

Als Folge der Klimaerwärmung wird im Sommer auch im Wohnungsbereich mit einer Zunahme des Stromverbrauchs für Klimatisierung gerech-

net. Geringe Mehrverbräuche sind auch bei den Kühl- und Gefriergeräten zu erwarten.

Für die Schweiz liegen derzeit keine gesicherten Daten zur Klimatisierung der Wohnbauten vor. Die Befunde aus anderen Ländern sind nur begrenzt auf die Schweiz übertragbar, da Bauweisen, Heiz- und Kältetechniken, Einstellungen und Verhaltensweisen in den meisten Regionen stark von den hiesigen Verhältnissen abweichen. In der Schweiz wird davon ausgegangen, dass der spezifische Kühlbedarf im Wohnbereich geringer sein wird als im Dienstleistungsbereich (andere interne Lasten, Tages-/Nachtnutzungsrhythmen etc.) und dass die Klimatisierung im Wohnbereich mit überwiegender Mehrheit dezentral über Kompakt- oder Splitanlagen (mit Luft- oder Wasserkühlung) erfolgen wird. Insgesamt wird bis 2050 mit einer Zunahme des Stromverbrauchs von rund 10% gegenüber dem Referenzszenario gerechnet (Abb. 4).

Der erwartete zusätzliche Strombedarf für die Kühlung kann beschränkt werden, wenn zunehmend innovative Konzepte wie free cooling (Abgabe der Wärme an die Luft während der Nacht), Geocooling (Abgabe der Wärme an das Erdreich über dieselben Erdsonden, die im Winter Umgebungswärme für die Wärmepumpen liefern) oder solare Kühlung eingesetzt werden.

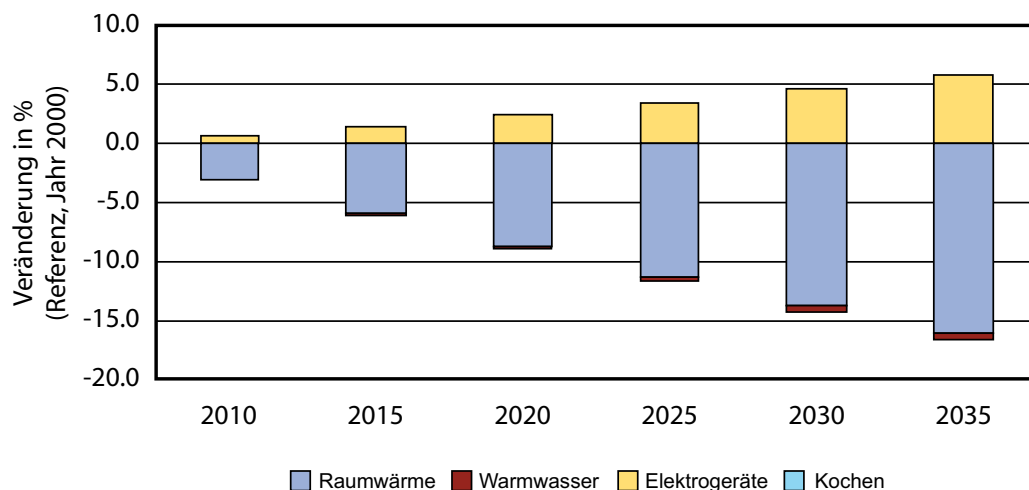


Abbildung 4: Veränderung des Energieverbrauchs der privaten Haushalte nach Verwendungszwecken gegenüber dem Referenzszenario. (Heute: 75'000 GWh)⁵

3. Etablierte Elektrizitätsproduktion

Der inländische Strombedarf wird schon in naher Zukunft nicht mehr durch die heimische Energieproduktion gedeckt werden können. Bei der Wasserkraft wird es wegen der Klimaänderung zu Produktionseinbussen kommen. Vor dem Hintergrund der Klimaänderung muss die Versorgungslücke durch verstärkte Förderung von erneuerbaren Energien und Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz sowie durch neue, CO₂-freie Produktionskapazitäten geschlossen werden.

Ausgangslage

Die Stromproduktion der Schweiz ist dank den zwei Hauptfeilern Wasserkraft und Kernenergie praktisch CO₂-frei. Der grösste Anteil aus konventionell-thermischen Anlagen stammt aus Kehrlichtverbrennungsanlagen und industriellen Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen.

Die Nettoleistung der fünf Kernkraftwerke beträgt 3220 MW. Sie produzieren jährlich etwa 25'000 GWh Strom, was rund 40% des Schweizer Strombedarfs entspricht. Um 2020 erreichen die ersten Kernkraftwerke das Ende ihrer Betriebsdauer. Die Produktionskapazitäten der Schweiz werden ab dann stark rückläufig sein. Gleichzeitig laufen die Stromimportverträge mit der Electricité de France (EDF) sukzessive aus.

Der Stromverbrauch dürfte in Zukunft weiter ansteigen. In der Vergangenheit nahm der Stromverbrauch bei einem BIP-Wachstum von 1% um 1.8% zu. Das BFE rechnet bis 2035 mit einem abgeschwächten Wachstum von 22.3% gegenüber 2003 bei einer Weiterführung der heutigen Politik. Im Falle der Einführung einer CO₂-Abgabe wäre das Wachstum leicht höher (+23.2%), da die beabsichtigte Steigerung der Energieeffizienz mit einer Zunahme des Stromverbrauchs einhergeht. Sofern sich der lineare Trend fortsetzt, wird die Stromnachfrage bis 2050 um rund 33% höher liegen als im Jahr 2003. Die Axpo⁶ kommt in ihren Szenarien zu leicht höheren Werten (Abb. 5). Die Bandbreite der verschiedenen Szenarien zeigt die Unsicherheiten bezüglich der künftigen Stromnachfrage.

Ab 2020 bis 2030 wird der inländische Strombedarf nicht mehr durch die heimische Stromproduktion und die bestehenden Importverträge gedeckt werden können. Ab 2012 wird im Winterhalbjahr der Stromimport den Stromexport regelmässig übersteigen.

Klimaänderung

Die Klimaänderung ist ein wichtiger Einflussfaktor für die Stromproduktion. Die Wasserkraft ist stark abhängig vom Wasserangebot (Niederschlag

und Schmelzwasser), das unmittelbar durch die Klimaänderung beeinflusst wird. Die Kernenergie ist auf ausreichende Mengen an Kühlwasser angewiesen.

Die etablierten Energien Wasserkraft und Kernenergie werden durch die künftige Klimaänderung wie folgt beeinflusst:

- Kurzfristig steht wegen der abschmelzenden Gletscher ein grösseres Wasserangebot für die Wasserkraft zur Verfügung und sie wird im Sommer mehr Strom produzieren. Langfristig werden das Wasserangebot und die Produktion im Sommer abnehmen. Für die Reduktion der Abflussmengen sind abnehmende Niederschläge und erhöhte Verdunstung verantwortlich.⁷ Der geringere Wasserabfluss dürfte bis 2050 zu einer um durchschnittlich 7% geringeren Wasserkraftproduktion führen.⁸ Zudem wird im Mittelland als Folge der Klimaänderung mit einer Zunahme von Hochwassern gerechnet. Ein Teil dieses Wassers kann nicht für die Stromproduktion genutzt werden. Der Verlust bei der Stromproduktion ist daher höher, aber nicht quantifizierbar.
- Wegen der höheren Wassertemperaturen kann die wassergekühlte Kernenergie im Sommer weniger Kühlleistung aus den Flüssen beziehen und die Produktion wird abnehmen. Im Sommer 2003 musste die Leistung der Kernenergie während 2 Monaten um 25% gedrosselt werden. Dies reduziert die Strommenge im Jahr um 4%. Die Wassertemperaturen in den Flüssen werden bis 2050 weiter ansteigen (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft). Als Folge davon wird es zu Produktionseinschränkungen kommen.
- Mit der Klimaänderung wird der Druck zur Reduktion der fossilen Energien zunehmen. Wasserkraft, Kernenergie und die neuen erneuerbaren Energien tragen als CO₂-freie Energieformen nicht zur Klimaänderung bei und werden nicht durch allfällige Lenkungsabgaben belastet.

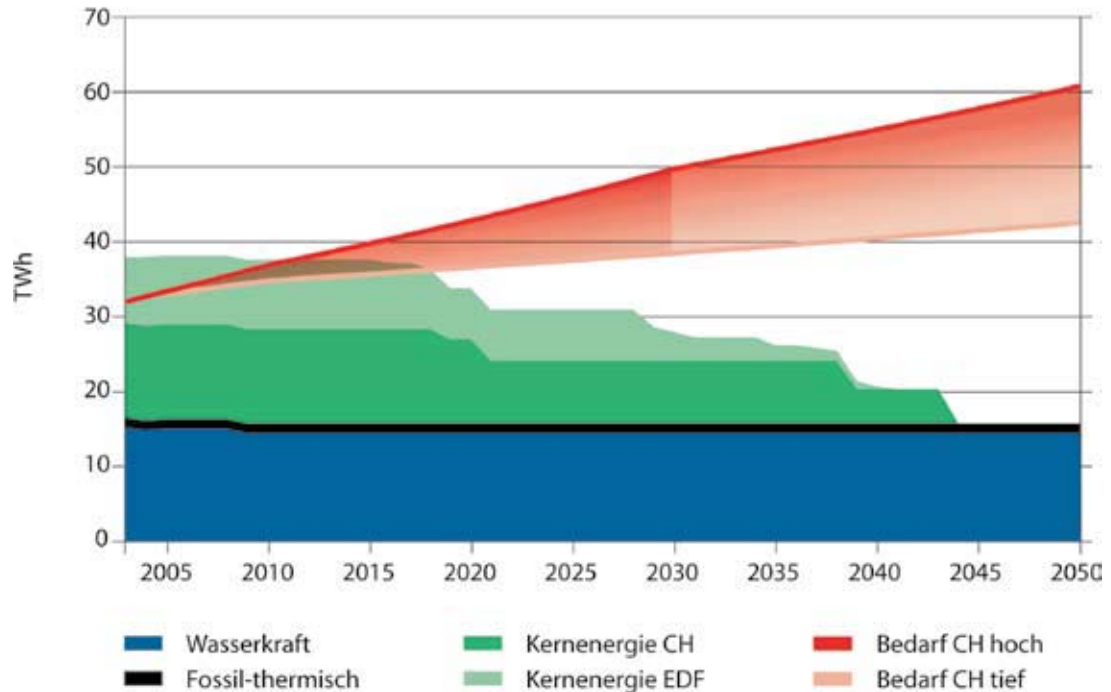


Abbildung 5: Produktionskapazitäten und Stromverbrauch in der Schweiz im Winterhalbjahr. Gemäss der Prognose wird ab 2012 (Szenario hoher Strombedarf) bis 2019 (Szenario tiefer Strombedarf) der inländische Strombedarf im Winter nicht mehr durch die heimische Stromproduktion und die bestehenden Importverträge gedeckt werden können.⁶ (1 TWh = 1000 GWh)

Massnahmen

Die Elektrizitätsproduktion sollte CO₂-frei bleiben. Vor dem Hintergrund der Klimaänderung stehen folgende Massnahmen zur Schliessung der Versorgungslücke im Vordergrund:

- Verstärkte Förderung von erneuerbaren Energien und Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz sowie durch Ausschöpfen des Stromeinsparpotenzials. Ausser Forschung und Entwicklung sind auch Pilotanlagen nötig, um die Machbarkeit solcher Technologien zu demonstrieren und Erfahrungen zu sammeln. Durch die Steigerung der Energieeffizienz wird allerdings die Stromnachfrage tendenziell erhöht werden.
- Bereitstellen neuer, CO₂-freier Produktionskapazitäten. Zur Schliessung der Versorgungslücke wurden kürzlich ein Gaskombikraftwerk als Übergangslösung und ein neues Kernkraftwerk als langfristige Lösung vorgeschlagen. Damit dadurch keine zusätzlichen Nettoemissionen entstehen, müssten zusätzliche Massnahmen ergriffen werden (biologische Senken, Carbon Capture and Storage (CCS), Emissionshandel). Die Carbon Capture and Storage-Technologien werden erst ab 2030 oder später zur Verfügung stehen. Speziell die Lagerung ist kritisch, da sie – ähnlich wie die Tiefenlagerung bei der Kernenergie – über lange Zeiträume erfolgt und somit ein politisches Thema ist. Dies gilt sowohl für eine Lagerung in der Schweiz als auch im Ausland.
- Die Schweiz wird politisch und demokratisch darüber entscheiden, wie sie ihre künftige Energieversorgung gestalten möchte. Zur Vorbereitung eines fundierten Entscheides braucht es eine umfassende und objektive Zusammenstellung aller (natur-, sozial- und wirtschafts-) wissenschaftlichen Fakten. Die Entscheide hinsichtlich der zukünftigen Elektrizitätserzeugung beeinflussen den Grad der internationalen Abhängigkeit der schweizerischen Energieversorgung durch Gas-, Strom- oder andere Importe. Deshalb ist eine möglichst weitgehende Ausschöpfung der Potenziale der einheimischen erneuerbaren Energien anzustreben.

4. Neue erneuerbare Energien

Die direkten Auswirkungen der Klimaänderung auf die Energiebereitstellung aus erneuerbaren Energien werden zwischen neutral und leicht positiv eingestuft. Während das Wachstum der Biomasse tendenziell begünstigt wird und die solare Einstrahlung leicht zunimmt, wirken sich Extremereignisse potenziell negativ aus. Bedeutsamer als diese direkten Einflüsse ist die Tatsache, dass steigende Energiepreise und die Klimaschutzstrategien die Rahmenbedingungen für die Förderung und Einführung der erneuerbaren Energien verbessern werden.

Gemessen am heutigen Verbrauch kann der Beitrag der neuen erneuerbaren Energien (neE) zur Stromversorgung der Schweiz von heute 3% auf 10% (5500 GWh/a) im Jahr 2035 gesteigert werden.⁹ Bis 2050 ist eine weitere Steigerung möglich. Im Wesentlichen beinhalten diese 10% grosse Teile der Potenziale für Kleinwasser- und Windkraft, substanzielle Beiträge von Biomasse und Geothermie sowie einen relativ kleinen Beitrag der Fotovoltaik. Das Potenzial der neE wird durch die höheren Produktionskosten beschränkt.

Die Klimaänderung erhöht die Chancen der neE. Der steigende Energiebedarf und die (beschlossenen sowie antizipierten) Massnahmen zur Begrenzung der Treibhausgasemissionen erhöhen die Nachfrage nach CO₂-neutraler Energie. Gleichzeitig sinkt der Subventionsbedarf bei höheren Energiepreisen. Bei gleich bleibenden Subventionen ist mit einer schnelleren Marktdurchdringung zu rechnen.

Die Produktion der neE wird durch Umweltfaktoren auf unterschiedlichen Zeitskalen beeinflusst. Die Effizienz der erneuerbaren Energieformen ist u.a. vom Wetter und Klima abhängig und wird durch die Klimavariabilität und durch Extremereignisse beeinträchtigt. Das vorliegende Klimaszenario zeigt eine Änderung der Mittelwerte und macht keine Aussagen über die Veränderung der Variabilität. Es gibt Hinweise, dass sich die Temperaturvariabilität im Sommer etwas verstärkt und im Winter etwas verringert. Variationen im Klima könnten auch in die Mittelfristplanung bei der Produktion der neE einfließen. Ein möglicher Ansatz wäre die Modellierung der ganzen Kette von klimatischen Randbedingungen als Eingangsdaten bis zur Energieproduktion.

Windenergie Potenzial

Die Schweiz hat heute etwa 5.4 MW¹ an Windkraft installiert und produziert rund 5.4 GWh/a ihres Stroms aus Windkraft. Das entspricht kaum 0.01%

der gesamten inländischen Stromproduktion im Jahr 2003. Auch mit den rund 15 GWh Strom aus Fotovoltaik im Elektrizitätsnetz ist der Beitrag neuer erneuerbarer Energien bislang gering.

Das Potenzial der Windkraft in der Schweiz ist begrenzt. Bis 2035 ist ein Ausbau der Windkraft auf 600 GWh/a möglich. Bis 2050 könnte bei einem Vollausbau aller Windparkstandorte das Gesamtpotenzial von 1150 GWh/a ausgeschöpft werden. Gemessen an der Stromproduktion von 2003 wäre der Anteil der Windkraft 1.8%. Das Potenzial von Einzelanlagen beläuft sich auf weitere 2850 GWh/a.⁹

Die generellen technischen Möglichkeiten zur Integration von Windenergie ins Elektrizitätsnetz umfassen die Vorhaltung von Backup-Kapazitäten, die Abschaltung überschüssiger Windkraft und die Speicherung. In der Schweiz lässt sich die Windenergie selbst bei vollständiger Nutzung des Potenzials problemlos in das Stromnetz integrieren. Selbst bei einem Vollausbau der Windkraft würde sie die Stabilität der Elektrizitätsnetze nicht beeinflussen. Kurzfristige Fluktuationen im Windkraftangebot können mit Wasserkraft gut aufgefangen werden. Neue Speichertechnologien wie Wasserstoff werden in Zukunft die Ausgleichmöglichkeiten zusätzlich verbessern.

Klimaänderung

Der Einfluss der Klimaänderung auf die mittleren Windgeschwindigkeiten in der Schweiz ist unklar. Allenfalls wird es zu einer Veränderung der mittleren Windgeschwindigkeit und zu einer Zunahme von Extremereignissen kommen. Beides würde die Produktion von Windenergie beeinflussen. Die mittlere Windgeschwindigkeit beeinflusst unmittelbar die elektrische Ausgangsleistung: Bei einer Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit ist im Mittel mit einer höheren Stromproduktion aus Wind zu rechnen. Im Falle von Extremereignissen kann es zu Produktionsunterbrüchen an einzelnen Standorten kommen. Ein Ausfall aller Windkraftanlagen ist jedoch statistisch unwahrscheinlich.

Massnahmen

Auswirkungen des Klimawandels auf die Nutzung der Windkraft sind für die Schweiz eher von indirekter Natur. Die eigentliche Herausforderung besteht im verstärkten Ausbau der Windkraft in angrenzenden Ländern. Folgende Massnahmen tragen zur optimalen Integration von Windenergie bei:

- Verbesserte Windvorhersagen bei gleichzeitiger Verkürzung der Fahrplanmeldezeiten, mittels derer die erwartete Stromproduktion dem Netzbetreiber im Voraus zu Planungszwecken bekannt gemacht wird. Je kürzer die Fahrplanmeldezeiten, desto grösser die Vorhersagegenauigkeit der zu erwartenden Stromproduktion aus Windkraft.
- Bessere planerische Grundlagen für die Berücksichtigung von Umwelthanliegen, insbesondere des Natur- und Landschaftsschutzes.
- Netzverbände – je größer das Netz, desto geringer der Bedarf an Backup-Leistung, d.h. an konventioneller Erzeugungskapazität, die bereit stehen muss, um kurzfristig eine Produktionsminderung bei der Windenergie infolge ungünstiger Windverhältnisse zu kompensieren.
- Transparente, vernetzte und gut funktionierende Märkte können die Kosten der Integration von Windkraft erheblich senken. Insofern kann eine Liberalisierung des Strommarktes hilfreich sein, wenn sie über ein möglichst grosses Einzugsgebiet sowohl die Einspeisung als auch den Lastausgleich ermöglicht.

Biomasse: Holzenergie Potenzial

Das gesamte ökologische Biomassenpotenzial betrug 2001 insgesamt 34'000.⁹ Holz, Feldgehölz, Hecken und Obstbau steuerten mit 12'800 GWh den grössten Anteil bei (Abb. 6). Das ökologische Biomassenpotenzial lässt eine deutliche Steigerung der Stromproduktion zu. Einerseits sind Steigerungen der Menge der für die energetische Nutzung geeigneten Biomassensortimente zu erwarten, andererseits wird die Entwicklung der Umwandlungstechnologie den Verstromungswirkungsgrad um einen Faktor 2 bis 3 steigern können.

2004 wurden in der Schweiz 2.8 Mio. m³ Holz vorwiegend zu Heizzwecken genutzt. Insbesondere die automatischen Holzheizungen haben im vergangenen Jahrzehnt stark zugenommen. Das Energieholzpotenzial erlaubt in Zukunft mindestens eine Verdoppelung der heutigen Nutzung auf über 5 Mio. m³, vorausgesetzt, es werden es Fortschritte bei der Reduktion der Feinstaubemissionen erzielt.¹⁰ Langfristige Trends der Waldwirtschaft (standortgerechte Baumarten, abgestufte ökologische Waldbewirtschaftung, extensive Waldpflege, regionales maschinelles Ernten) sowie Entwicklungen der Holzwirtschaft (Erhöhung der Sägekapazität) lassen das Potenzial auf das Dreifache ansteigen. Allerdings wird die Konkurrenz bei der Holznutzung durch andere Holzverwerter (Baustoffe) zunehmen. Angebot und Nachfrage werden den Preis und somit die Holzverwendung bestimmen.

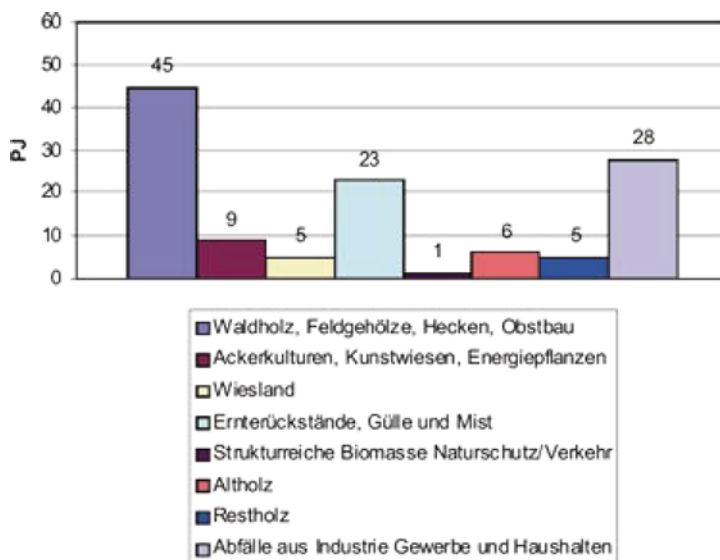


Abbildung 6: Ökologisches Biomassenpotenzial im Jahr 2001 aufgeteilt auf verschiedenen Quellen.⁹ (1 PJ = 278 GWh)

Auswirkung Klimaänderung

Die Klimaänderung wird sich mehrheitlich positiv auf die Nutzung von Holzenergie auswirken. Einerseits werden sich die Waldflächen ausdehnen (vgl. Kapitel Ökosysteme) und das Potenzial der Holzenergie zunehmen. Andererseits wird die Akzeptanz von erneuerbaren Energien und von Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz als Reaktion auf die Klimaänderung und im Zuge der Klimapolitik steigen. In Politik, Verwaltung und Wirtschaft wächst die Bereitschaft, die Nutzung der Holzenergie durch Massnahmen zu fördern.

Die Klimaänderung und die vermehrte Nutzung von Holzenergie werden Auswirkungen auf die Wälder haben. Das Waldbild wird sich verändern. Insgesamt wird es in den Wäldern nicht mehr Holz geben, doch gleichzeitig wird der Anteil an Energieholz und an minderwertigem Holz steigen. Eine allfällige Zunahme von Extremereignissen, wie beispielsweise der Wintersturm Lothar im Dezember 1999, wird für grosse Biomassenverluste und entsprechende Zwangsnutzungen sorgen.

Kurzfristige Klimavorhersagen

Aussergewöhnliche Klimabedingungen wie die europäische Hitze- und Dürreperiode im Sommer 2003, aber auch die kalten Winter in den 1960er Jahren beeinflussen die Energieproduktion und den Energiekonsum schon im heutigen Klima. Seit einiger Zeit wird versucht, diese Klimaschwankungen mit Hilfe von numerischen Klimamodellen vorherzusagen. Wie das Wetter hat das Klimasystem jedoch chaotische Eigenschaften, und Vorhersagen reagieren höchst empfindlich auf kleine Unsicherheiten in den Anfangsbedingungen. Neu entwickelte Wahrscheinlichkeitsvorhersagen berücksichtigen nun diese Sensitivität, indem nicht eine einzelne, sondern viele Vorhersagen

mit leicht verschiedenen Anfangsbedingungen gerechnet werden. Aus diesem Ensemble von Vorhersagen kann dann z.B. die Wahrscheinlichkeit des Eintreffens eines kalten Januars oder eines warmen Sommers (Abb. 7) berechnet werden. Solche kurzfristigen Klimavorhersagen müssen momentan noch mit Vorsicht interpretiert und angewendet werden; ihre Qualität variiert je nach Region auf der Erde und insbesondere auch je nach der gewünschten Vorhersagezeit. Wahrscheinlichkeitsaussagen erlauben es aber, das zu erwartende Wetter über mehr als eine Woche vorauszusagen, und bieten damit dem professionellen Bereich wie dem Energiemanagement interessante Planungsmöglichkeiten.^{11,12}

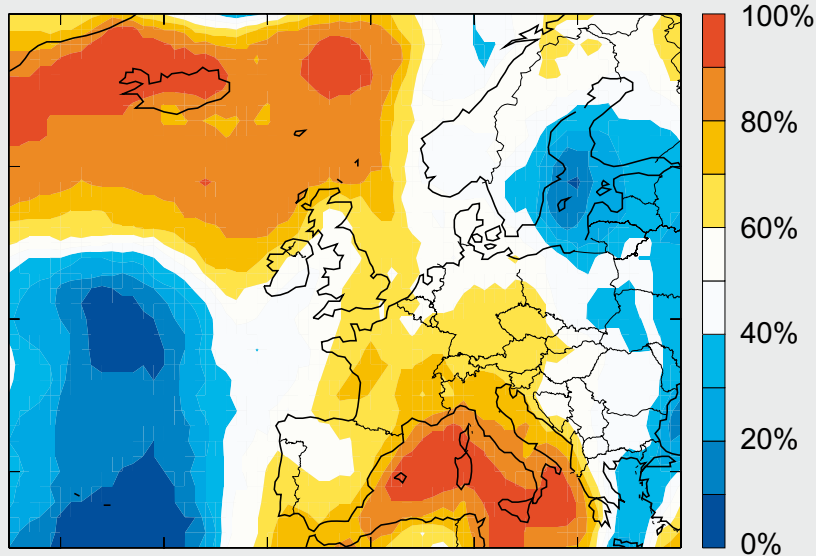


Abbildung 7: Wahrscheinlichkeit, dass Temperaturen im Sommer 2003 über dem klimatologischen Mittel liegen: Vorhersage vom 1. Mai 2003.

5. Wirtschaftliche Aspekte

Es besteht weitgehender Konsens, dass wegen der Verknappung der Erdölressourcen und wegen der Klimaänderung die Energiepreise steigen werden. Diese Tendenz bewirkt eine Senkung der Energieintensität des Bruttonationalproduktes und eine Abschwächung der Zunahme des globalen Energieverbrauchs. Geeignete Anpassungsmassnahmen im Energiesektor begrenzen nicht nur die Schadenskosten, sondern verringern auch die Kosten des Energiesystems selbst, so dass sich im günstigen Fall echte Synergien zwischen Adaptation und Mitigation ergeben.

Entwicklung der Energiepreise

Die Energiepreise werden nicht mehr auf das tiefe Niveau der Periode 1985–2000 zurückkehren und können aufgrund von politischen Verwerfungen mittel- bis langfristig weiter ansteigen. Folgende Entwicklungen tragen dazu bei:

- Die globale Energienachfrage nimmt stark zu. Die International Energy Agency (IEA) rechnet mit einem Anstieg der Nachfrage von 50% bis 2030.¹³ 60% des Anstiegs müssten durch Erdöl und Erdgas gedeckt werden.
- Auch in der Schweiz wird die Nachfrage nach Energiedienstleistungen weiter zunehmen (vgl. Abschnitt 3). Gleichzeitig kommt es als Folge der Klimaänderung zu einer Verlagerung von Heizenergie (Brennstoffe) im Winter zu Kühlenergie (Strom) im Sommer (vgl. Abschnitt 2). Je nach Szenario kann die gesteigerte Nachfrage mit weniger Endenergie gedeckt werden, wobei der Anteil elektrischer Energie in den Effizienzstrategien zunimmt.
- Die Energieproduktion durch Wasserkraft und Kernenergie wird in der Schweiz als Folge der Klimaänderung im Sommer bei gleich bleibenden Fixkosten abnehmen.
- Die Klimaänderung erhöht die Variabilität im hydrologischen Kreislauf. Bei mehr Extremereignissen wird es zu mehr Betriebsunterbrüchen und Schäden kommen. Beispiele dafür sind das Augusthochwasser 2005, welches zu Unterbrüchen bei den

Flusskraftwerken führte, oder die hohen Wassertemperaturen im Sommer 2003, welche zu einer reduzierten Energieproduktion der Kernkraftwerke führte.

Ein wichtiger Einflussfaktor auf die Entwicklung der Energiepreise ist die Frage, ob die externen Kosten der CO₂-Emissionen nachhaltig internalisiert werden (z.B. durch Zertifikate, Lenkungsabgaben, Fördermassnahmen). Über die langfristige Entwicklung der CO₂-Gesetzgebung bestehen grosse Unsicherheiten. Sie hängen zum einen von den Öl-, Gas- und Strompreisen ab. Bei hohen Energiepreisen ist anzunehmen, dass die politisch vorgegebenen CO₂-Kosten sinken, da sie die Kosten der fossilen Energien zusätzlich steigern würden. Zum anderen sind die CO₂-Kosten stark davon abhängig, ob sich global sämtliche Staaten an Klimaschutzvereinbarungen im Sinne des Kyoto-Protokolls beteiligen. Sofern auch in Zukunft wichtige Staaten abseits stehen, wird es zu einer geografischen Verschiebung der Energieproduktion kommen. Insgesamt werden die höheren Energiepreise eine Dämpfung des Energieverbrauchs bewirken. Aus Überlegungen der Energieeffizienz wird es zu einer Verlagerung zu Strom kommen. Die Attraktivität der CO₂-neutralen Energien (neue erneuerbaren Energien und Kernenergie) wird zunehmen. Generell führt die Klimaänderung zu einer Zunahme der Unsicherheiten, weshalb Systeme mit kurzer Pay-back-Dauer bevorzugt werden.

Ökonomische Modellierung von Anpassungs- und Vermeidungsmassnahmen

Als Folge der Klimaänderung wird sich der Anteil des Bruttosozialproduktes, der für den Konsum frei verfügbar ist, aus folgenden Gründen verringern:

- Die durch die Klimaänderung verursachten Schäden müssen von der Volkswirtschaft behoben werden.
- Es müssen Vorbeugungsmassnahmen gegen Schäden getroffen und finanziert werden.
- Klimaschutzmassnahmen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen erfordern zusätzliche Aufwendungen.

Wirtschaftlich werden die ersten beiden Positionen als Adaptationskosten zusammengefasst, das dritte Massnahmenbündel umfasst die Mitigationskosten. Um zu einer optimalen langfristigen Strategie zu gelangen, müssen künftige Kosten und Nutzen der Klimaänderung abgeschätzt und verglichen

werden. Dazu werden der künftige Konsum und die künftigen Wohlfahrtsverluste je nach Zeithorizont mit einem Zinssatz von typischerweise 1.5 bis 5% diskontiert. Diese nüchterne, ökonomische Betrachtungsweise hat den Vorteil, dass sie auf eine optimale Verhaltensweise der globalen Staatengemeinschaft hinweist: Sowohl das Nichtstun als auch ein Überschiessen bei den Massnahmen sind teurer als eine massgeschneiderte Klimaschutzpolitik, welche die langfristige Wohlfahrt maximiert.

Aus derartigen Analysen kann abgeleitet werden, dass sich eine gezielte Klimaschutzpolitik wirtschaftlich auszahlt, dass dadurch die Wohlfahrtsverluste minimiert werden und in der Grössenordnung von weniger als 2% der Referenzentwicklung ohne Klimaänderung bleiben und dass schliesslich als Folge von Klimaschutzmassnahmen der Anteil der Energiekosten am Bruttosozialprodukt leicht abnimmt.

Literatur und Anmerkungen

- 1 GWh/a = Gigawattstunden pro Jahr. 1 GWh = 1 Milliarde kWh. 1 Petajoule (PJ) = 278 GWh. MW = Megawatt (Leistung)
- 2 Bundesamt für Energie BFE. Energieperspektiven 2035. Bern, 2007.
- 3 Road map Erneuerbare Energien Schweiz - Eine Analyse zur Erschliessung der Potenziale bis 2050. SATW-Bericht Nr. 39. Schweiz. Akademie der Technischen Wissenschaften SATW, 2007.
- 4 B. Aebischer, G. Catenazzi. Energieverbrauch der Dienstleistungen und der Landwirtschaft. Ergebnisse der Szenarien I bis IV. Bundesamt für Energie, Bern, 2007.
- 5 P. Hofer. Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 1990–2035. Ergebnisse der Szenarien I a Trend und I b Trend und der Sensitivitäten Preise hoch, BIP hoch und Klima wärmer. Bundesamt für Energie, Bern, 2007.
- 6 Axpo. Stromperspektiven 2020. 2005.
- 7 P. Horton, B. Schaefli, A. Mezghani, B. Hingray, and A. Musy. Prediction of climate change impacts on Alpine discharge regimes under A2 and B2 SRES emission scenarios for two future time periods. Bundesamt für Energie, Bern, 2005.
- 8 M. Piot. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftproduktion in der Schweiz. Wasser, Energie, Luft, 2005.
- 9 S. Hirschberg, C. Bauer, P. Burgherr, S. Biollaz, W. Durisch, K. Foskolos, P. Hardegger, A. Meier, W. Schenler, T. Schulz, S. Stucki und F. Vogel. Ganzheitliche Betrachtung von Energiesystemen. Neue erneuerbare Energien und neue Nuklearanlagen: Potenziale und Kosten. PSI-Bericht Nr. 05-04, Villigen, 2005.
- 10 Zusätzliche 2.5 Mio. m³ Holz heizen ungefähr 1 Mio. energieeffiziente Wohnungen und ersetzen ca. 0.5 Mio. t Heizöl.
- 11 C. Appenzeller, P. Eckert. Towards a seasonal climate forecast product for weather risk and energy management purposes. ECMWF Report, Seasonal forecasting user meeting 2000, 2001, 40–44.
- 12 M. A. Liniger, W. A. Müller, C. Appenzeller. Saisonale Vorhersagen. Jahresbericht der MeteoSchweiz 2003.
- 13 IEA, World Energy Outlook 2004. (<http://www.worldenergyoutlook.org>).

Bauten und Infrastrukturen

Autoren

Dörte Aller

Thomas Frank

Beat Gasser

Willi Gujer

Christoph Hartmann

Alain Jeanneret

Martin Jakob

Hansjürg Leibundgut

Andreas Meier

Simon Meier

Eberhard Parlow

Christoph Ritz, Chair

Hans-Rudolf Schalcher

Roland Stulz

Esther Thalmann

Aller Risk Management

Eidg. Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA

Ingenieurbüro Basler & Hofmann

Professur für Siedlungswasserwirtschaft, ETH Zürich

Novatlantis

Bundesamt für Strassen (ASTRA)

CEPE – Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich

Institut für Hochbautechnik, ETH Zürich

SBB, Fachbereich Naturrisiken

Siemens Building Technologies AG

Institut für Meteorologie, Klimatologie und Fernerkundung

ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz

Institut für Bauplanung und Baubetrieb

Novatlantis

Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz



1. Einleitung

Einbettung

Für den Bereich Bauten und Infrastrukturen sind die Bevölkerungs- und Beschäftigungsentwicklung sowie das Mobilitätsverhalten wichtige Einflussgrößen. Während der letzten Jahrzehnte hat die Verstärkung des Mittellandes deutlich zugenommen. Manche Agglomerationen vergrössern sich nicht nur, sondern wachsen mit anderen zusammen. Deutlich zugenommen hat auch die Mobilität (Fahrleistung). Die räumliche Trennung von Wohn- und Arbeitswelt führt nicht nur zu einer stetigen Zunahme beim Verkehr, sondern erhöht gleichzeitig den Anspruch an eine funktionierende Infrastruktur. Der Wohnraum dehnt sich in Zonen am Rande oder ausserhalb des bisherigen Siedlungsraums aus, welche risikoreicher sind im Hinblick auf ausserordentliche Wetterereignisse. Insgesamt ergibt sich aus diesen Entwicklungen ein komplexes System, das zunehmend empfindlicher wird. Gleichzeitig steigen die Kosten, wenn Systemelemente zusammenbrechen oder ausfallen. Um Schäden zu reduzieren oder zu verhindern, müssen die Risiken der Klimaänderung frühzeitig abgeschätzt und berücksichtigt werden. Aufgrund der langen Lebensdauer von Bauten und Infrastrukturen ist es wichtig, architektonische, raumplanerische, baukonzeptionelle und gebäudetechnische Entscheide frühzeitig an stattfindende und künftige klimatische Veränderungen anzupassen. Erstens können dadurch Zusatzkosten für spätere Massnahmen vermieden werden. Zweitens reduziert eine angepasste Bauweise mögliche wetter- und klimabedingte Schäden. Drittens erhöhen sich die Sicherheit und der Komfort in der Wohn- und Arbeitswelt sowie die Betriebssicherheit im Transportbereich.

Die in diesem Kapitel betrachteten Siedlungselemente beinhalten die Bauten der Wohn- und

Arbeitswelt, Transport- und Verkehrswege sowie die Siedlungswasserwirtschaft (vgl. Abb. 1, blau hinterlegte Bereiche). Die übrigen Aspekte des Wassers wie natürliche Gewässer, Wasser als Naturgefahr, Wasserdargebot und -bedarf sowie Wassernutzung sind im Kapitel Wasserwirtschaft enthalten. Der Bereich Energie wird in einem separaten Kapitel diskutiert. Als übergeordnete Ebene wird im Kapitel Bauten und Infrastrukturen zudem die Siedlung als Ganzes betrachtet, wobei lediglich die städtischen Siedlungen diskutiert werden.

Folgende Aspekte der Klimaänderung sind für den Bereich Bauten und Infrastrukturen von besonderer Bedeutung:

- Temperaturanstieg / Zunahme von Hitzeperioden
- Veränderungen im Wasserhaushalt
- Zunahme von winterlichen Starkniederschlägen
- Zunahme von Winterstürmen
- Zunahme von Gewittern mit Hagel, Starkregen und Böen

Bei der Betrachtung der Auswirkungen auf Siedlungselemente und Siedlungen als Ganzes liegt der Schwerpunkt auf zwei Aspekten: (1) Lebens- und Arbeitsqualität, (2) Stabilität und Werterhaltung von Bauten und Infrastrukturen.

Überblick

Siedlungselemente: Gebäude

Raumklima

Neuere Gebäude verfügen in der Regel über einen guten Wärmeschutz, welcher während der kalten Jahreszeit den Heizbedarf vermindert. Im Sommer dringt die Wärme während Hitzeperioden zwar etwas langsamer ein, kann aber auch schlechter nach aussen abgegeben werden. Die Sonnenstrahlung sowie die zusätz-

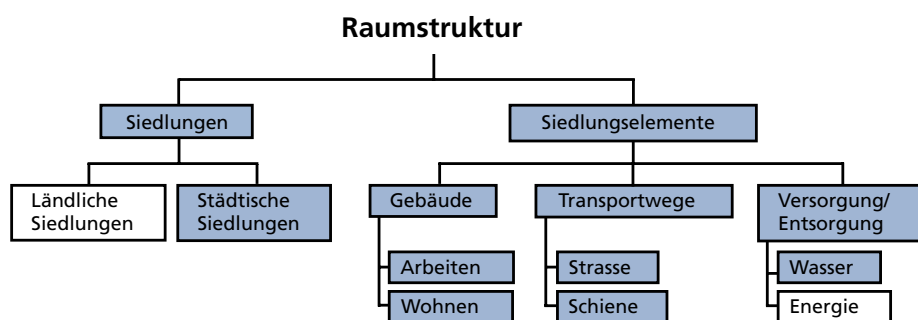


Abbildung 1: Überblick über die im Kapitel Bauten und Infrastrukturen behandelten Bereiche (blau hinterlegt). Die Raumstruktur wird aufgrund der starken Vernetzung mit anderen Themenbereichen als Syntheseaspekt diskutiert (vgl. Kapitel Urbane Schweiz). Die ländlichen Siedlungen werden nicht speziell berücksichtigt, dem Thema Energie widmet sich ein separates Kapitel.

lich durch Geräte, Beleuchtung und Personen produzierte Wärme kann insbesondere in Büro- und anderen Dienstleistungsgebäuden sowie Industriebetrieben eine Kühlung erforderlich machen. Mit der Klimaerwärmung nimmt die Länge der Kühlperiode zu und ebenso die Wahrscheinlichkeit von Hitzewellen. Vorausschauende Massnahmen wie die Verwendung energieeffizienter Geräte und geregelter Beleuchtungen und Sonnenschutzanlagen, eine gute (Fenster-)Lüftung sowie hocheffiziente Gebäudekühlsysteme können einen wirksamen Beitrag zu einem besseren Raumklima leisten.

Gebäudehüllen und ganze Bauten

In Bezug auf die Gebäudehüllen ist die frühzeitige Anpassung von Baunormen besonders wichtig. Diese beruhen derzeit auf Mittelwerten vergangener Beobachtungsperioden, sollten jedoch dringend auf das künftige Klima ausgerichtet werden.

Die Bedrohung ganzer Bauten resultiert primär aus der erwarteten Zunahme bei den extremen Wetterereignissen. Solche Ereignisse können grosse finanzielle Schäden zur Folge haben, welche jedoch nicht nur auf die Klimaänderung zurückzuführen sind. Einen wesentlichen Einfluss haben auch die zunehmende Wertekonzentration, die wachsende Schadenempfindlichkeit sowie die Ausdehnung von Wohnbauten in Gebiete, die früher als zu risikoreich galten. Die Raumplanung hat daher ebenfalls eine wichtige Funktion zu erfüllen: Eine Minimierung der Kosten erfordert in gefährdeten Gebieten die optimale Ergänzung von Zonenplanung und Schutzmassnahmen.

Schienen- und Strassennetz

Bei den Auswirkungen der Klimaänderung auf das Schienen- und Strassennetz sind die grössten Probleme durch die Veränderungen im Terrain, insbesondere als Folge der Zunahme von Starkniederschlägen zu erwarten. Murgänge, Hangmuren und Rutschungen können grosse Schäden an der Infrastruktur bewirken. Zu berücksichtigen ist in diesem Zusammenhang die Tatsache, dass Naturrisiken unabhängig von klimatischen Veränderungen allein durch die zunehmenden Infrastrukturwerte mit der Zeit grösser werden. Lösungsstrategien sind in vielen Fällen vorhanden und müssen in einem angemessen erweiterten Umfang angewendet werden. Gerade im Strassenverkehr verlangt die Beurteilung der Notwendigkeit von Massnahmen

auch einen Vergleich mit anderen Risiken, insbesondere der Gefährdung durch Verkehrsunfälle.

Siedlungswasserwirtschaft

Für die Siedlungswasserwirtschaft sind die Konsequenzen der Klimaänderung nur zum Teil abschätzbar. Die Wasserversorgung wird mit grosser Wahrscheinlichkeit trotz veränderter Nachfrage (z.B. erhöhter Bedarf im Sommer) mit einem optimierten Wassermanagement gesichert sein. Bei der Abwasserentsorgung können steigende Temperaturen, Trockenperioden, aber auch intensive Niederschläge möglicherweise Anpassungen im Betrieb von Kläranlagen erfordern.

Städtische Siedlungen

Die Temperaturzunahme sowie das vermehrte Auftreten von Hitzewellen oder Hitzeperioden werden in städtischen Siedlungen die Wärmebelastung besonders erhöhen. Im Hinblick auf die gesundheitlichen Folgen ist eine Berücksichtigung in der Raumplanung dringend erforderlich. Geeignete Massnahmen zur Reduktion der Wärmebelastung können als zusätzlicher positiver Effekt auch die Luftqualität verbessern.

Verknüpfung mit anderen Themen

Energie

Die Einsparungen bei der Heizenergie werden durch einen erhöhten Bedarf an Elektrizität für Raumkühlung teilweise kompensiert.

Gesundheit

Vor allem in städtischen Siedlungen kann die erhöhte Wärmebelastung zu gesundheitlichen Problemen führen.

Landwirtschaft

Der erhöhte Wasserbedarf von Landwirtschaft und Haushalten kann zu Konflikten führen.

Tourismus

Der Tourismus ist stark abhängig von einer zuverlässig funktionierenden Infrastruktur.

Versicherung

Naturgefahren können zu mehr Schäden führen. Anpassungsstrategien an die Klimaänderung können die Schadenempfindlichkeit mindern (z.B. bruchsicere Dachverglasungen) oder erhöhen (z.B. Sonnenschutz).

2. Gebäude

Raumklima

Mit der Erwärmung des Klimas wächst der Bedarf nach Raumkühlung. Eine entsprechende Bauweise bei Neubauten respektive die angepasste Erneuerung bereits bestehender Bauten ermöglichen eine energieeffiziente Gebäudekühlung und damit die Minimierung der Kosten.

Neuere und erneuerte Wohn- und Bürobauten verfügen heute über eine gute bis sehr gute Wärmeisolation, welche im Winter den Wärmebedarf durch Raumheizung reduziert. Gleichzeitig vermindert die bessere Dämmung der Gebäudehüllen im Sommer die Abgabe der ins Gebäude eindringenden sowie der im Gebäude produzierten Wärme an die Aussenwelt. Bei grossen Wärmequellen im Gebäude selbst und hohen Energieeinträgen durch Sonnenstrahlung führt dies zu einem Wärmestau und somit vor allem in Nutzbauten zu einem Kühlbedarf (vgl. Kapitel Energie, Abschnitt 2). Mit der Klimaerwärmung wird die jährliche Kühlperiode länger und bei Hitzeperioden kann die Raumtemperatur zur Belastung werden. Als Folge davon, aber auch aufgrund steigender Komfortansprüche, wird die Bedeutung der Raumkühlung zunehmen.

Bürogebäude und andere Nutzbauten

Wärmelast und Arbeitsproduktivität

In Bürobauten führen hohe Aussentemperaturen, interne Wärmelasten sowie die Sonnenstrahlung häufig zu besonders unangenehmen Bedingungen. Viele Gebäude verfügen über grosse Glasfronten, über welche Licht und Solarenergie eindringen können. Im Raum und in der Verglasung wird das Licht teilweise in Wärme umgewandelt. Zusätzliche Wärme wird durch elektronische Geräte wie Computer, Kopierer, Drucker etc. produziert. Eine hohe Personendichte in Bürogebäuden und die Beleuchtung tragen gleichermaßen zur Wärmebelastung bei. Bei gutem Wärmeschutz, der im Hinblick auf einen geringen Heizwärmebedarf und aus Komfortgründen selbst bei wärmerem Klima unabdingbar ist, kann diese Wärme jedoch durch die Fenster und die übrige Gebäudehülle kaum entweichen. Dies führt an sonnenreichen und warmen Tagen zu hohen Raumtemperaturen, welche nicht nur unangenehm sind, sondern auch die Arbeitsproduktivität reduzieren. Untersuchungen zeigen, dass im Sommer bei Temperaturen über 26 °C die Arbeitsproduktivität bei Büroarbeiten abnimmt.^{1,2,3} Im Hitzesommer 2003 stieg die

Temperatur in einem durchschnittlichen, nicht aktiv gekühlten Büroraum trotz Nutzung einer Nachtauskühlung an 22 Tagen über 26 °C (vgl. Abb. 2), und zwar innerhalb eines Zeitraums von vier Wochen. In einem durchschnittlichen Sommer ist dies an sieben Tagen der Fall. Bei Bürobauten ohne Nachtauskühlung, wie es heute noch die Regel darstellt, wird die Komfortgrenze noch wesentlich häufiger überschritten.⁴ Folglich beschränkt sich der Kühlbedarf nicht auf ausserordentliche Hitzeperioden, sondern entsteht auch im Verlaufe eines durchschnittlichen Sommers.

Anpassung bestehender Bauten

Bei bestehenden Bauten kann die Problematik der Wärmebelastung mit einem guten Sonnenschutz, energieeffizienten und geregelten (z.B. tageszeit- und präsenzorientierten) Geräten und Beleuchtungen, der Möglichkeit der Fensteröffnung sowie dem Einbau von Kühlanlagen gelöst werden. Durch eine Optimierung der Technik und durch Synergieeffekte mit der Raumwärmebereitstellung lassen sich sowohl die Investitions- wie die laufenden Kosten minimieren. Bei Neubauten kann eine entsprechende Bauweise den Einbau von Klimageräten überflüssig machen. So genannte Free-Cooling-Systeme oder hocheffiziente Kühlanlagen verbrauchen im Vergleich zum heutigen Standard von Kühlgeräten und -anlagen einen Bruchteil an Energie⁶. Solche Systeme nutzen für die Kühlung so weit als möglich die freie Kälte (z.B. niedrige Aussentemperaturen in der Nachtzeit, Verdunstung, Wärmepumpen-Erdsonden) zur Kühlung der Decken, Böden und Wände, welche am folgenden Tag wieder Wärme aus der Raumluft aufnehmen können. Einen wesentlichen Beitrag können architektonische Massnahmen leisten wie zum Beispiel Sonnenschutz (wobei eine Zunahme der Gefährdung durch Hagel und Sturm zu berücksichtigen ist, vor allem bei hohen Gebäuden, vgl. Abschnitt Gebäudehülle), Raumtiefe, Fenstergrösse und -ausrichtung sowie landschaftsarchitektonische Elemente wie Bäume, Grünflächen und Wasseranlagen.

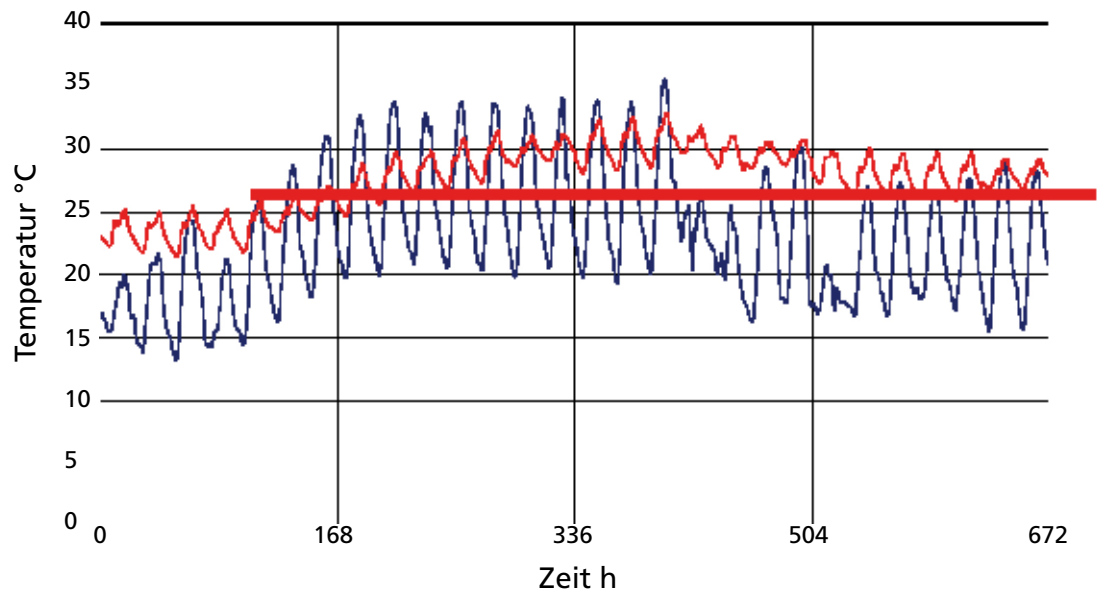


Abbildung 2: Berechneter Temperaturverlauf während 4 Wochen im Hitzesommer 2003, Standort MeteoSchweiz Zürich. Aussentemperatur (blau) sowie Innentemperatur (rot) in einem Bürogebäude mit hohem Glasanteil (80%), gutem Sonnenschutz ($g=0.10$), mässigen internen Lasten (15W/m^2), Komfortlüftung am Tag und intensiver Nachtlüftung ($nL=0.3\text{h}^{-1}$). Während mehrerer Tage wird die Komfortgrenze von 26 °C (roter Balken) überschritten, oberhalb welcher die Produktivität am Arbeitsplatz rasch abnimmt. (Quelle: Frank 2006)⁵

Effizienz und Energiebedarf

Sofern beim künftigen Bauen die genannten kritischen Punkte berücksichtigt werden, wird insgesamt erwartet, dass die Einsparungen bei der Heizenergie grösser sein werden als der zusätzliche Energiebedarf für das Kühlen. Allerdings bedeutet diese Veränderung eine Verlagerung der Nachfrage von den Brennstoffen zu Strom (vgl. Kapitel Energie, Abschnitt 2). Wirtschaftliche und ressourcenpolitische Gründe sprechen für eine möglichst effiziente Gebäudekühlung (vgl. Kapitel Energie, Abschnitt 5), insbesondere auch angesichts der enorm grossen Energieeinsparungen im Vergleich zu ineffizienten Kühlmassnahmen. Eine besondere Herausforderung ist in dieser Hinsicht, dass eine effiziente Gebäudekühlung die sorgfältige Abstimmung verschiedener Elemente (z.B. Isolation, Ventilation, Beschattung, Fenster) bedingt. Eine solche integrale Konzeption und Planung stellt heute jedoch noch den Ausnahmefall dar. Auf jeder Ebene werden primär die Investitionsanstelle der Lebenszykluskosten minimiert, was die Realisierung sorgfältig aufeinander abgestimmter Systeme verhindert. Dringender Handlungsbedarf besteht daher in der Energiepolitik, auf der gesetzgeberischen Ebene, bei den betroffenen Branchen sowie bei den Bauherren und Gebäudebesitzern, -betreibern und -nutzenden.

Anpassungskosten

Für die Anpassung von bereits bestehenden Bürogebäuden und anderen Nutzbauten wie Einkaufszentren, Spitäler, Heime, Schulen ist mit zusätzlichen Kosten zu rechnen, wobei Klimaanlage, Klimaanlageanierungen und ein verbesserter Sonnenschutz den grössten Kostenanteil ausmachen werden. Gemäss einer Untersuchung im Auftrag des Bundesamts für Energie⁷ wird allein der Überhitzungsschutz Kosten von 10 Franken pro Quadratmeter und Jahr verursachen. Die Bürofläche umfasst heute rund 40 Mio. m^2 ; insgesamt beträgt die beheizte und beleuchtete Fläche des Dienstleistungssektors über 150 Mio m^2 . Die Kühlung von zwei Dritteln dieser Fläche würde jährliche Kosten von 1 Mrd. Franken pro Jahr verursachen. Der Nutzen in Form von höherer Arbeitsproduktivität und Arbeitsplatzattraktivität wird allerdings als noch höher eingeschätzt, weshalb die Gebäudekühlung zum Thema der kommenden Jahre werden wird.

Wohnbauten

Bei Wohnbauten kann bei angepasster Bauweise in der Regel auf Kühlgeräte verzichtet werden, insbesondere wegen der Nachtauskühlung durch Fensteröffnung. Ein guter und eventuell geregelter Sonnenschutz reduziert die externe

Wärmelast. Eine geeignete Lüftung, z.B. über Erdregister, sowie eine Fenster- und Nachtlüftung durch entsprechende Klappen und Schlitze führen die Wärme ab. Beide Massnahmen – Reduktion der Wärmelast sowie Abführung vorhandener Wärme – tragen zu einem komfortablen Innenraumklima bei. Die Wirkung der

Nachtauskühlung kann durch die Nutzung des Speichervermögens im Innern, beispielsweise durch sichtbare Betondecken, Bodenbeläge ohne Teppiche und die Verstärkung der Dachräume durch Gipsplatten, erhöht werden. Zu nennen ist auch die Nutzung von Erdsonden als relativ energieeffiziente Kühlquelle.

Gebäudehülle

Die erwartete Zunahme von Intensität und Häufigkeit extremer Wetterereignisse gefährdet empfindliche Elemente der Gebäudehülle. Die heutigen Baunormen, welche auf Klimamittelwerten vergangener Beobachtungsperioden beruhen, müssen dem künftigen Klima angepasst werden.

Die Verletzlichkeit von Bauelementen am Äusseren von Bauten könnte in Zukunft möglicherweise ansteigen. Einerseits wird tendenziell mit einer Zunahme der Häufigkeit und/oder Intensität von ausserordentlichen Wetterereignissen (z.B. Starkniederschläge, Winterstürme) gerechnet. Gleichzeitig wird die Zahl an leicht schadenanfälligen Konstruktionen vermutlich zunehmen. Dies können Beschattungsanlagen zum Schutz vor der Klimaerwärmung, Dämmungen und Anlagen zur Energieersparnis oder -erzeugung (z.B. Solaranlagen) sein. Die Vielfalt der eingesetzten Materialien bei Dächern und Fassaden hat zugenommen. Insbesondere bei Büro- und Industriegebäuden werden oft Materialien mit mangelnder Hagelresistenz eingesetzt. Es sind dies lichtdurchlässige Kunststoffe, Bleche und Sonnenschutzrichtungen (vgl. Abb. 3).

Bisher stützen sich die Anforderungen an die Sicherheit von Bauelementen am Äusseren von Bauten auf Mittelwerte vergangener Beobachtungsperioden des Klimas, die in Baunormen festgeschrieben sind. Nicht nur technische Bauten (z.B. Masten und Türme, weitgespannte Brücken, Treibhäuser) und Bauten an extremen Lagen (z.B. Hochgebirge, Flussnähe), sondern auch normale Bauten sind von stärkeren Witterungseinflüssen betroffen. Die Befestigungen von Leichtfassaden und Dachbelägen, die Bruchsicherheit von Dachverglasungen, die Witterungsbeständigkeit von Beschattungs- und Solaranlagen müssen bei bestehenden Bauten überprüft und bei Neubauten auf das künftige Klima ausgerichtet werden.



Abbildung 3: Hagelschaden an Kunststofffassade, Wetzikon 2004.
(Quelle: Thomas Egli)

Extremereignisse und Bedrohung ganzer Bauten

Die mögliche Zunahme von Hochwassern, Starkniederschlägen, Stürmen und Hagelereignissen kann Bauten gefährden und zu grossen finanziellen Schäden führen. Die sich verändernden Risiken erfordern die Anpassung von Bauvorschriften.

Hochwasser

Wenn Hochwasser heute auftreten, haben sie im Bereich der Infrastrukturen in der Regel grosse finanzielle Schäden zur Folge. Dies ist nicht auf die Klimaänderung, sondern auf die enorme Wertekonzentration zurückzuführen, d. h. durch den kontinuierlichen Ausbau von Strassen- und Schienennetz, den Bau von Brücken und Häusern nimmt das Risiko von Schäden zu. Überdies haben sich im Vergleich zu früher Bauten in Gebiete ausgedehnt, die früher als zu risikoreich erachtet und gemieden wurden.

Die Frage, ob Hochwasser mit der Klimaänderung häufiger werden, kann die Wissenschaft heute noch nicht endgültig beantworten (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft, Abschnitt 3). Eine Zunahme der Häufigkeit scheint insbesondere im Winter und in den Übergangsjahreszeiten wahrscheinlich. Betroffen wären vermutlich primär das Mittelland, die Voralpen sowie das Tessin. Um zu verhindern, dass sich mit der Klimaänderung das Schadenmass von Hochwasserereignissen erhöht, ist der Hochwasserschutz ständig zu überprüfen. Die flexible Strategie, welche die Schweiz dabei verfolgt (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft, Abschnitt 3), zielt darauf ab, in erster Linie Schäden zu vermeiden und nicht unbedingt Überschwemmungen zu verhindern.⁸

Stürme

Besonders exponierte Gebäude wie zum Beispiel Sendetürme werden in Stürmen von der Intensität eines Lothars (Dezember 1999) bis nahe an die Stabilitätsgrenze belastet. Nehmen solche Stürme zu, erfordert dies eine Verschärfung der Bauvorschriften.

Starkregen

Die erwartete Zunahme intensiver Starkniederschläge ist bei der Bemessung der Liegenschaftsentwässerung zu berücksichtigen. Betroffen hiervon sind Erd- und Untergeschosse von Gebäuden angrenzend an Hanglagen und in Muldenlagen. Auch in Stadtzentren kann diese Gefährdung vermehrt auftreten, da die Entwässerungen oft auf wenig intensive Niederschläge bemessen sind.⁹

Hagel

Zwischen 1983 und 2003 hat sich die Anzahl grosser Hagelzüge in der Schweiz (Zugbahnlänge > 100 km) verdoppelt.^{10,11} Die grossen Hagelzüge verursachen Hagelkörner mit grossem Durchmesser. Diese schädigen empfindliche Dach- und Fassadenmaterialien wie zum Beispiel Kunststoffe, Bleche und Aussendämmungen. Die Beschattungselemente sind allgemein sehr empfindlich gegenüber der Einwirkung durch Hagel.⁹



Abbildung 4: Schneedruck verursacht Hallendacheinsturz, Waldstatt 2006. (Quelle: Thomas Egli)

Schneelasten

Die erwartete Zunahme bei den Winter-niederschlägen kann in Höhenlagen, wo dieser Niederschlag als Schnee fällt, statische Probleme bei Dächern zur Folge haben. Bei zu hoher Schneelast drohen massive Beschädigungen und im schlimmsten Fall sogar der Einsturz des Daches. Besonders gefährdet sind Hallen mit grösseren Spannweiten aus leichteren Baumaterialien wie beispielsweise Holz oder Stahl. In solchen Fällen ist die Schneelast im Verhältnis zum Eigengewicht gross. Gefährdet sind auch Flachdächer, insbesondere wenn infolge schlechter Wärmedämmung der früher gefallene Schnee auf dem Dach zu Eis geworden ist und neue Schneefälle die Belastung noch erhöhen. Um das Risiko von Dacheinstürzen zu minimieren, muss bei der Planung privater und öffentlicher Gebäude die zukünftig möglicherweise erhöhte Schneelast berücksichtigt werden.

Lawinen

Die Gefahr von Lawinen kann sich mit der Erwärmung des Klimas verändern. Ob Lawinen häufiger oder seltener werden, ist heute unklar. Unabhängig von einer Veränderung der gesamten Anzahl von Lawinen kann sich auch deren Häufigkeit für bestimmte Regionen verändern. In jedem Fall verlangt eine Minimierung der Kosten eine Risikoabschätzung und entsprechende Massnahmen (Zonenplanung, Schutzmassnahmen)⁸. Der Lawinenwinter 1999 hat gezeigt, welches Schadensausmass Schneemassen zur Folge haben können.

Unsicherheiten / Offene Fragen

Um das Temperatur- und Feuchteverhalten von Räumen sowie deren Einfluss auf die Behaglichkeit und Produktivität abschätzen zu können, sind verbesserte Modelle erforderlich. Auch sollte die Frage des thermischen Komforts nicht gesondert betrachtet, sondern ganzheitlich zusammen mit mikroklimatischen und energetischen Fragestellungen untersucht werden.

3. Transportwege

Schiennetz

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf das Schiennetz sind vor allem auf die mögliche Zunahme von extremen Wetterereignissen zurückzuführen. Starke Niederschlagsereignisse gefährden die Trassenstabilität, Stürme und Hitzeperioden können zu Beeinträchtigungen bei Fahrleitungen und Schienen führen. Entsprechende Gegenmassnahmen verhindern einen exponentiellen Anstieg der Schadenssumme.

Trassenstabilität und -sicherheit

Die Bahntrassen sind bereits heute regelmässig Naturgefahren ausgesetzt, primär durch ausserordentliche Wetterereignisse wie beispielsweise lange Regenperioden oder starken Schneefall. So wurden im Zusammenhang mit dem Augusthochwasser 2005 zahlreiche Bahnhöfe überschwemmt (vgl. Abb. 5). Starke Niederschläge können nicht nur Überschwemmungen zur Folge haben, sondern auch zu Rutschungen und Hangmuren führen. Stauungen und Nässungen im Geleisebereich sowie Ufererosion und Murgänge aus Gerinnen sind weitere mögliche Folgen.



Abbildung 5: Hochwasser August 2005, Dornibach/SZ (Quelle: SBB)

Niederschlag

Mit der prognostizierten Zunahme beim Winterniederschlag, der überdies in tieferen Lagen vermehrt als Regen fallen wird, sowie der erwarteten Zunahme von winterlichen Starkniederschlägen nimmt die Gefährdung der Trassenstabilität zu. Insbesondere ist die Stabilität von Böschungen und Hängen vermehrt in Frage gestellt. Starke Niederschläge können auch zur Unterspülung von Trassen führen.

Die zukünftige Häufigkeit von Instabilitäten und Entwässerungsproblemen ist nicht nur von der Niederschlagsmenge und -intensität abhängig. Wichtige Einflussfaktoren sind auch die Bodenfeuchte und das Wasserspeichervermögen von Böden und Lockergestein sowie der Wasserabfluss in naheliegenden Gerinnen. Dies gilt insbesondere für den Sommer, wo die Gesamtniederschlagsmengen zwar tendenziell abnehmen, der Regen aber vermehrt auf ausgetrockneten Boden fällt.

Es scheint wahrscheinlich, dass die Instabilität von Böschungen und Hängen mit zunehmenden Niederschlägen ansteigt. Abgesehen von nahe an Abhängen verlaufenden Eisenbahnlinien, bergen insbesondere im Mittelland und Voralpenbereich

künstlich angelegte Böschungseinschnitte ein nicht zu unterschätzendes Abrutschpotenzial. Auch dort können starke Niederschläge zu Vernässung, Instabilität und in der Folge zu Rutschungen führen.

Über der Schneefallgrenze können die grösseren Niederschlagsmengen im Winter zu einer Zunahme der Lawinengefahr oder Behinderungen der Infrastruktur (Weichenblockierung, Sichtbeschränkungen, Schneehöhen auf Trasse) führen. In Bezug auf Lawinnenniedergänge verfügen die Bahnen über ein Kataster der relevanten Lawinenzüge. Kritische Gebiete sind bereits heute mit Schutzgalerien gesichert oder werden während starken Schneefällen besonders überwacht. Die Sicherung zusätzlicher Lawinenzüge liesse sich bei einem entsprechenden Bedarf relativ direkt realisieren.

Temperatur

Die Folgen der durchschnittlichen Temperaturzunahme ebenso wie jene der vermutlich häufiger auftretenden Hitzewellen werden in Bezug auf die Trassenstabilität und -sicherheit primär indirekter Natur sein. Auswirkungen sind als Folge des tauenden Permafrosts sowie eventuell über Veränderungen in Tau- und Frostprozessen möglich.

Der Hitzesommer 2003 hat die Auswirkungen hoher Temperaturen auf die Hangstabilität gezeigt. Während dieses ausserordentlich heissen Sommers wurde eine grosse Zahl von Steinschlägen und Felsstürzen im gesamten Alpenraum, insbesondere in den oberen Höhenlagen und an nordexponierten Hängen, beobachtet. Diese ausserordentliche Felssturzaktivität wird als Hinweis darauf gedeutet, dass die Destabilisierung aufgrund extremer Hitze als fast sofortige Reaktion erfolgt. Da die Gebiete mit Permafrost sehr häufig ausserhalb der Siedlungs- und Infrastrukturgebiete liegen, ist auch die zukünftige Gefährdung begrenzt. In kritischen Gebieten können Risiken und Schäden durch einen Ausbau der absichernden Massnahmen (z. B. Sicherheitsnetze, Schutzwälle, Überwachung) minimiert werden.

In tieferen Lagen, die aufgrund der Temperaturzunahme zukünftig vermehrt positiven Temperaturen ausgesetzt sind, ist möglicherweise eine Reduktion der Sturzprozesse denkbar.

Ingenieurbauwerke

Bei Ingenieurbauwerken wie Brücken, Tunneln, und Durchlässen sind keine baulichen Probleme im Zusammenhang mit der Klimaerwärmung zu erwarten. Die Grössenordnung der Temperaturzunahme kann von den Bauwerken im Normalfall ohne Konsequenzen aufgenommen werden. Auch bei Stürmen sind keine statischen Probleme zu erwarten. Eine Zunahme der Kolkerscheinungen und der Durchflussprobleme bei Brücken und Durchlässen infolge grösserer Hochwassermengen ist möglich.

Fahrleitungen und Schienen

Winterstürme

Aufgrund der erwarteten Zunahme von Winterstürmen ist vermehrt mit umstürzenden Bäumen zu rechnen (vgl. Abb. 6). Fallen solche Bäume auf Fahrleitungen oder Bahngleise, führt dies in der Regel zu Verspätungen und Unterbrechungen des Bahnbetriebs und zu Schäden an der Infrastruktur. Vom rund 3000 km langen Streckennetz der SBB ist rund ein Drittel ein- oder zweiseitig bewaldet.

Die SBB strebt auf allen bewaldeten Strecken ein definiertes Waldprofil an. In der Nähe der Geleise werden kleinere Büsche und Sträucher bevorzugt und mit zunehmender Distanz auch höher wachsende Bäume, so dass ein klares Profil entsteht. Umstürzende Bäume können somit kaum mehr Schäden verursachen. Dieses Vorgehen ist vorteilhaft in Bezug auf die Verfügbarkeit und Sicherheit bei Sturm, jedoch wenig günstig hinsichtlich der Beschattung der Böschungen bei Hitzeperioden (Mikroklima der Bahnböschungen).

Temperaturtrend / Hitzeextreme

Der Anstieg der Sommertemperaturen hat Auswirkungen auf das Schienennetz. Über Tage anhaltende hohe Temperaturen können Gleisverwerfungen zur Folge haben. Diese entstehen, weil die Ausdehnung der Schienen durch die Wärme infolge der nahtlosen Verschweissung verhindert ist. Die dadurch entstehenden Druckkräfte können zum lateralen Verschieben der Geleise (Verwerfung) führen. Beim Verlegen der Schienen werden Massnahmen getroffen, um diese Druckkräfte zu vermindern und um den seitlichen Widerstand des Geleises zu erhöhen.



Abbildung 6: Baum auf Fahrbahn, Wiggen
(Bild: SBB)

Während des Hitzesommers 2003 traten Verwerfungen rund 50% häufiger auf als dies bei einem Durchschnittssommer der Fall ist. Um keine Entgleisungen zu riskieren, müssen die Züge bei Gleisverwerfungen die Geschwindigkeit drosseln oder können im Extremfall die entsprechenden Strecken nicht mehr befahren. Im Hinblick darauf, dass bis zum Jahre 2050 Hitzeperioden wesentlich wahrscheinlicher werden, müssen die Bahnbetreiber häufigeren Verwerfungen vorbeugen. Das Bauverfahren kann mit einem gewissen Mehraufwand so angepasst werden, dass die Schienen höhere Temperaturen schadlos überstehen. So gelten für das Tessin bereits heute strengere Anforderungen. Die Schienen werden beim Einbau einer höheren Temperatur ausgesetzt, um späteren Verformungen vorzubeugen.

Zunahme bei Sommerstürmen?

Ein potenzielles Risiko für die Fahrleitungen stellen auch sommerliche Wärmegewitter dar, da Blitzeinschläge zu Betriebsstörungen und Beschädigung der Fahrleitungsanlagen führen können. Da in Bezug auf Sommerstürme jedoch bisher keine Prognosen gemacht werden können, ist zurzeit nicht abschätzbar, ob sich dieses Risiko verändert.

Entwicklung der Schadensumme

Gemäss einer Untersuchung der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), welche die Entwicklung der Schadensumme von 1972–2005 zeigt, sind die kumulativen Kosten für Schäden durch Hochwasser, Rutschungen und Murgänge in den vergangenen 30 Jahren nahezu zeitlinear angestiegen (vgl. Abb. 7). Der Bericht weist darauf hin, dass der Anstieg der kumulierten Schadenkosten im Vergleich zum Anstieg der Bevölkerung, der Fläche des Siedlungsraumes und der Wertdichte deutlich unterproportional ist. Das Ausmass an Naturereignisschäden ist demnach kleiner als aus der Wertentwicklung effektiv zu erwarten wäre. Diese Entwicklung wird nicht zuletzt auf die Wirkung der ergriffenen Schutzmassnahmen zurückgeführt. Angesichts der erwarteten Veränderungen scheint es wahrscheinlich, dass durch eine vorausschauende Planung und der Umsetzung entsprechender Massnahmen eine exponentielle Zunahme der Sachschadensummen weitgehend verhindert werden kann.

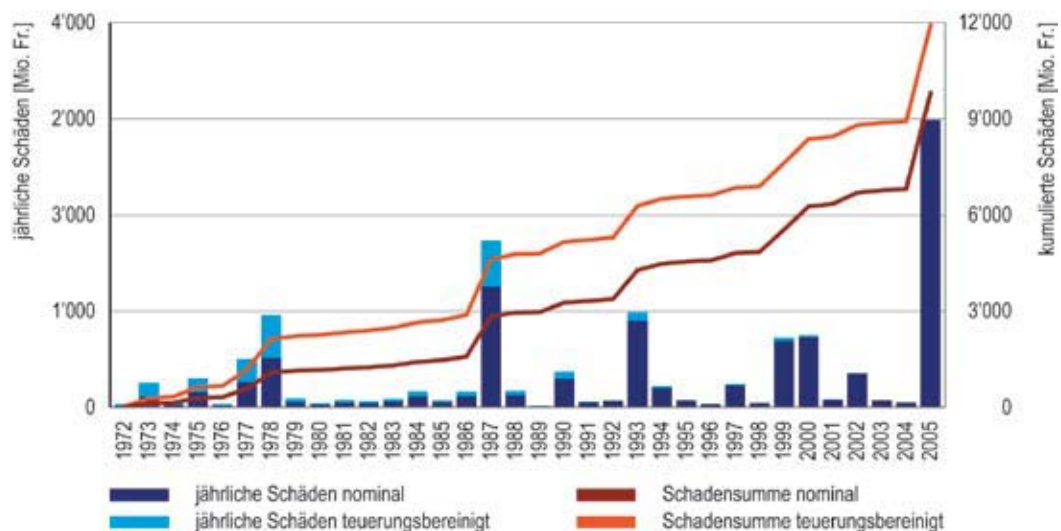


Abbildung 7: Schadensumme 1972 – 2005. Hochwasser. Rutschungen. Murgänge.
(Quelle: Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2007)

Strassennetz

Wie das Schienennetz ist auch das Strassennetz primär durch Extremereignisse gefährdet. Mit Gegenmassnahmen aufgrund neuer Gefährdungen und Anpassungen im Strassenbau bleiben Beeinträchtigungen und Risiken im Strassenverkehr weitgehend konstant.

Die Klimaänderung wird sich auf das Strassennetz in ähnlicher Weise auswirken wie auf das Schienennetz. Grundsätzlich wird erwartet, dass die Folgen bei den Strassen geringeren Ausmasses sein werden, da das Strassennetz vom Bau her in der Regel weniger sensibel ist. Andere Faktoren, beispielsweise eine weitere Erhöhung der Gewichtslimite bei Lastwagen oder eine deutlich höheres Aufkommen schwerer Fahrzeuge, hätten mit grosser Wahrscheinlichkeit schwerwiegendere Folgen als die erwartete Klimaänderung. Das sehr dichte Strassennetz hat gegenüber dem Schienennetz überdies den Vorteil der Flexibilität: Wenn ein Streckenabschnitt gefährdet oder nicht mehr passierbar ist, so sind häufig alternative Fahrtrouten vorhanden.

Der Strassenbau wird sich in Bezug auf verwendete Materialien für und Aufbau des Strassenkörpers den veränderten Bedingungen wo nötig anpassen. Die wichtigsten klimatischen Einflüsse auf das Strassennetz werden Hochwasser und Hanginstabilitäten sein. Im Weiteren können Lawinen, Winterstürme und Hagel Beeinträchtigungen im Strassenverkehr zur Folge haben.

Starkniederschlag/Überschwemmungen

Hochwasser können Strassenabschnitte ebenso betreffen wie Bahnlinien. Ausserordentliche Wassermassen können zu Unterspülungen oder in flacheren Gebieten zu Überschwemmungen führen (siehe Abb. 8), wenn Flüsse und Seen über die Ufer treten. In Bergregionen haben starke Niederschläge häufig Erdbeben und Murgänge zur Folge. Andererseits könnten sich schneeärmere Winter im Strassenverkehr positiv auswirken: Das Unfallrisiko nimmt ab und der Aufwand für Strassenunterhaltsarbeiten sinkt.

Hanginstabilitäten

Das Risiko für Murgänge (Rüfen) und Felsstürze besteht im Strassenverkehr ebenso wie im Schienenverkehr. Gefährdet sind vor allem Strassen in höheren Lagen oder an exponierten Stellen. Felsstürze sind nicht zwangsläufig auf die Klimaänderung zurückzuführen, sondern können unterschiedliche Ursachen haben. Als auslösende Faktoren

kommen in Frage: die Verwitterung des Gesteins, grössere Wassermengen, welche als Schmiermittel wirken, Frost-/Taueffekte, welche zur Lockerung des Gesteinsverbandes führen oder das Auftauen des Permafrosts aufgrund steigender Temperaturen (vgl. Trassenstabilität und -sicherheit). Auch eine Kombination verschiedener Faktoren ist möglich. Die Empfindlichkeit des Verkehrssystems gegenüber Störungen ist aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens und dem Selbstverständnis einer fast unbeschränkten Mobilität bereits heute sehr gross.

Lawinen

Ebenso wie beim Schienennetz kann auch der Strassenverkehr durch Lawinen oder Lawinengefahr beeinträchtigt werden. Im Zusammenhang mit der Klimaänderung wird dieses Risiko in höheren Lagen, wo die grösseren Niederschlagsmengen im Winter als Schnee fallen können, eventuell zunehmen.

Winterstürme

Aufgrund der erwarteten Zunahme von Winterstürmen ist vermehrt mit umstürzenden Bäumen zu rechnen. Fallen solche Bäume auf die Strasse, besteht eine direkte Gefahr für die Strassenbenützer und es kann zu Unterbrechungen des Verkehrs kommen. Allerdings ist das Risiko zurzeit gering und sollte auch in Zukunft nicht wesentlich steigen.



Abbildung 8: August 2005, N8, zwischen Interlaken Ost und Interlaken West. (Quelle: Muriel Kleist)

4. Siedlungswasserwirtschaft

Um die Wasserversorgung sicherzustellen, erfordern wärmere und trockenere Sommer einerseits und Veränderungen beim Wasserbedarf andererseits die Optimierung des Wassermanagements. Die Abwasserentsorgung muss an die veränderten Anforderungen aufgrund höherer Temperaturen sowie vermehrten Auftretens von Trockenperioden und intensiven Niederschlagsereignissen angepasst werden.

Wasserversorgung

Mit der Klimaerwärmung wird der Bedarf an qualitativ hochstehendem Wasser (Trinkwasserqualität) zunehmen. Dies wird ein verbessertes Wassermanagement erfordern, insbesondere weil die Variation des Verbrauchs grösser wird. Zusätzliche Verbrauchsspitzen könnten entstehen, wenn in den Sommermonaten mehr Personen ihre Ferien in der Schweiz statt im zukünftig heisseren Süden verbringen.

Trockene Sommer werden den Bedarf nach Wasser für die Gartenbewässerung stark erhöhen. Dafür kann Wasser von geringerer Qualität verwendet werden. Allerdings fehlen heute entsprechende Infrastrukturen. Einen Anhaltspunkt für die Höhe des zu erwartenden Bedarfs gibt der Hitzesommer 2003. Da heute das Grundwasser in der Schweiz nur selten bis an die Kapazitätsgrenzen genutzt wird und in den grösseren Seen genügend Wasserreserven vorhanden sind, wird es bei einer entsprechenden Vernetzung der Wasserversorgungsinfrastruktur möglich sein, zusätzliche Bedarfsspitzen zu decken. Allerdings ist lokal und temporär mit sinkenden Grundwasserspiegeln zu rechnen. Die Belastung des Grundwassers durch Einleitung vorgereinigter Oberflächenwässer in den Untergrund wird häufiger werden. Möglicherweise müssen Grundwasserschutzzonen vergrössert werden. Dies ist mit einem grossen finanziellen Aufwand verbunden, da die Ausscheidung von Schutzzonen Enteignungsverfahren mit sich zieht.

Die Wasserbeschaffung aus Quellen ist in ländlichen, schlecht vernetzten Karstgebieten (Jura, Voralpen) kritisch, wenn während längerer Trockenperioden oberflächlich gespriesene Quellen mit kleinen Einzugsgebieten versiegen. Um auch hier die Wasserversorgung sicherzustellen, ist eine stärkere Vernetzung erforderlich, welche mit Kosten verbunden sein wird.

Mit den Temperaturen werden sich auch die Wassertemperaturen erhöhen. Dies könnte in der Schweiz möglicherweise unangenehm, wenn auch noch nicht kritisch werden. Die Qualität des Rohwassers, welches zu 20% aus den Seen und zu 80% aus Grund- und Quellwasser stammt,

könnte sich in gewissen Fällen verschlechtern. Eine Veränderung der Algenpopulationen und damit der Sauerstoffverhältnisse würde neue Aufbereitungsverfahren erfordern. In den Verteilleitungen nimmt die Gefahr der Wiederverkeimung zu.

Abwasserentsorgung Kanalisation

Höhere Temperaturen in der Kanalisation aufgrund erhöhter Aussentemperaturen führen zu vermehrter Betonkorrosion und erhöhen damit den Unterhaltsbedarf. Die Wahl geeigneter Materialien kann dieses Problem verhindern. Geruchsprobleme könnten möglicherweise häufiger auftreten.

Wenn während Trockenperioden der Grundwasserspiegel absinkt, verringert sich das Eindringen (Infiltration) von Grundwasser. Gleichzeitig nimmt das Auslaufen (Exfiltration) von Abwasser zu. Dies erhöht die Sedimentation in den Kanälen und belastet möglicherweise auch das Grundwasser. Trockene Phasen haben auch einen Einfluss auf die Behandlung von Mischwasser, d.h. mit Abwasser vermisches Regenwasser, welches die Kläranlage wegen Kapazitätseingüssen nicht aufnehmen kann. Wenn die Verdünnung in kleineren Fliessgewässern aufgrund geringer Wasserführung oder Austrocknung nicht mehr gewährleistet ist, können die Anforderungen an die Mischwasserbehandlung zunehmen. Zudem verringert sich mit abnehmendem Fremdwasseranteil die Schleppkraft in den Abwasserleitungen, was zu einem erhöhten Risiko von Verstopfungen führt und Anpassungen im Betrieb von Kläranlagen erfordert.

Intensive Niederschläge können andererseits zu Rückstau in Abwasserkanälen und somit zu Überschwemmungen von Kellerräumen oder ganzen Quartieren führen. Mit der erwarteten Zunahme an Starkniederschlägen wird dieses Problem häufiger auftreten und erfordert in kritischen Fällen das Verlegen von grösser dimensionierten Abwasserleitungen und die Installation von Rückstausicherungen.

Abwasserreinigung

Die Klimaänderung wird den Betrieb der Abwasserreinigung kaum gefährden. Es werden jedoch gewisse Anpassungen erforderlich sein. So beschleunigen sich bei steigenden Temperaturen die biologischen Prozesse, wodurch sich der Sauerstoffbedarf erhöht. Da gleichzeitig der Sauerstoffeintrag erschwert wird, bedingt dies eine Nachrüstung der Anlagen.

Höhere Gewässertemperaturen, Niedrigwasser als Folge zunehmender Trockenheit sowie der vermehrte Bedarf an Bewässerungswasser werden zusätzliche Anforderungen an die Abwasserreinigung zur Folge haben. Solche Investitionen könnten auch aufgrund höherer Ansprüche an die Badewasserqualität ausgelöst werden.

Hausanschlüsse

Bei der Kanalisation wie auch bei der Wasserversorgung treten Probleme primär bei den Hausanschlüssen auf. In der Stadt Zürich sind heute 50% der Leitungsbrüche in der Wasserversorgung in diesem Bereich. Wenn der Grundwasserspiegel als Folge der Klimaerwärmung sinkt, hat dies Setzungen zur Folge, aus welchen vermehrt Rohrbrüche resultieren können.

Unsicherheiten / Offene Fragen

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf die Siedlungswasserwirtschaft sind nur zum Teil abschätzbar. Um genauer zu beurteilen, wo tatsächlich Handlungsbedarf besteht, sind zusätzliche hydrologische Informationen erforderlich, insbesondere über die Entwicklung der Grundwasserstände, die Häufigkeit von kurzen, intensiven Regenereignissen, die zukünftige Wasserführung, die Häufigkeit von Extremen und über den Jahresgang.

5. Städtische Siedlungen

Die Wärmebelastung ist in Städten aufgrund des grossen Anteils versiegelter Flächen, des geringen Grünflächenanteils, der Abwärme durch Gebäude, Industrie und Verkehr sowie der schlechten Durchlüftung grösser als im Umland. Mit der Klimaänderung verstärkt sich das Problem der städtischen Wärmeinseln.

Die Stadt ist am Tag meistens kühler als das Umland, aber während der Nacht bedeutend wärmer. Verschiedene Faktoren tragen zum so genannten Wärmeinseleffekt und damit einer generell höheren Wärmebelastung in Städten bei: Gebäude und versiegelte Flächen absorbieren die Wärme stärker als nicht überbauter Boden. Die während des Tages eingetragene Wärme wird durch Strassen und Gebäude gespeichert, und der Kühlungseffekt durch Verdunstung ist im Vergleich zur ländlichen Umgebung gering, da Grünflächen und Pflanzen rar sind. Zusätzliche Wärme entsteht durch den Ausstoss von Abwärme durch Gebäude, Industrie und Verkehr. Schliesslich ist die Durchlüftung in Städten aufgrund der reduzierten Windgeschwindigkeit im Vergleich zur Umgebung schlechter.

Die Temperaturzunahme sowie vermehrt auftretende Hitzewellen oder Hitzeperioden verstärken das Problem der städtischen Wärmeinseln. So hatte der Hitzesommer 2003 in den Städten deutlich gravierendere Auswirkungen als in den ländlichen Gebieten.¹² Die Temperaturen erreichten besonders

hohe Werte und hatten zur Folge, dass die Bewohner und Bewohnerinnen von Städten von den zusätzlichen Todesfällen besonders betroffen waren.¹³ In Bezug auf die gesundheitlichen Auswirkungen sind nicht nur die Tageshöchstwerte, sondern auch die hohen nächtlichen Temperaturen von Bedeutung. Im Hinblick auf die erwartete Entwicklung, dass mit der Klimaänderung die nächtlichen Temperaturen stärker ansteigen werden als die Tagestemperaturen, sind Gegenmassnahmen besonders wichtig. Da die Nachttemperaturen in den Städten bereits heute grundsätzlich höher sind, werden sich mit der Klimaänderung die negativen gesundheitlichen Auswirkungen noch verstärken.

Die erhöhte Wärmebelastung in Städten wurde in der Schweiz im Städtebau bisher vernachlässigt. Damit sich die Wärmebelastung für die städtischen Bewohner mit der Klimaänderung nicht noch verstärkt, muss dieser Aspekt in der Raumplanung berücksichtigt werden. So kann beispielsweise die Begrünung und Beschattung von Gehsteigen und Fussgängerzonen die Wärmebelastung reduzieren.

Literatur und Anmerkungen

- 1 DP. Wyon. Indoor environmental effects on productivity. Indoor Air Quality Conference Baltimore, USA, 1996.
- 2 O. Seppänen, WJ. Fisk. A conceptual model to estimate the cost effectiveness of indoor environment improvements. Healthy Buildings Conference, Singapore, 2003.
- 3 B.W. Olesen. Indoor environment – Health-comfort and productivity. Climate 2005 Conference, Lausanne, Switzerland, 2005.
- 4 Th. Frank. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. Energy and Buildings, 37, 11, 2005, 1175–1185.
- 5 Th. Frank. (2006). Was wenn es wärmer wird – Die Schweiz im Klimawandel. 28. Wissenschaftsapéro, EMPA Akademie Dübendorf, Schweiz, 2006.
- 6 B. Wellig, B. Kegel B. et al. Verdoppelung der Jahresarbeitszahl von Klimakälteanlagen durch Ausnützung eines kleinen Temperaturhubs. Ernst Basler + Partner, Zürich, i.A. Forschungsprogramm UAW, Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- 7 M. Jakob, E. Jochem E., A. Honegger, A. Baumgartner, U. Menti, I. Plüss. Grenzkosten bei forcierten Energie-Effizienz-Massnahmen und optimierter Gebäudetechnik bei Wirtschaftsbauten. Bundesamt für Energie, Bern, 2006.
- 8 Th. Egli. Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern, 115 S., 2006.
- 9 Th. Egli. Wegleitung Objektschutz gegen meteorologische Naturgefahren. Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, Bern, 110 S., Vernehmlassungsversion (www.vkf.ch), 2006.
- 10 H.H. Schiesser et al. Klimatologie der Stürme und Sturmsysteme anhand von Radar- und Schadendaten. Projektschlussbericht im Rahmen des Nationalen Forschungsprogrammes „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, NFP 31, vdf Hochschulverlag an der ETH, Zürich, 1997.
- 11 H.H. Schiesser. Hagelstürme in der Schweiz: Wiederkehrperioden von schadenbringenden Hagelkorngrößen – eine Abschätzung. Studie erstellt im Auftrag der Präventionsstiftung der kantonalen Gebäudeversicherungen, Bern, 2006.
- 12 C.U. Brunner, U. Steinmann, M. Jakob. Adaptation of Commercial Buildings to Hotter Summer Climate in Europe. Proceedings of the Conference Improving Energy Efficiency in Commercial Buildings (IEECB'06), 26 – 27 April 2006, Frankfurt, 2006.
- 13 O. Thommen Dombois & C. Braun-Fahrländer. Gesundheitliche Auswirkungen der Klimaänderung mit Relevanz für die Schweiz. Literaturstudie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) und des Bundesamtes für Gesundheit (BAG), 2004.

Urbane Schweiz

Autoren

Peter Baccini

Fred Baumgartner

Thomas Lichtensteiger

Mark Michaeli

Esther Thalmann

Professor emeritus der ETH Zürich

Sektion Siedlung und Landschaft,

Bundesamt für Raumentwicklung

Siedlungswasserwirtschaft, Eawag

Institut für Städtebau, ETH Zürich

Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz



1. Einleitung

Einbettung

Die Schweiz ist urban geprägt, das heisst Stadt und Land sind durch starke Personen- und Güterflüsse eng vernetzt: Dieses Netzwerk aus Knoten und Flüssen bildet das urbane System. Die Entwicklung dieses Systems hängt von zahlreichen Faktoren ab. Von den verschiedenen kulturellen, politischen, wirtschaftlichen, räumlichen und ökologischen Einflüssen stellt das Klima nur eine Grösse dar. Wie stark und auf welche Weise sich die erwartete Klimaänderung auf die Siedlungsentwicklung auswirken wird, ist abhängig von der zukünftigen Form des urbanen Systems Schweiz. Für die vorliegende Beurteilung wurden drei mögliche Szenarien gewählt, für welche anhand von sechs Schlüsselgrössen der Einfluss der Klimaänderung beschrieben wird:

1. Als Referenzzustand das heute existierende System: CH_{heute}.
2. Ein Szenario CH2050_{plus}, das von einer Fortsetzung bereits eingeleiteter Anpassungen ausgeht.
3. Ein Szenario CH2050_{eco}, das auf einem Kurswechsel nach den Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung basiert.

Als Schlüsselgrössen dienen

- 1) Bevölkerung
- 2) Siedlungsmuster
- 3) Bauwerk (Bestand an Hoch- und Tiefbauten)
- 4) Transport und Kommunikation
- 5) Ressourcen sowie
- 6) Beziehungen innerhalb der Schweiz und zum Ausland.

Überblick

Die *Bevölkerungsentwicklung* wird durch die Klimaänderung vermutlich wenig beeinflusst. Der Wandel der demografischen Struktur findet unabhängig von klimatischen Veränderungen statt. Möglicherweise wird sich der Einwanderungsdruck verstärken, wenn sich die wirtschaftlichen Bedingungen aufgrund der Klimaänderung in anderen Ländern stark verschlechtern.

Die *Siedlungsentwicklung* verläuft weitgehend unabhängig vom Klimawandel ausser in Berggebieten. Diese stehen aufgrund der

Bedrohung durch Naturgefahren und der Abhängigkeit vom Wintertourismus unter Anpassungsdruck. In geringerer Masse ist die Siedlungsentwicklung in hochwasserexponierten Gebieten beeinflusst.

Der Einfluss der Klimaänderung auf die *Bauwerksentwicklung* wird als unwesentlich eingestuft. Diese ist primär konjunkturabhängig. Bis Mitte des 21. Jahrhunderts wird ein weiteres substanzielles Wachstum erwartet.

Im *Transport- und Kommunikationsbereich* ist je nach Szenario eine unterschiedliche Entwicklung zu erwarten. Im Szenario CH2050_{plus} nimmt der Verkehr weiter zu, während im Szenario CH2050_{eco} der Wachstumstrend zu einem Stillstand kommt. Aufgrund des veränderten Siedlungsmusters mit gestärkten regionalen Zentren ist CH2050_{eco} gegenüber der Klimaänderung weniger verletzlich als CH2050_{plus}.

Bei der *Ressourcenverfügbarkeit* wirkt sich die Klimaänderung primär auf die Selbstversorgungsgrade bei der Nahrungsmittelproduktion und der Energieversorgung aus. Im Szenario CH2050_{plus} sinkt der Selbstversorgungsgrad im Nahrungsmittelbereich und nimmt bei der Energieversorgung leicht zu. Im Szenario CH2050_{eco} wird bei der Energie eine massive und bei den Nahrungsmitteln eine geringe Erhöhung des Selbstversorgungsgrades erwartet.

Die Entwicklung der *Beziehungen und Abhängigkeiten zum globalen Umfeld* sind insbesondere im Hinblick auf die Versorgung mit Nahrungsmitteln und Energie für das Funktionieren des urbanen Systems Schweiz entscheidend. Je nach Auswirkungen der Klimaänderung auf andere Regionen sowie weltpolitischen Änderungen könnten die Preise in diesen beiden Bereichen massiv ansteigen.

Insgesamt ist das urbane System Schweiz durch die Klimaänderung nicht als Ganzes gefährdet. Lokale und saisonale Störungen können sich durch die Folgen der Klimaänderung in anderen Weltregionen noch verstärken. Im Vergleich zeigt das Szenario CH2050_{eco} gegenüber dem Szenario CH2050_{plus} eine grössere Robustheit.

2. Die Schweiz als urbanes System

Die Schweiz ist ein urban geprägter Raum, der durch kulturelle, politische, wirtschaftliche, räumliche und ökologische Faktoren beeinflusst wird. Die Klimaänderung ist folglich nur einer von vielen Einflüssen.

Die Schweiz ist mit durchschnittlich 180 Einwohnern pro Quadratkilometer ein dicht besiedeltes Land. Die Mehrheit der Bevölkerung lebt in einem urban geprägten Raum, das heisst einem Netzwerk, welches Stadt und Land durch starke Flüsse von Personen, Gütern und Informationen verbindet (vgl. Abb. 1). Dieses Netzwerk, dessen Knoten (Städte) sich durch eine hohe Dichte von Menschen und Gütern auszeichnen, wird als *urbanes System* bezeichnet. Mit Hilfe dieses Systems hat die Grundversorgung in der Schweiz ein hohes Niveau und auch bei stark schwankenden Umweltbedingungen (Temperatur, Licht, Ressourcenverfügbarkeit) und Naturgefahren ein grosses Mass an Sicherheit erreicht.

Die urbanen Lebensformen zeigen innerhalb der Schweiz je nach Region sehr unterschiedliche Ausprägungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass jede urbane Entwicklung durch das komplexe Zusammenwirken verschiedener Faktoren geprägt wird: Kulturelle, politische, wirtschaftliche, räumliche und ökologische Einflüsse bestimmen die Siedlungsentwicklung. Dabei kann es sich um Wirkungen von aussen (exogen, z.B. Verkehrspolitik der Europäischen Union, Ent-

wicklung der Kommunikationstechnologie) oder Wirkungen innerhalb des urbanen Systems (endogen, z.B. Standortentscheide der Unternehmen, Entwicklung des Bruttoinlandproduktes) handeln. Die globale Klimaänderung ist also nur einer von vielen Faktoren, die das urbane System beeinflussen. Wie stark der Einfluss auf die urbane Entwicklung ist, hängt von der regionalen Ausprägung und der Entwicklungsdynamik des betroffenen Systems ab. Diese Veränderungen lassen sich heute nicht zuverlässig bis zum Jahr 2050 prognostizieren. Zwar gibt es normative Vorgaben des Staates (Verfassung, Gesetze, Verordnungen) und Leitbilder von Interessengruppen, wie ein Land in 50 Jahren aussehen soll. Die nachfolgende Beurteilung beruht jedoch nicht auf Leitbildern, sondern auf Szenarien. Den Klimaszenarien für das Jahr 2050, welche die zu erwartende Veränderung sowie den Unsicherheitsbereich der Klimaänderung zeigen, werden drei mögliche Szenarien der urbanen Entwicklung der Schweiz (Referenzszenario CH_{heute}, CH2050_{plus}, CH2050_{eco}, vgl. Tabelle 1) gegenübergestellt. Folgende Fragen sollen für jedes dieser drei Szenarien beantwortet werden.

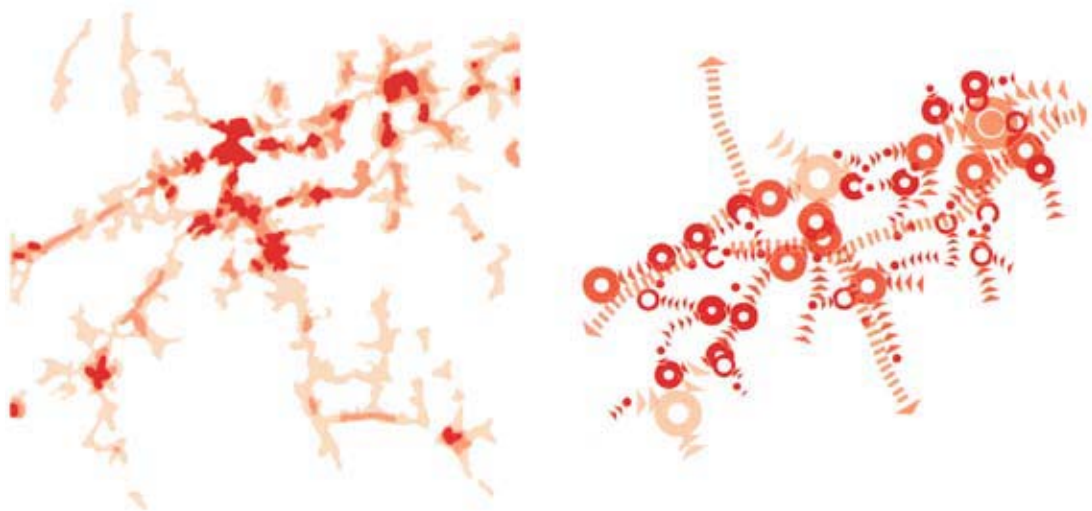


Abbildung 1: Zeichnerische Interpretationen der Architektur des Territoriums nach dem Netzstadtmodell:

- der netzartigen Siedlungsstrukturen und -muster (Knoten und Verbindungen) am Beispiel des Mittellandes. (links)
- der Flüsse (Personen, Güter und Informationen) innerhalb einer netzartigen Siedlungsstruktur am Beispiel des Mittellandes. (rechts)

(Quelle: Oswald und Baccini 2003)¹

In welchen Bereichen ist das urbane System als Ganzes oder Teilsysteme davon

- robust, d.h. die Klimaänderung ist vermutlich irrelevant?
- gestört, d.h. Beeinträchtigungen sind möglich, das Funktionieren des ganzen Systems ist aber kaum gefährdet?
- gefährdet, d.h. die Klimaänderung bedroht unentbehrliche Teile und damit das Ganze?

Als Teilsysteme des urbanen Systems werden auch die übrigen Themen des Projektes Klimaänderung und die Schweiz 2050 verstanden: Landökosysteme, Landwirtschaft, Wasserwirtschaft, Energie, Bauten und Infrastrukturen sowie der Tourismus (vgl. entsprechende Kapitel).

Die nachfolgenden Aussagen zu den oben gestellten Fragen sind mehrheitlich qualitativ. Quantitative Aussagen sind schwierig, weil es für urbane Systeme keine zuverlässigen Modellresultate gibt. Im Gegensatz zu den mit Hilfe physikalischer Modelle berechneten Klimaszenarien stützen sich die drei urbanen Entwicklungsszenarien auf sechs ausgewählte Schlüsselgrößen: Bevölkerung, Siedlungsmuster, Bauwerk, Transport und Kommunikation, Ressourcen sowie Beziehungen innerhalb der Schweiz und zum Ausland. Anhand dieser Schlüsselgrößen soll der Einfluss der Klimaänderung auf die drei Szenarien der urbanen Schweiz im Jahre 2050 beurteilt werden.

3. Szenarien und Schlüsselgrößen

Anhand von drei Szenarien wird der Einfluss der Klimaänderung auf das urbane System Schweiz illustriert. Als Referenzszenario dient der heutige Zustand. Szenario 2 beschreibt eine Weiter-

entwicklung analog zu heute, und Szenario 3 ist ein Kurswechsel zur Nachhaltigkeit (siehe Tab.1). Dazu werden sechs Schlüsselgrößen verwendet (siehe Tab. 2).

Tabelle 1: Mögliche Szenarien der urbanen Entwicklung in der Schweiz bis zum Jahre 2050.

Szenarien	CH _{heute} ¹⁾	CH2050 _{plus}	CH2050 _{eco}
Kurzbeschreibung	Referenzzustand, um mögliche Wirkungen auf das heute existierende System abzuschätzen	Fortsetzung der Entwicklung der letzten Jahrzehnte unter Einbezug bereits eingeleiteter Anpassungen	Kurswechsel nach den Kriterien einer nachhaltigen Entwicklung ²⁾

1) bezieht sich auf das Jahr 2005, soweit dafür Zahlen verfügbar sind

2) Im Energiebereich hat dieses Szenario die 2000 Watt-Gesellschaft zum Ziel, d.h. die Verminderung des Energieverbrauchs auf einen Drittel des heutigen Wertes sowie den weitgehenden Ersatz der fossilen Energieträger durch erneuerbare Energien.

Tabelle 2: Schlüsselgrößen zur Beschreibung des urbanen Systems.

	Bezeichnung	Kenngrossen
1	Bevölkerung	Bevölkerungszahl, Altersstruktur, Verhältnis Erwerbstätige zur Gesamtbevölkerung
2	Siedlungsmuster	Bevölkerungsdichten/ -verteilung nach Regionen
3	Bauwerk	Bestand und Entwicklung des Bauwerks und des Energiebedarfs
4	Transport und Kommunikation	Entwicklung des Personen- und Gütertransports und des Kommunikationsbereichs
5	Ressourcen	Selbstversorgungsgrade in grundlegenden Ressourcen wie Wasser, Energie, Nahrungsmittel, Baumaterialien
6	Beziehungen und Wechselwirkungen	Beziehungen im Inland: Mittelland vs. Berggebiete; Beziehungen international: Abhängigkeiten vom Ausland

Mögliche Veränderungen politischer Institutionen, wie z.B. Anzahl und Gliederung von Verwaltungseinheiten (Gemeinden, Kantone) und Mitgliedschaften in internationalen Gremien (z.B. Europäische Union) werden nicht einbezogen. Es wird davon ausgegangen, dass solche Veränderungen innerhalb beider

Zukunftsszenarien (CH2050_{plus} und CH2050_{eco}) möglich sind. Nicht berücksichtigt werden katastrophale wirtschaftliche, kriegerische und geologische Ereignisse. Basisinformationen zu den gewählten Szenarien finden sich in Baccini und Bader (1996)², Baccini und Imboden (2001)³, Baccini et al. (2002)⁴ und Leibundgut (2006)⁵.

4. Bevölkerungsentwicklung

Der mittlere Wachstum der Bevölkerung bringt quantitativ keine neue Herausforderung. Wesentlich ist hingegen die Überalterung und die verringerte Anzahl der Erwerbstätigen. Dies führt zu veränderten raumrelevanten Nutzungsansprüchen.

Tabelle 3: Kenngrössen zur Bevölkerungsentwicklung⁶

Kenngrösse	Szenarien		
	CH _{heute}	CH2050 _{plus}	CH2050 _{eco}
Einwohner (Mio.)	7.4	8.2 ¹⁾	8.2 ¹⁾
Altersquotient ²⁾	25	51	51
Gesamterwerbsquote ³⁾	56	51	51

1) mittleres Szenario (d.h. zwischen 9.7 und 6.5 Mio.)

2) Altersquotient: Anzahl 65jährige und Ältere pro hundert 20- bis 64jährige.

3) Gesamterwerbsquote: Anzahl Erwerbstätige pro hundert Einwohner zwischen 15. und 99. Altersjahr.

Die starke Veränderung des Altersquotienten von 25% auf 50% (vgl. Tabelle 3) deutet auf die Verschiebung der Altersstruktur hin, welche auch für das Sozialversicherungssystem (AHV, berufliche und private Vorsorge, Gesundheitswesen) drastische Verschiebungen der Rahmenbedingungen bringt. Die im 20. Jahrhundert geschaffenen „Generationenverträge“ müssen mit grosser Wahrscheinlichkeit stark revidiert werden. Die zunehmende Alterung der Bevölkerung dürfte auch Auswirkungen auf die heutige Verteilung und Ausgestaltung der Wohn- und Arbeitswelten sowie die Mobilität haben, d.h. das heutige Bauwerk Schweiz (vgl. Abschnitt 6) wird sich ebenfalls an veränderte Bedingungen und Anforderungen anpassen müssen.

Die im Kapitel Gesundheit genannten negativen Folgen der Klimaänderung werden die Bevölkerungsverteilung vermutlich wenig beeinflussen. Auch dürfte die Klimaänderung auf den

Wandel in der demografischen Struktur kaum einen grossen Einfluss haben. Allerdings ist nicht auszuschliessen, dass der Einwanderungsdruck dann wächst, wenn sich aufgrund der Klimaänderung die wirtschaftlichen Randbedingungen in anderen Gebieten der Erde dauerhaft stark verschlechtern.

Fazit

Eine mittlere Wachstumsrate der Einwohner von 0.3% pro Jahr mit einer mittleren Erhöhung der Gesamtbevölkerung von rund 14% bringt quantitativ keine neuen Herausforderungen an das urbane System Schweiz. Wesentlich ist hingegen die Verschiebung des Altersquotienten und der Gesamterwerbsquote. Diese gegenüber heute qualitativ gewichtigen Änderungen in der demografischen Charakteristik sind von hoher Relevanz für die zukünftigen raumrelevanten Nutzungsansprüche.

5. Siedlungsentwicklung

Ein grosser Teil der Schweizer Bevölkerung lebt heute in Städten und Agglomerationen. Ein bedeutender Faktor für die zukünftige Entwicklung des Siedlungsmusters ist der stetig wachsende Bedarf an Siedlungsfläche.

CH_{heute}

Die Siedlungsstruktur der Schweiz ist wesentlich von der Topografie beeinflusst. Ursprünglich entstanden die Siedlungen entlang von Gewässern oder Handelsrouten in den Tälern, im Mittelland und dem Jura Plateau. Sie bildeten die Ausgangspunkte für die fortschreitende Besiedlung, welche mit Bauten und Infrastrukturen inzwischen weite Gebiete flächendeckend prägt. Diese Entwicklung der Urbanisierung ist jedoch unterschiedlich fortgeschritten. Verschiedene Faktoren, von der Industrialisierung, der Erschliessung durch das Eisenbahnnetz, der individuellen Motorisierung, der Entwicklung des Flugverkehrs bis hin zu den modernen Kommunikationsmedien, haben zum ungleichförmigen Verlauf beigetragen. Urbanisierungsschübe standen mit wenigen Ausnahmen im Zusammenhang mit einem Wandel des Lebensstils, häufig in Kombination mit Veränderungen in den Bereichen der Mobilität und Kommunikation.

Insbesondere nach dem 2. Weltkrieg führte das Wirtschaftswachstum zu einem exponentiellen Siedlungswachstum zwischen den urbanen Zentren des 19. Jahrhunderts. Ursache dieses Wachstums war nicht primär das Bevölkerungswachstum, sondern die steigende Nachfrage an Wohnfläche pro Kopf und die zunehmende Verkehrsfläche pro Kopf. Dieser

Prozess ist auch zu Beginn des 21. Jahrhunderts noch nicht abgeschlossen. Innert rund dreissig Jahren (1950–1980) hat sich der Bestand an Motorfahrzeugen für den Personentransport verzehnfacht. Als Folge der hohen individuellen Mobilität hat sich der Lebensstil verändert.

Das so entstandene heutige Siedlungsmuster wird als *Netzstadt* bezeichnet, welche land-, forst- und wasserwirtschaftliche Flächen integriert (vgl. Abb. 2). Im Mittelland liegt der eigentliche Siedlungsflächenanteil zwischen 10 und 15% der Gesamtfläche. Die Landwirtschaft belegt rund die Hälfte und die Wälder einen Drittel der Fläche. Von der schweizerischen Wohnbevölkerung leben und arbeiten deutlich mehr als 75% in Städten und Agglomerationen.⁷ Dies zeigt, dass Zugänglichkeit, Erschliessung und die Nähe urbaner Angebote besonders wichtige Kriterien für die Wahl von Wohn- und Arbeitsort sind.⁸ Die Entwicklung der Immobilienpreise in den Grossagglomerationen Zürich oder dem Genferseegebiet widerspiegelt diese Präferenzen. Es werden zunehmend auch Flächen bebaut und besiedelt, welche bisher wenig Standortgunst genossen. Diese Feststellung gilt für die gesamte Schweiz, verstärkt aber noch für die Siedlungsräume im Voralpen- und Alpengebiet.

Im Alpenraum gibt es touristische Regionen, welche in den letzten Jahrzehnten eine massiv



Abbildung 2: Grossräumige Aufnahme mit Kloten, Wallisellen, Opfikon, Hard (2004): Die netzartige Struktur zwischen den Gemeinden ist deutlich zu erkennen. (Quelle: Schweizer Luftwaffe)



Abbildung 3: Blick über den Lej da S. Murezzan auf das Dorf St. Moritz (Südostansicht), im Hintergrund die Gebirgskette mit Piz Nair, Sass Runzöl und Las Trais Fluors, Gesamtansicht, Rekonstruktionsaufnahme, im Jahre 1899 (oben) und 1996 (unten). (Quelle: Stiftung documenta natura, Bern)

beschleunigte urbane Entwicklung durchlaufen haben, die besonders im Zusammenhang mit der Ausweitung des Wintertourismus steht. Hier ging man in der Vergangenheit von der Annahme eines konstanten Klimas aus, welches die Schneesicherheit garantierte (vgl. Abb. 3).

CH2050_{plus}

Verbindet man die Bevölkerungsentwicklung in Tabelle 1 mit der noch stetig steigenden Siedlungsfläche pro Kopf von heute rund 400 m² pro Kopf auf rund 470 m² pro Kopf im Jahr 2050 (Wachstumsrate bisher: ca. 1.3 m² pro Kopf und Jahr, siehe Abb. 4), so ist ein gesamter Anstieg der Siedlungsfläche (d.h. mit den proportionalen Flächenansprüchen des Infrastrukturbedarfes) um rund 30–40% zu erwarten. Dieser Zuwachs ist in diesem Szenario sicher stärker als der durch die niedrigere Erwerbsquote allenfalls verringerte Bedarf an Arbeitsfläche. Der zusätzliche Siedlungsflächenbedarf ist gemäss heutiger Ausscheidung von Bauzonen nominal zwar bereits abgedeckt, regional aber nicht dort, wo

die Nachfrage besteht und es den raumplanerischen Zielsetzungen entspricht. Beim Szenario CH2050_{plus} wird aufgrund der fehlenden bzw. falschen Anreize zu wenig im bereits Bestehenden verdichtet gebaut. Das im Referenzbild CH_{heute} dargestellte Siedlungsmuster wird somit noch verstärkt, d.h. bestehende Knoten und Verbindungen werden flächenmässig erweitert, und zwar um etwa 30%. Im Mittelland würde der Anteil der Siedlungsfläche auf rund 15–20% anwachsen, und zwar auf Kosten der hier ertragreichsten Flächen der Landwirtschaft, deren Gesamtfläche um rund 10% sinken würde.

Diese Entwicklung wird aufgrund der wirtschaftlichen Standortvorteile der Grossagglomerationen einerseits sowie der Infrastrukturausstattung und verfügbaren Immobilien andererseits regional unterschiedlich ausfallen. Die städtischen Verdichtungsräume des Mittellandes, die Region rund um das Dreiländereck Basel, das Genferseegebiet und das stark durch die oberitalienische Entwicklung geprägte Tessin werden von einer steigenden Nachfrage nach Siedlungsfläche

Siedlungsfläche pro Einwohner

G 2.6

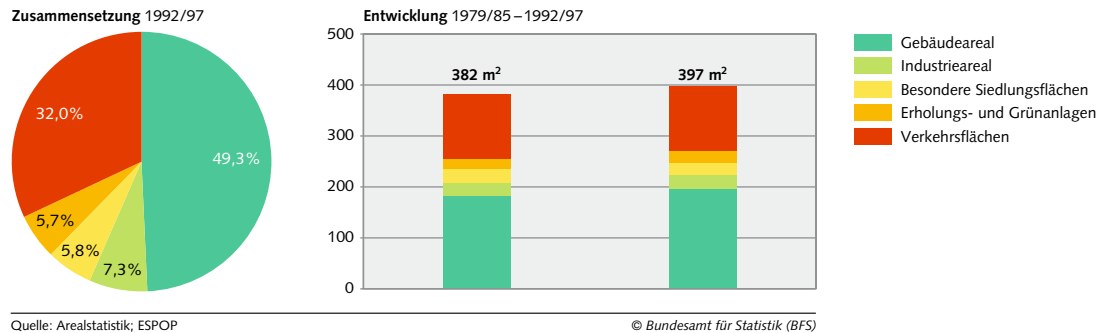


Abbildung 4: Die Arealstatistik teilt den Bereich der Siedlungsflächen in fünf Nutzungsarten ein: das Gebäudeareal, das Industrieareal, die Verkehrsflächen, die besonderen Siedlungsflächen sowie die Erholungs- und Grünanlagen. Mit einem Anteil von fast 50% dominiert das Gebäudeareal die Siedlungsflächen. (Quelle: Arealstatistik Schweiz, Zahlen – Fakten – Analysen, Bundesamt für Statistik BFS, 2005)

besonders betroffen sein. Anzunehmen ist im Weiteren, dass aufgrund des Wunsches nach Sommerfrische (vgl. Kapitel Tourismus, Abschnitt 6) in der Schweiz wie auch im übrigen Europa im Berggebiet die Nachfrage nach Zweitwohnungen steigt.

CH2050_{eco}

Eine urbane Siedlungsstruktur, die sich nach den Kriterien der Nachhaltigkeit richtet, hat im Vergleich zum heutigen Siedlungsmuster vielfältigere Gestaltungsmöglichkeiten. Gemäss den Qualitätszielen des Netzstadtmodells¹ ist das bestehende Muster in folgenden Bereichen zu verändern bzw. anzupassen: Die Wirkungsweise des Raumplanungsinstrumentariums (Sachpläne des Bundes, Richtpläne der Kantone, Nutzungspläne der Gemeinden) ist noch stärker auf die Ziele der gesamträumlichen Entwicklung (Raumkonzept Schweiz) und das Gebot der haushälterischen Bodennutzung und der geordneten Siedlungsentwicklung auszurichten.

- Mit der Stärkung der regionalen Ebene müssen die Möglichkeiten zur Befriedigung der materiellen und immateriellen Bedürfnisse verbessert werden. Dadurch kann die Lebensqualität trotz einer Abnahme beim Verkehrsaufkommen erhalten oder gar gesteigert werden.
- Auf nationaler Ebene ist der Trend zur weiteren flächenhaften Ausweitung der grossen Agglomerationen zu brechen. Starke regionale Zentren von unterschiedlicher Qualität führen zu mehr Vielfalt und damit zu einem robusteren urbanen System Schweiz.
- Wird die Land-, Forst- und Wasserwirtschaft nach Kriterien der Nachhaltigkeit betrieben,

so ist gegenüber heute teilweise mit kleineren Erträgen zu rechnen (rund 10%), die aber mit anderen Massnahmen (vgl. Abschnitte 6, 7 und 8) kompensiert werden können.

Diese Anpassungen in der Siedlungsentwicklung würden auf der Ebene von Regionen und Gemeinden zu beträchtlichen strukturellen Verbesserungen führen¹. Auf nationaler Skala würde sich die Grundstruktur des Siedlungsmuster dennoch nicht wesentlich verändern.

Fazit

Insgesamt können die Auswirkungen des Klimawandels auf die urbane Entwicklung bis 2050 als eher gering eingeschätzt werden. Am höchsten ist die Verwundbarkeit im Alpenraum, der vom Tourismus stark abhängig ist (vgl. Kapitel Tourismus, Abschnitt 4) sowie bei Bauten und Anlagen des Schienen- und Strassennetzes, welche dem Naturraum besonders ausgesetzt sind. Beschränkt beeinträchtigt wären auch Siedlungsgebiete, die unmittelbar an Gewässern liegen. Es kann jedoch erwartet werden, dass aufgrund schon heute erkannter erhöhter Gefahrenpotenziale die laufend umgesetzten Anpassungen erfolgreich sind (z.B. bauliche Restriktionen aufgrund von Gefahrenkarten, Ausweitung der Fliessgewässerräume, lokale Verschiebungen in der Siedlungsentwicklung). Insgesamt ist beim Szenario CH2050_{eco} das Konfliktpotenzial zwischen dem Flächenbedarf für die Siedlungsentwicklung und anderen (Nutzungs-) Interessen kleiner, da anstelle einer weiteren flächenhaften Ausdehnung die Verdichtung vorhandener Knoten und Verbindungen angestrebt wird.

6. Bauwerksentwicklung

Falls die Klimaänderung bei Erneuerungen und Neubauten konsequent und vorausschauend berücksichtigt, dann ist der Einfluss der Klimaänderung auf das Bauwerk Schweiz unwesentlich.

Die Kenngrössen zum Bauwerk Schweiz sind in Tabelle 4 zusammengestellt.⁹

Tabelle 4: Lagerbestand und Energiefluss des urbanen Systems Schweiz.

	CH _{heute} ¹⁾	CH2050 _{plus}	CH2050 _{eco}
Lagerbestände in Tonnen pro Einwohner ²⁾	400	500	450
Energiebedarf in Watt pro Einwohner ³⁾	6000	6000	2000

1) Referenzjahr 2000

2) umfasst den Hoch- und Tiefbau

3) schliesst die mit importierten Gütern eingeführte Energie (graue Energie) ein.

Der heutige Bauwerksbestand entspricht einem Wiederbeschaffungswert von rund einer halben Million Franken pro Einwohner. Im Szenario CH2050_{plus} wächst dieser Bestand um rund einen Viertel. Ökonomisch heisst dies, dass die übernächste Generation mehr Mittel pro Kopf erwirtschaften muss, um die Werterhaltung ihrer Immobilien zu sichern. Im Szenario CH2050_{eco} ist der Zuwachs geringer, weil die Infrastruktur optimiert (vgl. Abschnitt 5) und der Personenverkehr stark auf die Schiene verlagert wird. Dadurch ist der Tiefbauzuwachs geringer. Beim Energiebedarf werden im Szenario CH2050_{plus} die bereits eingeleiteten Massnahmen (z.B. Bauvorschriften, Abgaben auf fossilen Energieträgern, Förderung nachhaltiger Energien) dazu führen, dass die erhöhte Nachfrage durch steigende Effizienz etwa kompensiert wird. Im Szenario CH2050_{eco} wird auf einen konsequenten energietechnischen Umbau gesetzt, gekoppelt mit der systematischen Anpassung der Gebäude- und Transporttechnik. Ziel dieses Szenarios ist die Reduktion des Anteils der fossilen Energieträger am Primärenergiebedarf von heute rund 5500 Watt (Kernenergieträger mit eingerechnet) auf rund 500 Watt pro Einwohner.¹⁰ Die Anpassung des Energiehaushaltes, der zu 80% durch die Aktivitäten Wohnen und Arbeiten sowie Transportieren und Kommunizieren (vgl. Abschnitt 7) geprägt wird, ist in diesem Szenario der Schlüsselprozess.³

Fazit

Der Einfluss der Klimaänderung auf das Bauwerk Schweiz ist in beiden Szenarien unwesentlich, vorausgesetzt die Klimaänderung wird bei Erneuerungen und Neubauten berücksichtigt (vgl. Kapitel Bauten/Infrastrukturen, Abschnitt 2). Die Bauwerksentwicklung ist in hochentwickelten Ländern von der Konjunktur abhängig, d.h. je höher das Wirtschaftswachstum in den wichtigsten Wertschöpfungsbranchen ist, desto höher ist auch die Bautätigkeit. Deren Rahmenbedingungen können allerdings durch politisch gesetzte Vorgaben und Anreize so geändert werden, dass die Auswirkungen von neuen störenden Umwelteinflüssen (z.B. Klimaänderung, Ressourcenverfügbarkeit, Verkehrsstau, Verkehrslärmbelastung) frühzeitig erkannt und, wo sinnvoll, im Sinne der Vorsorge reduziert werden.

7. Entwicklung im Transportieren und Kommunizieren

Mit häufiger auftretenden Extremereignissen können Unterbrechungen von Verkehrswegen und von Überlandelektizitätsleitungen zunehmen. Eine ökologische Entwicklung verringert die Empfindlichkeit durch verdichtete Knoten und geringeren Energieverbrauch.

CH_{heute}

In den vergangenen Jahrzehnten hat der Transport von Personen, Gütern und Informationen, gemessen an zurückgelegten Distanzen pro Kopf und Jahr, stetig zugenommen (siehe Abb. 5). Den grössten Anteil hat der Personentransport (70–80%), während die Informationsflüsse nur einige Prozente ausmachen. Der Verkehr ist ein wichtiger Faktor in Bezug auf Luft- und Lärmbelastungen. Die Reduktionsziele konnten bisher trotz verfahrenstechnischer (z.B. Katalysator für Verbrennungsmotoren) und bautechnischer Massnahmen (z.B. Lärmschutzwände) nur zum Teil erreicht werden.

CH2050_{plus}

Die steigende Anzahl von Fahrzeugen pro Kopf und zurückgelegten Kilometern pro Fahrzeug und Jahr verstärken die negativen Auswirkungen auf Umwelt (Luft, Lärm) und Wirtschaft (Staukosten). Verkehrsflussstörungen können zwar mit zeitlicher Verzögerung örtlich durch Strassen-erweiterungsprojekte behoben werden, verschieben sich aber auf andere Engpässe innerhalb der Netzstadt Schweiz. Das Flächenwachstum der Metropolen und die Zunahme des privaten Personenverkehrs verstärken sich gegenseitig. Der Ausbau des öffentlichen Verkehrs kann zwar das Wachstum des motorisierten Individualverkehrs reduzieren, nicht aber die schon heute damit verbundenen Probleme lösen.

CH2050_{eco}

Im Gegensatz zum Szenario CH2050_{plus} kommt der Wachstumstrend des Verkehrs im Szenario CH2050_{eco} zu einem Stillstand.¹¹ Die Siedlungsentwicklung nach innen und die Stärkung der regionalen Zentren hat zur Folge, dass die zurückgelegten Distanzen kleiner werden, da sie der entsprechenden Handlung (z.B. Arbeiten, Einkaufen, Freizeitgestaltung) angepasst sind. Diese Veränderungen sind aber nur mit einem Umbau der Netzstadt, d.h. des gesamten Siedlungsmusters zu realisieren (vgl. Netzstadtmodell von Oswald und Baccini¹) und nicht mit rein verkehrstechnischen Massnahmen.

Fazit

Die Klimaänderung wird auf den Bereich Transport und Kommunikation keinen wesentlichen Einfluss haben, weil dessen Probleme wenig abhängig von äusseren Einflüssen sind. Eine Ausnahme stellt die Energieverfügbarkeit dar (vgl. Abschnitte 8 und 9) sowie die Unterbrechung von Verkehrswegen aufgrund ausserordentlicher Wetterereignisse. Die Verletzlichkeit in Bezug auf unterbrochene Verkehrswege ist beim Szenario CH2050_{eco} aufgrund der verdichteten Knotenpunkte am geringsten.

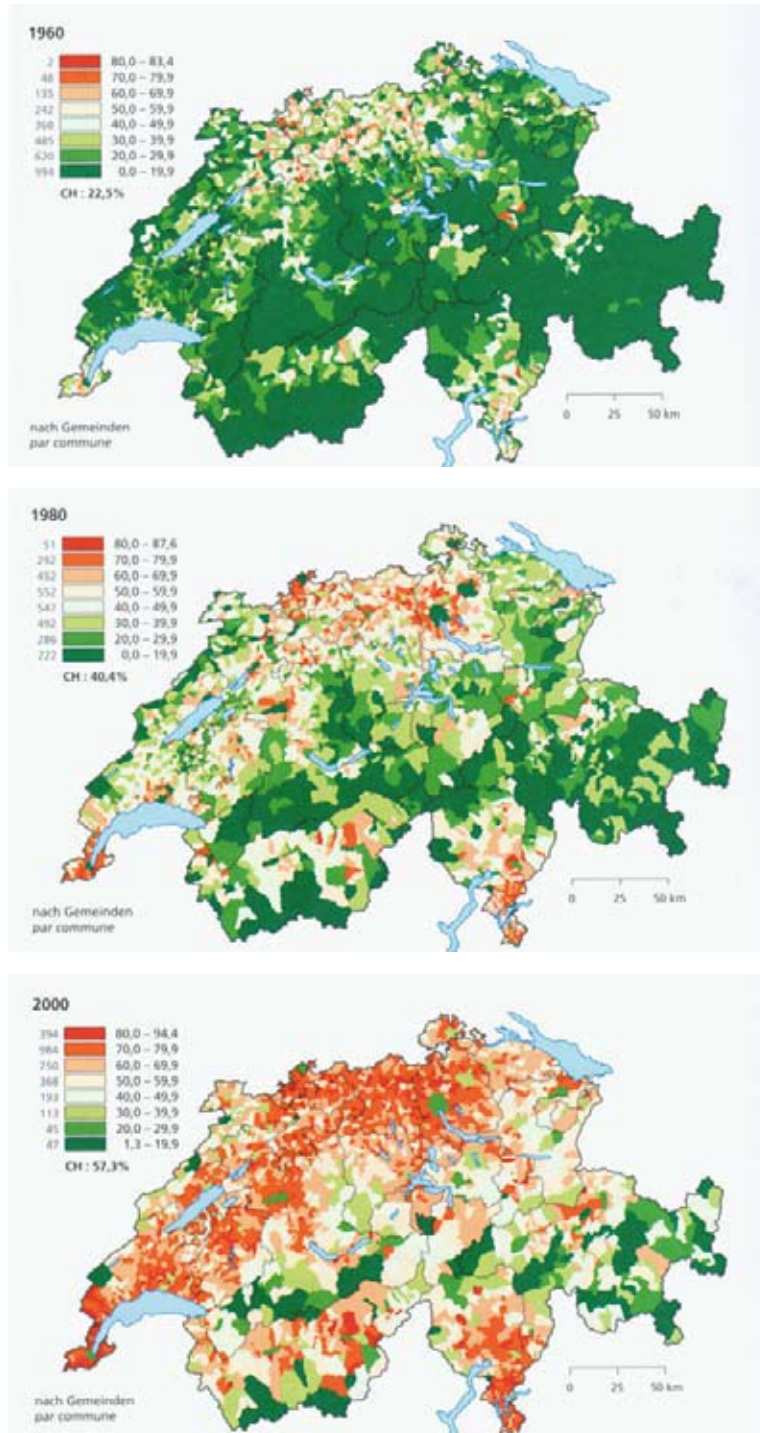


Abbildung 5:
Entwicklung der Wegpendlerbewegung zwischen 1960 und 2000: Abgebildet sind für die Jahre 1960, 1980 und 2000 jeweils die Anteile Erwerbstätige, die ausserhalb ihrer Wohngemeinde arbeiten (in %).

Grüne Flächen entsprechen einem kleinen Anteil an Erwerbstätigen, welche ausserhalb ihrer Wohngemeinde arbeiten (<40%). Rote und orange Flächen entsprechen einem Anteil an Erwerbstätigen von 60% oder mehr, die ausserhalb ihrer Wohngemeinde arbeiten.

Wegpendleranteile:
1960 CH: 22.5%
1980 CH: 40.4%
2000 CH: 57.3%

(Quelle: Schuler, Martin et al. Atlas des räumlichen Wandels der Schweiz, Bundesamt für Statistik, Neuchâtel und Verlag Neue Zürcher Zeitung, 2006. S.268)

8. Entwicklung der Ressourcenverfügbarkeit

Das urbane System Schweiz ist am stärksten durch die nicht nachhaltige Energieversorgung gefährdet. Als globales Phänomen verstärkt die Klimaänderung diese Gefährdung, da andere Regionen mit betroffen sind.

Tabelle 5: Ressourcenverfügbarkeiten des urbanen Systems Schweiz mit Hilfe eines theoretischen Selbstversorgungsgrades² (SVG). Der theoretische Selbstversorgungsgrad bezeichnet das Verhältnis (in Massen-, bzw. Energieeinheiten) der total im Inland produzierten Menge (in %) zum Gesamtverbrauch, d.h. Import und Export werden als tauschbare Anteile in der Gesamtbilanz verrechnet. Dies ist angesichts der Qualitätsunterschiede eine starke Vereinfachung. Deshalb sind die Zahlen nur als Grössenordnungen zu verstehen.

Ressourcen	Szenarien		
	CH _{heute}	CH2050 _{plus}	CH2050 _{eco}
Wasser	100	100 (saisonal und regional gestört)	100 (saisonal und regional gestört)
Biomasse	60 (Nahrungsmittel) 100 (Holz)	40 (Nahrungsmittel) 100 (Holz)	80 (Nahrungsmittel) 100 (Holz)
Baumaterialien	90	70	100
Energieträger	10	20	90

CH_{heute}

Im Szenario CH_{heute} ist das urbane System Schweiz mit der bereits gebauten Wasserversorgungsinfrastruktur autonom. Auch bei den Massengütern des Bauens (Kies, Sand, Tone), die gegen 90% der Gesamtmasse des Bauwerks ausmachen, ist der theoretische Selbstversorgungsgrad (SVG) hoch. Die forstwirtschaftliche Gesetzgebung verlangt eine nachhaltige Bewirtschaftung der Wälder. Diese werden heute aus ökonomischen Gründen nur zu etwa 70% genutzt. Extremereignisse wie Stürme, die zu Waldschäden führen, ergeben lokale Störungen und führen zu einem befristeten Überangebot von Holz. Im Nahrungsmittelbereich ist der SVG von 60% primär eine Folge des Menüplans der Bevölkerung, d.h. je höher der Fleischkonsum, desto niedriger der SVG. Bei der Energieversorgung ist der SVG am niedrigsten, weil das urbane System im 20. Jahrhundert konsequent auf fossile Quellen im globalen Markt ausgerichtet wurde. Der SVG liegt dort zurzeit bei 10%, wobei der Hauptanteil auf die Nutzung der Wasserkraft für die Stromproduktion zurückgeht.

CH2050_{plus}

Für das Szenario CH2050_{plus} bleibt das Bild generell gleich. Gemäss Teilprojekt Wasserwirtschaft kann die Klimaänderung lokal und saisonal Versorgungsengpässe zur Folge haben (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft, Abschnitt 4).

Im Nahrungsmittelbereich sinkt der SVG, weil die Fortsetzung der Landwirtschaftspolitik die Produzenten dazu zwingen wird, sich im ungeschützten Markt mit Nischenprodukten zu behaupten. Die heute schon eingeleiteten Effizienzsteigerungen im Energiekonsum und die Investitionen in die Wasserkraft, in solare Quellen, Geothermie und Windkraft können den Energie-SVG auf 20% steigern. Diese Entwicklung wird von der Klimaänderung beeinflusst, da in Zukunft mit einem reduzierten Wasserdargebot zu rechnen ist (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft, Abschnitt 4).

CH2050_{eco}

Im Szenario CH2050_{eco} nimmt der SVG für alle vier betrachteten Ressourcen zu. Bei den Nahrungsmitteln geschieht dies unter der Annahme, dass sich die regionale Versorgung insgesamt verbessert (vgl. Kapitel Landwirtschaft, Abschnitt 2) und sich überdies das Ernährungsverhalten verändert, indem der Fleischkonsum pro Kopf abnimmt. Bei den Baumaterialien erhöht sich der SVG aufgrund der breiten Anwendung der neuen Technik des Urban Mining⁹, d.h. der Gewinnung von Rohstoffen aus dem bestehenden Bauwerk. Die grösste Änderung betrifft die Energie (vgl. auch Abschnitt 7), wo der Selbstversorgungsgrad massiv ansteigt. Im Bereich der Wasserkraft hemmt die Klimaänderung diese Entwicklung durch die

bereits erwähnte Reduktion beim Wasserabfluss. Andererseits ist sie Argument für eine möglichst CO₂-arme Energieversorgung. Insgesamt ist auch bei diesem Szenario die Ressourcenverfügbarkeit primär die Folge einer politisch und sozioökonomisch geprägten Entwicklung.

Fazit

Die Selbstversorgungsgrade von Nahrungsmitteln und Energie verändern sich für beide Szenarien. Im Gegensatz zum Szenario CH2050_{plus} kann

im Szenario CH2050_{eco} aufgrund der verbesserten regionalen Versorgung und des veränderten Ernährungsverhaltens mit einer leichten Erhöhung des Selbstversorgungsgrades gerechnet werden. Im Energiebereich steigt der Selbstversorgungsgrad im Szenario CH2050_{eco} wesentlich stärker an. Die Klimaänderung beeinflusst diese Entwicklung einerseits durch die veränderte Wasserverfügbarkeit sowie indirekt als treibende Kraft für eine Entkarbonisierung des Energieversorgungssystems.

9. Entwicklung der Beziehungen und Abhängigkeiten zwischen dem urbanen System Schweiz und dem globalen Umfeld

Die Klimaänderung ist ein globales Phänomen. Das urbane System Schweiz wird daher nicht nur direkt beeinflusst, sondern auch indirekt als Folge der Auswirkungen auf andere Weltregionen.

Eine entscheidende Grösse im Hinblick auf das zukünftige Funktionieren des urbanen Systems Schweiz ist der Anteil am Einkommen, welchen Haushalte für Nahrungsmittel und Energie aufwenden müssen. Wenn dieser auch in Zukunft weniger als 20% beträgt, wird die Verfügbarkeit der Ressourcen vermutlich den Zahlen in Tabelle 5 entsprechen. Es gibt aber Klimaänderungsszenarien für andere Regionen (subtropische, aride), in denen die Produktion landwirtschaftlicher Güter aus Gründen des stark veränderten Wasserhaushaltes massiv zurückgeht. Dadurch steigt der Preis für Nahrungsmittel exponentiell und verändert die Haushaltbudgets auch bei uns empfindlich. Die Energieverfügbarkeit aus fossilen Lagerstätten wird sich durch die Klimaänderung kaum direkt verändern. Sollten hingegen die Energiepreise aufgrund weltpolitischer Veränderungen rasch ansteigen, hat das urbane System Schweiz bisher keine alternative Versorgungsmöglichkeit. In diesem Fall könnten die Preise für Länder mit niedrigem SVG ein sehr hohes Niveau erreichen, d.h. sich innert 10–20 Jahren auf dem zehnfachen Betrag einpendeln. Der Umbauprozess des Bauwerks (vgl. Abschnitt 6) für ein Szenario CH2050_{eco} dauert aber zwischen 30–60 Jahre. Erst dann wäre die Schweiz für diesen Fall gerüstet.

Fazit

Das urbane System Schweiz ist aus heutiger weltpolitischer Sicht am stärksten gefährdet durch die nicht nachhaltig angelegte Energieversorgung. Dieser Nachteil kann durch die globale Klimaänderung je nach Einfluss auf andere Regionen noch verstärkt werden.

10. Folgerungen

Das isoliert betrachtete urbane System Schweiz ist relativ robust gegenüber der Klimaänderung. Ein grundlegender Umbau in Richtung einer gezielt nachhaltigen Entwicklung minimiert die direkten und indirekten Auswirkungen.

Für alle drei skizzierten Szenarien gilt, dass die Folgen der Klimaänderung das urbane System Schweiz in Teilbereichen lokal und saisonal stören können (vgl. Folgerungen aus den anderen Teilprojekten), aber nicht als Ganzes gefährden. Das System ist also relativ robust. Entwickelt sich die Schweiz in Richtung des Szenarios CH2050_{plus}, wird die Klimaänderung den Umgang mit den Schwachstellen des urbanen Systems nur geringfügig beeinflussen. Die nicht nachhaltige Energieversorgung (einseitige Abstützung auf fossile Energieträger) sowie die steigende Bauwerksgrösse pro Kopf (exponentieller Anstieg der Betriebskosten) werden bestehen bleiben. Die Auswirkungen der Klimaänderung auf andere Regionen, welche für die Schweiz ökonomisch relevant sind, könnten diese Schwächen noch verstärken.

Das Szenario CH2050_{eco} zeigt, welche Eigenschaften das urbane System Schweiz haben müsste, damit dessen Schwächen beseitigt werden könnten. Als kleine souveräne Gesellschaft wäre die Schweiz, gewissermassen als Bonus, robuster gegenüber den direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung. Ein Umbau der Schweiz in Richtung eines Zustandes CH2050_{eco} würde eine politisch breit abgestützte Überzeugung erfordern. Bisher ist ein solcher Umbauprozess jedoch lediglich Thema in einigen akademischen Gruppierungen, während er in politischen Programmen von Bundesrat und Parlament nur in bescheidenen Ansätzen verankert und noch weit von einer Konkretisierung entfernt ist. Aus heutiger Sicht erscheint es deshalb wahrscheinlicher, dass sich das urbane System Schweiz weiterhin in Richtung des Szenarios CH2050_{plus} bewegt.

Literatur und Anmerkungen

- 1 F. Oswald, P. Baccini, in Zusammenarbeit mit Mark Michaeli. Netzstadt – Einführung in das Stadtentwerfen. Basel/Boston/Berlin: Birkhäuser Verlag für Architektur, 2003.
- 2 P. Baccini, H.-P. Bader. Regionaler Stoffhaushalt. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 1996.
- 3 P. Baccini, D. Imboden. Technological strategies for reaching sustainable resource management in urban regions. In: Our fragile world: Challenges and opportunities for sustainable development. Forerunner to Encyclopedia of Life Support Systems. Oxford: EOLSS Publ., 2001, 2153–2173.
- 4 P. Baccini, S. Kytzia, and F. Oswald. Restructuring urban systems. In: F. Moavenzadeh, K. Hanaki, P. Baccini (Hg.). Future cities: dynamics and sustainability. Kluwer Academic Publishers, 2002, 17–43.
- 5 H. Leibundgut. Low-Ex-Gebäude ohne Verbrennungsprozesse. Einführungsvorlesung an der ETH Zürich vom 29.5.2006. Archiv der ETH Zürich.
- 6 Bundesamt für Statistik (BFS). Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung 2050. Bern, 2006.
- 7 Bundesamt für Raumentwicklung ARE. Raumentwicklungsbericht 2005
- 8 M. Michaeli. Abschnitt „Netze“. In: T. Sieverts, M. Koch et al. Zwischenstadt entwerfen, Zwischen Stadt entwerfen. Wuppertal, 2006.
- 9 Th. Lichtensteiger (Hg.). Bauwerke als Ressourcennutzer und Ressourcenspender in der langfristigen Entwicklung urbaner Systeme. vdf Zürich, 2006.
- 10 Basierend auf der Vorgabe, dass das Klima stabilisiert werden soll und jeder Mensch weltweit die gleiche Menge CO₂ emittieren darf.
- 11 Ch. Blaser, M. Redle. Mehr Mobilität mit weniger Verkehr – Umbauszenarien zur Aktivität Transportieren und Kommunizieren. In: P. Baccini, F. Oswald (Hg.). Netzstadt – Transdisziplinäre Methoden zum Umbau urbaner Systeme. vdf Zürich, 1998.

Versicherungen

Autoren

Dörte Aller
Pamela Heck
Jan Kleinn
Roland Hohmann

Aller Risk Management
Swiss Re
PartnerRe
Redaktion, OcCC, Bern



1. Einleitung

Einbettung

Ein sich änderndes Klima hat Auswirkungen auf fast alle Wirtschaftszweige und damit auf fast alle Bereiche der Versicherung. Nicht nur die Versicherung von Gebäuden und Mobilien mit ihrer Deckung gegen Elementarschäden (Sturm, Hagel, Überschwemmung, Erdbeben, Schneeeinbruch, Lawine, Felssturz und Steinschlag) ist von der Klimaänderung betroffen, sondern unter anderem auch:

- Landwirtschaftsversicherung wegen Ernteausfällen bei Hagel, Sturm, Überschwemmung, Dürre, Frost oder Waldbrand
- Autokasko wegen Schäden bei Hagel, Überschwemmung oder Sturm
- Versicherungen gegen Betriebsunterbruch
- Absicherungen gegen Einnahmeausfälle in der Tourismusbranche, dem Energiesektor und der Wasserwirtschaft
- Krankenkassen und Lebensversicherungen durch die Folgen von Extremereignissen

Bei Extremereignissen in der Schweiz machen die Gebäude- und Mobiliarschäden den grössten Anteil des versicherten Gesamtschadens aus (Tab. 1). Im vorliegenden Kapitel werden die Auswirkungen der Klimaänderung auf diese beiden Versicherungssparten sowie die Rückversicherungen behandelt.

Überblick

In den vergangenen Jahrzehnten haben die durch Naturereignisse verursachten Schäden weltweit und in der Schweiz zugenommen (Abb. 1 und 2). Diese Entwicklung ist hauptsächlich bedingt durch sozioökonomische Veränderungen: Die versicherten Werte haben zugenommen, immer mehr versicherte Werte befinden sich in exponierten Gebieten, die Schadenempfindlichkeit von Bauten ist wegen Bauart und Materialwahl gestiegen und die Versicherungsdurchdringung hat zugenommen. Wie gross der Einfluss der Klimaänderung auf den beobachteten Anstieg der Schäden war, ist unklar.

Auch in Zukunft wird sich das Gefährdungsbild durch Naturgefahren wegen gesellschaftlicher Veränderungen und wegen der Klimaänderung

verändern, und die Schäden werden zunehmen. Frühzeitige Anpassungen sind auf verschiedenen Ebenen erforderlich:

- Damit Versicherungen und Rückversicherungen im Schadenfall zahlen können, müssen sie wirtschaftlich sein. Bei häufigeren und stärkeren Naturereignisschäden müssen somit die Prämien erhöht oder die Deckung eingeschränkt werden. Um bei einer höheren Variabilität von Naturereignissen wirtschaftlich zu bleiben, müssen zudem die Versicherungen entweder ihr Kapital oder ihre Rückversicherungsdeckung erhöhen.
- Sollten starke Naturereignisse häufiger eintreten, müssen präventive Massnahmen getroffen werden, um das Risiko wieder versicherbar zu machen. Als langfristige Massnahmen gegen zunehmende Schäden von Naturgefahren wirken nur Anpassungen und die Durchsetzung der Raumplanungsvorschriften und der Bauvorschriften. Versicherungen und Rückversicherungen werden nach wie vor für die Schäden von seltenen Ereignissen aufkommen.
- Zurzeit werden in der Versicherungsindustrie neue Produkte entwickelt, die es erlauben, mit häufigen und intensiven Schadenereignissen mit einer hohen Variabilität umzugehen. Cat-Bonds sind erste Ansätze. Ihr Marktanteil ist im Vergleich zur klassischen Versicherung und Rückversicherung jedoch sehr klein.

Es ist wichtig, dass die Erkenntnisse der Forschung zu möglichen Konsequenzen der Klimaänderung, insbesondere der Extremereignisse, schon heute in die Risikomodelle zur Abschätzung des Schadenpotenzials der Versicherungswirtschaft und sämtlicher anderer Wirtschaftszweige einfließen.

Verknüpfung mit anderen Themen

Der Versicherungssektor weist Verknüpfungen mit allen anderen Themen auf, die im vorliegenden Bericht behandelt werden:

Landökosysteme

Können Schutz vor Naturgefahren (Lawinen, Hochwasser etc.) bieten

Landwirtschaft

Ernteausschlag bei Hagel, Sturm, Überschwemmung, Dürre oder Frost

Wasserwirtschaft

Schäden durch wasserbedingte Naturgefahren

Gesundheit

Krankenkassen und Lebensversicherungen, Spitäler

Energie

Versicherung von Produktionsausfällen.

Tourismus

Versicherung von Produktionsausfällen

Infrastrukturen

Versicherung von bestehenden Anlagen

Dieses Kapitel konzentriert sich auf den möglichen Einfluss der Klimaänderung auf die Sachversicherung. Ein besonderes Augenmerk liegt auf den zu erwartenden Änderungen der Naturgefahren. Wie bei vielen anderen Bereichen steht bei der Versicherung der Einfluss der Änderungen einzelner Extremereignisse auf potenzielle Schäden im Vordergrund und nicht die Änderungen der langfristigen Mittelwerte. Dies betrifft sowohl die Extreme von Temperatur und Niederschlag als auch die von Wind und Hagel. Zuerst wird die Funktionsweise und derzeitige Leistungsfähigkeit der Erst- und Rückversicherung, insbesondere in der Schweiz, beschrieben. Basierend auf den möglichen Veränderungen der Häufigkeit und Stärke von Naturgefahren werden dann deren Auswirkungen auf die Versicherung diskutiert.

2. Wie funktioniert Versicherung?

Der Grundgedanke einer Versicherung ist es, dass sich eine grössere Zahl von Menschen, die von einer ähnlichen Gefahr bedroht sind, zusammenschliesst, um im Falle eines Ereignisses den vom Unglück Betroffenen zu helfen. Folgende Merkmale kennzeichnen eine Versicherung: Gegenseitigkeit, Wirtschaftlichkeit, Vermögensbedarf, Zufälligkeit und Schätzbarkeit.¹

Ein Versicherer verwendet die eingenommenen Prämien zur Zahlung der erwarteten Schäden. Damit eine Versicherung wirtschaftlich arbeiten kann, müssen die künftigen Schäden – unter Berücksichtigung der Klimaänderung – richtig eingeschätzt werden. Sollte die Klimaänderung dazu führen, dass ein bisher aussergewöhnliches, zufälliges Ereignis regelmässig auftritt, müssen andere schadenmindernde Massnahmen getroffen werden. Die Versicherung ist nur für den Fall vorgesehen, dass Schäden durch Massnahmen weder verhindert noch reduziert werden können.

Wenn ein Versicherer die finanziellen Auswirkungen von Katastrophenereignissen oder nicht voraussehbare Schwankungen in seinem Schadenverlauf reduzieren möchte, kann er sich selbst versichern.² Man spricht dann von Rückversicherung. Grosse Schadenereignisse kann die Assekuranz über den Raum, durch andere Versicherungssparten und/oder über die Zeit ausgleichen.

Erstversicherungen

In Tabelle 1 sind für das jeweils grösste Sturm-, Überschwemmungs- und Hagelereignis in der Schweiz die versicherten Schäden der verschiedenen Versicherungssparten zusammengestellt. Bei diesen Ereignissen machen Gebäude- und Mobiliarschäden den grössten Anteil des versicherten Gesamtschadens aus. In der Folge konzentrieren wir uns auf diese Versicherungssparten.

In der Schweiz gibt es zwei Systeme zur Versicherung von Gebäuden und Mobiliar: die Kantonalen Gebäudeversicherungen (KGV) und die Privatassekuranz. Beide Systeme versichern Elementarschäden, sofern sie nicht durch zumutbare Massnahmen verhindert werden können. Elementarschäden werden durch Naturereignisse (Sturm, Hagel, Überschwemmung, Schneedruck, Lawinen, Erdbeben und Steinschlag) verursacht, die plötzlich und unvorhersehbar eintreten. Die Prämie wird vom Staat genehmigt, sowohl bei der Privatassekuranz als auch bei den KGV. Ein Teil

Tabelle 1: Das grösste versicherte Sturm-, Überschwemmungs- und Hagelereignis in der Schweiz, aufgeteilt nach Sachversicherungssparten (indexiert auf 2005). (Quellen: IRV, SVV, Hagelversicherung)

in Mio. CHF	Sturm Lothar 1999	Überschwemmungen August 2005	Hagel (AG/ZH) 24.6.2002 ^{a)}
Gebäude	750	890	~125
Mobiliar	140	820	?
Autokasko	65	90	~80
Betriebsunterbruch	20	200	?
Landwirtschaft	2	10	8
Summe	~1000	~2000	~250

a) Am 8.7.2004 verursachte ein Hagelereignis versicherte Autokaskoschäden in der Höhe von 100 Mio. CHF. Die Gebäudeschäden waren jedoch wesentlich tiefer.

dieser Prämie wird für die Rückversicherung (vgl. unten) verwendet.

Kantonale Gebäudeversicherung

Die öffentlichrechtlichen KGV versichern in 19 Kantonen³ sämtliche Gebäude (80% aller Gebäude in der Schweiz) unbegrenzt gegen Feuer und Elementarschäden. Für die KGV besteht eine gesetzliche Grundlage, die sie im Rahmen eines Obligatoriums und Monopols zur Deckung der Elementarschäden verpflichtet. In den Kantonen Waadt und Nidwalden ist auch das Mobiliar durch die KGV versichert.

Da die KGV in der Regel nur Gebäude versichern, fehlt ihnen der Ausgleich über andere Sparten, aufgrund ihrer Kleinräumigkeit fehlt der Ausgleich über den Raum. Für aussergewöhnliche Ereignisse kaufen die KGV daher bei ihrem Interkantonalen Rückversicherungsverband (IRV) zusätzliche Deckung, für extreme Ereignisse bieten sie sich gegenseitig Schutz in der Interkantonalen Risikogemeinschaft. Der IRV kauft wiederum Rückversicherung auf dem Weltmarkt.

Privatassekuranz

Die Privatassekuranz versichert gemäss Versicherungsaufsichtsgesetz (VAG) die Gebäude in den übrigen Kantonen.⁴ Auch das Mobiliar wird mit Ausnahme von Waadt und Nidwalden von der Privatassekuranz abgedeckt.

Die Privatassekuranz versichert auch andere Sparten und ist in der Regel im ganzen Land oder sogar international tätig. Auch die pri-

vaten Versicherungen haben sich in einem Elementarschadenpool zusammengetan, um das Risiko gemeinsam zu tragen und an den internationalen Rückversicherungsmarkt weiterzugeben.

Rückversicherungen

Rückversicherungen sind weltweit tätig und bilden daher eine noch grössere Risikogemeinschaft. Risiken werden somit weltweit und über verschiedene Gefahren ausgeglichen. Sie ermöglichen es, dass selbst sehr teure Risiken versichert werden können.

Rückversicherungsverträge und dabei insbesondere die Prämien werden in der Regel jährlich neu verhandelt. Es gibt im Wesentlichen zwei Arten von Rückversicherungsverträgen: Bei proportionalen Verträgen werden sowohl die eingenommenen Prämien als auch die anfallenden Schäden geteilt. Es gibt keine Begrenzung der Schadenhöhe. Nicht-proportionale Verträge sind auf eine bestimmte Schadenhöhe begrenzt. Für Naturgefahren ist dies die häufigste Vertragsart. Die Rückversicherung kann pro Ereignis oder auf den Jahresschaden, d.h. die Summe aller Schäden eines Jahres, abgeschlossen werden. Sowohl die KGV als auch die Privatassekuranz haben den Typ Jahresschaden als Rückversicherungslösung gewählt.

Neben traditionellen Deckungen bieten Rückversicherungen und Finanzinstitute Produkte an, die das Risiko zum Teil an die Finanzmärkte weitergeben. Bei Katastrophenanleihen, so

genannten Cat-Bonds, wird das Risiko über die Finanzmärkte gestreut. Tritt das vorher definierte Ereignis ein, wird das investierte Kapital für die Schadenbewältigung verwendet, ansonsten bekommen die Investoren ihr eingesetztes Kapital zuzüglich Zinsen ausbezahlt. Zurzeit sind weltweit weniger als 10 Mrd. USD in Cat-Bonds „versichert“.⁵ Cat-Bonds haben den Vorteil, dass sie gegenüber Börsen und Geldmärkten unabhängig sind. Auch Wetterderivate sind unabhängig, werden hingegen hauptsächlich zur Gewinnoptimierung

genutzt. Die Auszahlung erfolgt aufgrund von Über- oder Unterschreitungen mittlerer oder zumindest häufig auftretender klimatologischer Werte. Das weltweit gehandelte Volumen beläuft sich zurzeit auf rund 45 Mrd. USD.⁶ Cat-Bonds und Wetterderivate decken im Vergleich zur traditionellen Rückversicherung bisher nur einen sehr kleinen Teil des Risikos. Das an den Finanzmärkten zur Verfügung stehende Kapital ist fast unbegrenzt.

3. Schadenerfahrung

Sowohl in der Schweiz wie weltweit haben die Schadenskosten und ihre Variabilität in den letzten 20 Jahren zugenommen. Der Anteil der Klimaänderung an der Zunahme ist weitgehend unbekannt.

In den vergangenen Jahrzehnten haben die durch Naturereignisse verursachten Schäden weltweit, aber auch in der Schweiz zugenommen. Diese Entwicklung ist hauptsächlich durch sozioökonomische Veränderungen bedingt:

1. Zunahme der versicherten Werte insgesamt und speziell in gefährdeten Gebieten
2. Erhöhte Verletzlichkeit von Bauten wegen Bauart und Verwendung empfindlicher Materialien

3. Zunahme der Versicherungsdurchdringung, die für Gebäude und Mobiliar in der Schweiz schon sehr hoch war und ist
4. Verändertes Anspruchsverhalten der Versicherten

Wie gross der Einfluss der Klimaänderung auf den beobachteten Anstieg der Schäden ist, wurde bisher nicht quantifiziert.

Der globale Anstieg der versicherten Schäden ist in Abbildung 1 dargestellt. Sie verdeutlicht, dass die

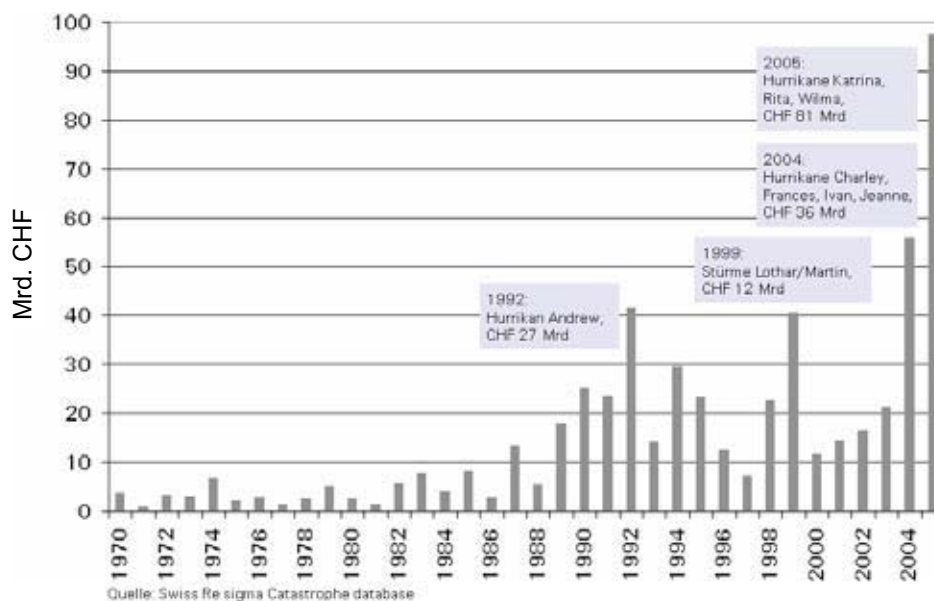


Abbildung 1: Globale Entwicklung der versicherten Schäden durch wetterbedingte Naturkatastrophen seit 1970.

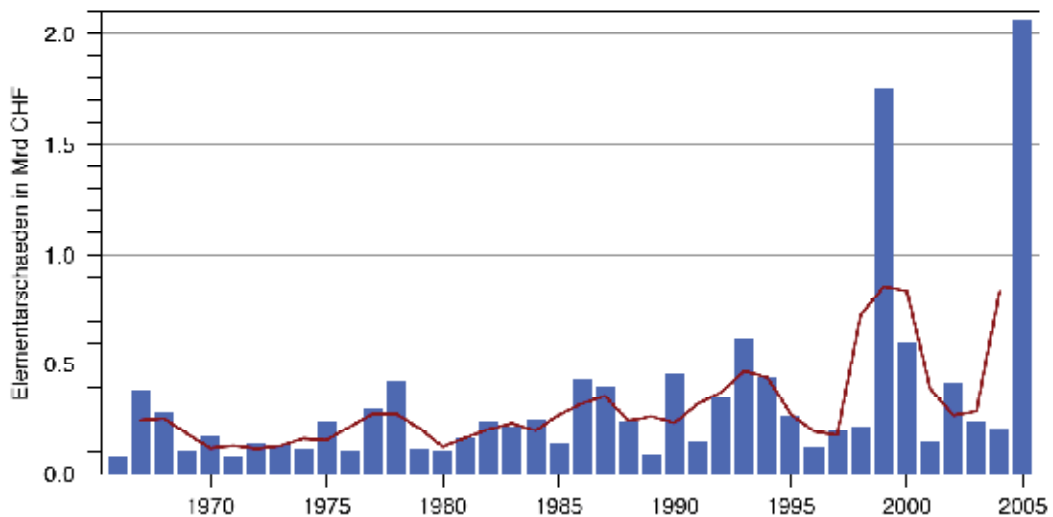


Abbildung 2: Versicherte Schäden in der Schweiz (Summe der Schäden der KGV und der Privatversicherungen, indiziert auf 2005). Die Linie zeigt das 3-jährige Mittel. Der Anstieg der Schäden und die Zunahme der Variabilität sind sichtbar. (Quelle: VKF Schadenstatistik und SVV; für 2005 stehen nur vorläufige Zahlen zur Verfügung)

Schäden der weltweit grössten Naturkatastrophen jene in der Schweiz um ein Vielfaches übersteigen. Das Jahr 2005 gilt als das bisher teuerste Jahr für die Versicherungen; Hurrikan Katrina verursachte den grössten je versicherten Schaden von 56 Mrd. CHF. Das ist deutlich höher als der durch die Wirbelstürme Ivan, Charley, Frances und Jeanne im Jahr 2004 verursachte damalige Rekordschaden von 35 Mrd. CHF. Den grössten versicherten Wintersturmschaden von 5.9 Mrd. CHF (Gesamteuropa) richtete Vivian im Jahr 1990 an. Die bisher grössten versicherten Überschwemmungsschäden (4.5 Mrd. CHF) wurden durch die Hochwasser der Donau und Elbe 2002 verursacht.

Auch in der Schweiz ist ein Anstieg der versicherten Schäden durch Naturereignisse zu verzeichnen (Abb. 2). Die rote Linie zeigt das 3-jährige Mittel, welches Ausreisser glättet. Sowohl der Anstieg als auch die Zunahme der Variabilität sind zu erkennen. Die zwei teuersten Jahre sind 1999 und 2005. Das Jahr 2005 war mit Schäden von über 2 Mrd. CHF das bisher teuerste Jahr für die Versicherungen. Der weitaus grösste Teil wurde durch das Augusthochwasser verursacht, welches als das bisher teuerste Einzelereignis gilt. Die versicherten Schäden im Jahr 1999 – verursacht durch den Lawinenwinter, die Überschwemmungen im Mai, ein Hagelereignis im Juli und den Wintersturm Lothar – belaufen sich auf ungefähr 1.8 Mrd. Franken.

Schadenpotenziale

Im Vergleich zu den grössten Naturkatastrophen, welche die Versicherungsindustrie bisher zu bewältigen hatte, sind noch weit grössere Schadenereignisse denkbar. Unter Schadenpotenzial versteht die Assekuranz den geschätzten versicherten Schaden für sehr seltene, aber mögliche Ereignisse. In der Versicherungswirtschaft spricht man vom Possible Maximum Loss (PML). In Tabelle 2 sind die grössten Schadenpotenziale für die Schweiz, Europa und die Welt zusammengestellt. Da es sich bei diesen Zahlen um Abschätzungen handelt, gibt die Tabelle für die Schadenpotenziale nur Grössenordnungen an. Zum Vergleich ist das grösste bisher eingetretene Schadenereignis aufgeführt. Die Tabelle besagt, dass in der Schweiz alle 200–300 Jahre für jede Gefahr mit einem versicherten Schaden von 3 Mrd. CHF gerechnet werden muss. Dabei handelt es sich um einen statistischen Mittelwert. Es ist auch möglich, dass ein solcher Schaden zweimal kurz nacheinander auftritt.

Tabelle 2 zeigt, dass die Versicherungsindustrie sowohl schweiz- wie auch weltweit auf enorme Potenziale vorbereitet sein muss, welche die grössten historischen Ereignisse um ein Vielfaches übertreffen. Von grossem Interesse ist demzufolge, ob und wie sich die Potenziale unter der Klimaänderung ändern könnten. Zudem basieren die Abschätzungen in der Regel auf den Erfahrungen der Vergangenheit und sind daher nur begrenzt für die mittelfristige Zukunft brauchbar.

Tabelle 2: Für ein 200–300-jährliches Ereignis wurden grob die Schadenpotenziale für Sturm, Hagel und Überschwemmung in der Schweiz, der EU und weltweit angegeben.
(IRV, Swiss Re, PartnerRe, und weitere Gesprächspartner aus der Versicherung)

	Schweiz		EU		Welt	
in Mrd. CHF	Potenzial ^{a)}	grösster Schaden	Potenzial ^{b)}	grösster Schaden	Potenzial ^{b)}	grösster Schaden
Sturm	~3	1	50 ^{c)}	5.9 ^{d)}	150 ^{e)}	56 ^{f)}
Überschwemmung	>3	2	15 ^{g)}	4.5 ^{h)}	n/a	n/a
Hagel	<2 ⁱ⁾	0.25	4.5 ^{j)}	1 ^{k)}	n/a	n/a

a) Die angegebenen Zahlen für die Schweiz basieren auf einer Studie des Interkantonalen Rückversicherungsverbandes und beziehen sich auf Gebäudeschäden der 19 KGV mit einer Wiederkehrperiode von rund 250 Jahren. (Quelle GB-IRV 2003) Für die Schäden der privaten Versicherungsgesellschaften wurde eine grobe Schätzung vorgenommen.

b) Die angegebenen Zahlen für Europa und weltweit basieren auf einer Wiederkehrperiode von 200 Jahren. (Quelle: Swiss Re 2006)

c) Winterstürme

d) Wintersturm Vivian 1990

e) Tropische Stürme inkl. Sturmflut (storm surge)

f) Tropischer Sturm Katrina 2005

g) Es handelt sich um versicherbare Potenziale, das heisst unter der Annahme einer Überschwemmungsversicherungsdurchdringung wie bei Feuer.

h) Überschwemmungen 2002

i) Die Schweiz liegt zu einem grossen Teil in der am höchsten gefährdeten Zone für Hagelereignisse, daher ist ihr Schadenpotenzial verglichen mit demjenigen ganz Europas entsprechend hoch.

j) „Hagelstürme in Europa – Neuer Blick auf ein bekanntes Risiko“, Swiss Re 2005

k) Hagel München 1984

4. Ausblick in die Zukunft

Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über (ausgewählte) künftige Änderungen des Risikos. Es werden mögliche Änderungen der Gefährdungen durch Wintersturm, Überschwemmung und Hagel beschrieben und die Auswirkungen auf die versicherten Schäden diskutiert. Eine Zusammenstellung der Veränderungen bei den Extremereignissen bis 2050 ist im Kapitel Grundlagen enthalten.

Die Anteile der Klimaänderung und der gesellschaftlichen Veränderungen an der Schadenentwicklung sind heute noch nicht genügend in die Risikoeinschätzungen und das Risikomanagement einbezogen. Besonderer Forschungsbedarf besteht bei der Berücksichtigung von zukünftigen Sachschäden durch Extremereignisse.

Obwohl die Ergebnisse wissenschaftlicher Studien immer konsistenter und umfassender werden, bestehen weiterhin Unsicherheiten bezüglich des Einflusses der Klimaänderung auf die Entwicklung der Schäden (Abb. 1 und 2). So weiss man zum Beispiel nicht, wie viel die Klimaänderung zum Anstieg der Schäden in den letzten 30 Jahren beigetragen hat. Die Trennung der verschiedenen sozioökonomischen und klimatologischen Einflüsse erweist sich insbesondere deshalb als

sehr schwierig, weil die Wirkungskette vom Naturereignis bis zum Schaden einen komplexen, schwer zu modellierenden Prozess darstellt (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft).

Winterstürme

Winterstürme stellen das grösste Schadenpotenzial für Europa und das zweitgrösste für die Schweiz dar (vgl. Tab. 2). Um die Folgen der Klimaänderung auf Winterstürme in Europa zu analysieren

und insbesondere die Auswirkungen auf die versicherten Schäden zu quantifizieren, werden zunehmend wissenschaftliche Modelle mit Schadenmodellen der Versicherungswirtschaft gekoppelt.

In einer Studie von Swiss Re und ETH Zürich⁷ wurden mehrere Klimamodelle mit einem Versicherungsschadenmodell gekoppelt und die künftigen Sturmschäden durch Winterstürme untersucht. Dabei zeigt sich, dass die Klimaänderung langfristig zu mehr und stärkeren Winterstürmen und damit auch zu höheren Schäden führen könnte. Bis Ende des 21. Jahrhunderts (2071–2100) könnten die Schäden in Gesamteuropa um 20%–70%⁸ gegenüber der Referenzperiode (1961–1990) zunehmen (Abb. 3).⁹ In der Schweiz wird im Mittel eine Zunahme der Wintersturmschäden um etwa 20% (0%–50%, abhängig vom Klimamodell) erwartet. Für das Jahr 2050 sind keine entsprechenden Modellrechnungen vorhanden. Es ist aber anzunehmen, dass bereits dann eine Zunahme der Sturmschäden – wenn auch in geringerem Ausmass – zu beobachten sein wird. Bei den Modellrechnungen fällt auf, dass als Folge der Klimaänderung die seltenen und folgenschweren Extremereignisse, wie beispielsweise die Winterstürme Lothar oder Vivian, die oben genannte Zunahme stärker beeinflussen

werden als die weniger intensiven Ereignisse: Bei den 100-jährlichen Schadenergebnissen beträgt die Zunahme europaweit etwa 100%, bei den 10-jährlichen Ereignissen etwa 20%.

Überschwemmungen

Berechnungen mittels regionaler Klimamodelle zeigen, dass sich als Folge der Klimaänderung die Wiederkehrperioden der 5-Tages-Niederschlagsmengen (charakteristisch für lang anhaltenden Starkniederschlag) im Winter in Mitteleuropa in einem zukünftigen Klima (2071–2100) halbieren könnten.¹⁰ Ein 100-jährliches Ereignis würde zu einem 50- bis 100-jährlichen Ereignis, ein 20-jährliches Ereignis zu einem 10- bis 20-jährlichen Ereignis. Diese Veränderung hätte weitreichende Folgen für das Hochwasserrisiko und die verursachten Schäden. Würde sich beispielsweise die Wahrscheinlichkeit eines Hochwassers vom Ausmass des Augusthochwassers 2005 in der Schweiz verdoppeln, müssten die Risikoeinschätzung und das Risikomanagement angepasst werden. Weitere Auswirkungen betreffen die Planung und Auslegung von Schutzmassnahmen (vgl. Kapitel Wasserwirtschaft). Gleich wie bei Sturm und Hagel müssen auch bei den Abschätzungen des Hochwasserrisikos gesellschaftliche Veränderungen (wo und wie gebaut und genutzt wird) berücksichtigt werden.

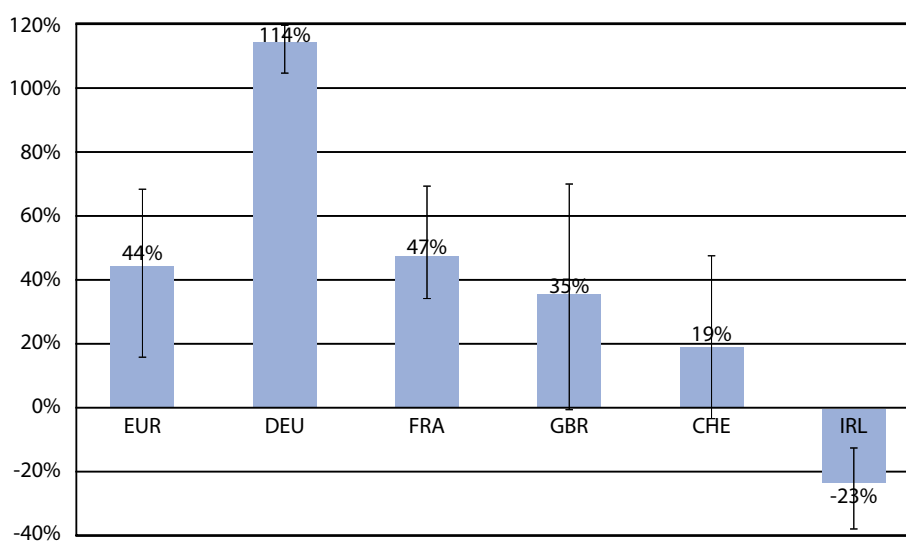


Abbildung 3: Mittlere Zunahme des Jahresschadens in Europa (EUR), Deutschland (DEU), Frankreich (FRA), Grossbritannien (GBR), Schweiz (CHE) und Irland (IRL) für den Zeitraum 2071–2100 im Vergleich zur Referenzperiode 1961–1990. Der blaue Balken gibt den Mittelwert aus den Klimamodellen an, der Fehlerbalken zeigt die Streubreite der Modelle.

(Quelle: P. Heck, D. Bresch and S. Tröber. The effects of climate change: Storm damage in Europe on the rise. Swiss Re Focus report no. 1503160_06_en, 2006)

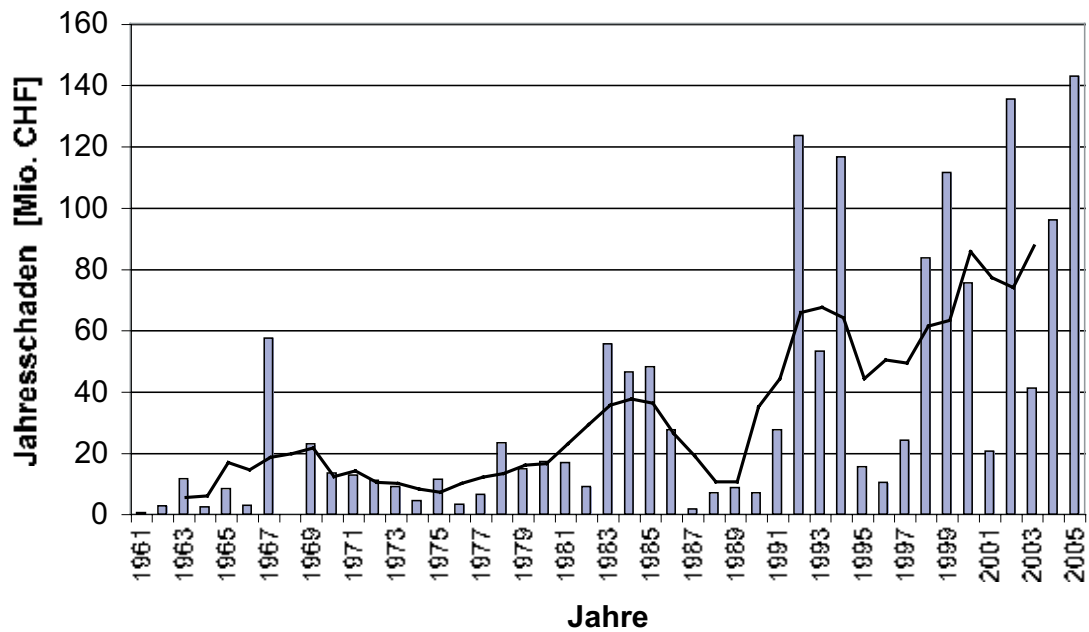


Abbildung 4: Hagelschäden der Kantonalen Gebäudeversicherungen; indexiert mit Zürcher Baukostenindex und Teuerung von 1.5%; nur Gebäude, 1968 fehlt, 2005 provisorisch; schwarze Linie: gleitendes Mittel über 5 Jahre. (Quelle: VKF Schadenstatistik)

Hagel

Weite Teile der Schweiz liegen in einer Zone hohen Hagelrisikos im Vergleich zu weiten Teilen Europas. Dementsprechend ist das Schadenpotenzial gross. Seit 1940 haben die Grosswetterlagen, die in der Schweiz für extreme Hagelereignisse verantwortlich sind,

deutlich zugenommen. Falls die Häufigkeit dieser Wetterlagen auch in Zukunft ansteigt, muss vermehrt mit extremen Hagelereignissen gerechnet werden.¹¹ Weil Hagelereignisse sehr lokale Ereignisse sind, ist es schwierig, sie mit Klimamodellen zu simulieren und Prognosen zu künftigen Veränderungen zu machen.

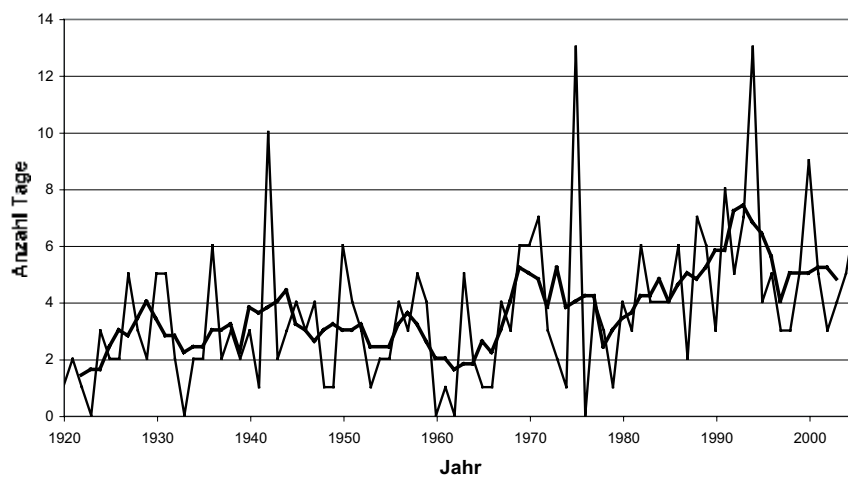


Abbildung 5: Zeitreihe der Anzahl Hageltage mit 100 und mehr betroffenen Gemeinden von 1920–2005. Der steigende Trend der „starken“ Hageltage zwischen 1980 und 1994 ist deutlich erkennbar. (Quelle: Hans-Heinrich Schiesser)

Auch die Schäden aufgrund der Hagelereignisse haben in der Vergangenheit zugenommen. In den letzten 15 Jahren verzeichneten die Kantonalen Gebäudeversicherungen rund viermal höhere Schäden als in den 1960er und 1970er Jahren (Abb. 4). Für diese Entwicklung gibt es verschiedene Ursachen. Zum einen hat die Zahl der schweren Hagelzüge zugenommen (Abb. 5). Allerdings ist die Zunahme der Ereignisse weniger ausgeprägt als die der Schäden. Zum anderen tragen gesellschaftliche Veränderungen zur Zunahme der Schäden bei. Dazu gehören die Verwendung von Materialien, die nicht hagelgeeignet sind (z.B. Lamellenstoren und Metallverkleidungen), sowie das höhere Anspruchdenken der Versicherten. Schliesslich hängt das Schadenausmass bei kleinräumigen Hagelzügen sehr stark vom Zufall ab. Durch Zufall könnten in den letzten Jahren vermehrt Gebiete mit höheren Werten getroffen worden sein. Diese drei Ursachen wirken sich kombi-

niert auf die Schadenentwicklung aus: Nehmen die Hagelzüge als Folge der Klimaänderung zu, so steigt auch die Wahrscheinlichkeit, dass Gebiete mit hohen Werten und empfindlichen Materialien getroffen werden.

Schlussfolgerung

Es ist notwendig, die Anteile der Klimaänderung und der gesellschaftlichen Veränderungen an der Schadenentwicklung besser zu quantifizieren und diese dann in die Risikoeinschätzungen und das Riskomanagement einzubeziehen. Insbesondere bei Entscheidungen, die langfristig wirken, ist es wichtig, auch unsichere Prognosen zu berücksichtigen. Im Bereich der Sachversicherung werden die Änderungen in den Extremereignissen die grösste Rolle spielen. Studien zu diesem Themenbereich werden demzufolge als Entscheidungsgrundlage benötigt und sollten in der Wissenschaft einen entsprechend hohen Stellenwert erhalten.

5. Auswirkungen auf und Massnahmen der Versicherungen

Die Klimaänderung und die damit verbundene Änderung in der Intensität und Häufigkeit von Naturereignissen haben vielfältige Auswirkungen auf die Versicherungswirtschaft. Einen Teil dieser Auswirkungen kann die Versicherungswirtschaft selbst mit Massnahmen finanziell abdecken, für andere braucht es hingegen Massnahmen auf gesellschaftlicher und politischer Ebene.

Auswirkungen auf die Versicherung

Wie in Abschnitt 2 erwähnt, basieren Versicherungen auf Gegenseitigkeit, Wirtschaftlichkeit, Vermögensbedarf, Zufälligkeit und Schätzbarkeit. Diese Merkmale werden durch die Klimaänderung auf unterschiedliche Art und Weise beeinflusst:

Gegenseitigkeit

Es wird in Zukunft weniger akzeptiert sein, in den betroffenen und weniger betroffenen Gebieten für die Finanzierung der Schäden einheitliche Prämien von allen Versicherungsnehmern zu erheben. Die Solidarität wird somit in Frage gestellt.

Wirtschaftlichkeit

Auch in Zukunft müssen die eingenommenen Prämien die Schäden decken. Wenn grosse Schadenereignisse häufiger oder teurer

werden, müssen langfristig die Prämien und Versicherungsbedingungen entsprechend angepasst werden, damit die Versicherungsindustrie auch weiterhin wirtschaftlich operieren kann.

Vermögensbedarf

Ändert sich nebst der Intensität der Schadenereignisse auch die Variabilität, müssen die Versicherungen mehr Kapital für die Deckung der Schäden verfügbar haben oder höhere Rückversicherungsdeckung kaufen. Die Rückversicherungsdeckung kann kurzfristig angepasst werden, eine Kapitalerhöhung braucht in der Regel Zeit und sollte erfolgen, bevor die höheren Schäden das Kapital dezimieren.

Zufälligkeit

Die Klimaänderung beeinflusst die Häufigkeit von Ereignissen. Extremereignisse, die heute ausser-

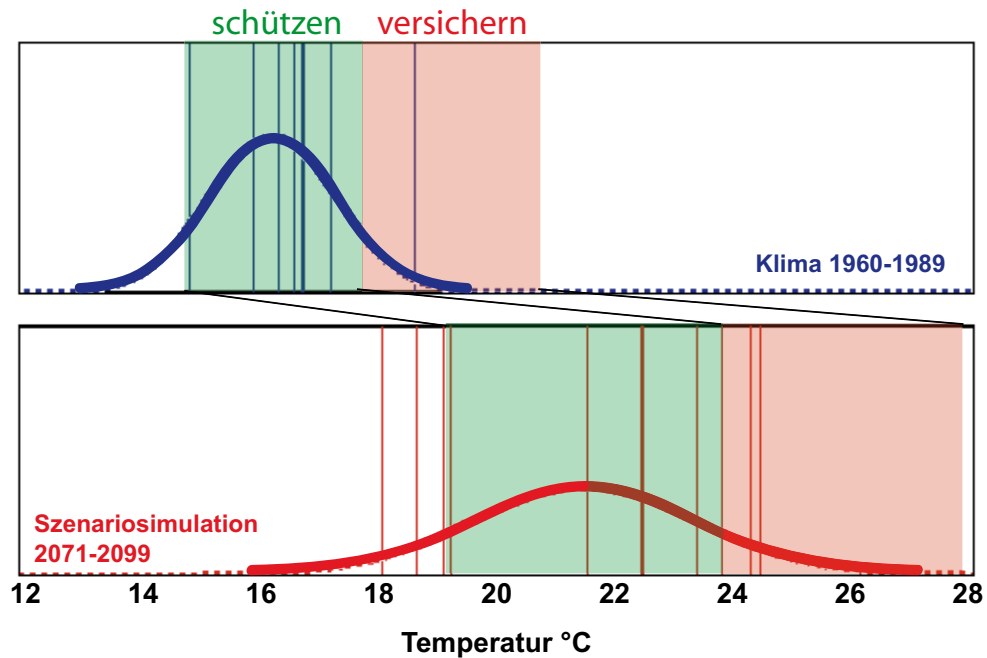


Abbildung 6: Die Klimaänderung wird die Auftretenswahrscheinlichkeit und Intensität von Ereignissen verändern (Beispiel Sommertemperaturen, auf Naturgefahren übertragbar).¹² Versicherungen decken die Schäden durch aussergewöhnliche, seltene Extremereignisse (roter Bereich in der oberen Abbildung). Werden solche Ereignisse als Folge der Klimaänderung zum Normalfall, müssen andere Massnahmen zur Vermeidung und Behebung der Schäden getroffen werden (grüner Bereich in der unteren Abbildung). Gleichzeitig nimmt die Intensität der Extremereignisse zu, für die der Versicherungsschutz vorgesehen ist (roter Bereich in der unteren Abbildung).

gewöhnlich und selten sind, könnten wegen der Klimaänderung regelmässig auftreten und zum Normalfall werden (Abb. 6). Regelmässige, vorhersehbare Schäden widersprechen dem Grundsatz der Versicherung. Für diese müssen präventive Massnahmen getroffen werden.

Schätzbarkeit

Die Schätzbarkeit eines Risikos ist einfacher, je grösser die Datenmenge ist, je länger die vorhandenen Datenreihen sind und je geringer die Variabilität in den Daten ist. Um Klimaänderung in die Risikoabschätzung einbeziehen zu können, benötigt man Prognosen über die zu erwartende Veränderung von Intensität und Frequenz der Extremereignisse und eine Abschätzung ihrer Unsicherheit.

Massnahmen der Versicherung

Versicherungen haben mehrere Möglichkeiten, um auf die oben genannten Auswirkungen zu reagieren. Dabei ist es für die gesamte Versicherungswirtschaft wichtig, dass wissenschaftliche Erkenntnisse über den Einfluss der Klimaänderung in die Risikomodelle einfließen.

Erstversicherungen

Erhöhung der Prämien

Nehmen Intensität und Häufigkeit von Schadenereignissen zu, müssen die Versicherungen langfristig die Prämien erhöhen, damit sie die anfallenden Schäden weiterhin bezahlen können. Auch für die Erhöhung der Rückversicherungsdeckung und/oder des Kapitals müssen die erhobenen Prämien heraufgesetzt werden.

Anpassung der Versicherungsbedingungen

Die Versicherungsbedingungen können angepasst werden. Dies kann durch einen höheren Selbstbehalt, durch Ausschlüsse oder durch eine Deckungslimite erreicht werden. Diese Anpassungen können dazu führen, dass Schäden nur zu einem Teil von der Versicherung bezahlt werden. Bei einem Selbstbehalt wird der Schaden erst ab einer bestimmten Höhe von der Versicherung bezahlt. Dies kann den Hausbesitzer dazu animieren, sein Haus derart zu schützen und zu unterhalten, dass keine vorhersehbaren und vermeidbaren Schäden entstehen. Ausschliessen kann eine Versicherung beispielsweise empfindliche Baumaterialien, die

nach heutigem Kenntnisstand den vorhersehbaren Naturereignissen nicht standhalten. Eine Deckungslimite begrenzt für die Versicherungen zu zahlenden Schaden nach oben.

Risikoprämien

Eine Risikoprämie für einzelne Objekte macht in der Schweiz nur begrenzt Sinn. In der Schweiz beträgt die Prämie für alle Elementarrisiken (Sturm, Hagel, Überschwemmung, Erdbeben, Schneedruck, Lawine, Felssturz und Steinschlag) weniger als 50 Rappen pro 1000 Franken Versicherungssumme. Für ein Einfamilienhaus von 500'000 Franken beträgt die Prämie weniger als 250 Franken im Jahr. Nur eine massive Erhöhung dieser Prämie würde einen uneinsichtigen Eigentümer dazu bewegen, Geld in schadenmindernde Massnahmen zu investieren. Wirkungsvoller sind angepasste Selbstbehalte.

Rückversicherungen

Von Seiten der Rückversicherung wird ein Anstieg in Häufigkeit und Intensität von grossen Schadenereignissen zu einem Anstieg der Rückversicherungsprämie führen. Rückversicherungen müssen ihr Kapital erhöhen, um steigende Schäden weiterhin zahlen zu können. Ferner können Rückversicherungen ihr Risiko breiter streuen, indem sie bei weiteren Rückversicherungen (Retrozession genannt) oder mit Cat-Bonds am Finanzmarkt Deckung gegen Extremereignisse kaufen. Es ist auch denkbar, dass weitere Instrumente des Risikotransfers entwickelt werden.

Massnahmen der Gesellschaft

Für die Bewältigung der Veränderung von Intensität und Häufigkeit der Extremereignisse als Folge der Klimaänderung braucht es auch gesellschaftliche Anpassungen.

Durch Ausschlüsse, Deckungslimiten oder ungenügende Rückversicherungsdeckung (bzw. ungenügendes Kapital) können Deckungslücken entstehen, für welche die Gesellschaft oder der Staat aufkommen muss. Eine Prämienerrhöhung kann problematisch werden, wenn die Prämien von einem Grossteil der Gesellschaft nicht mehr bezahlt werden können. Im Sinne der Nachhaltigkeit muss es also das Ziel sein, durch gesellschaftliche und politische Rahmenbedingungen die Folgen von Naturereignissen zu reduzieren.

Auf politischer Ebene müssen – auch im Interesse des Staates – angepasste Rahmenbedingungen geschaffen werden, damit die Versicherungswirtschaft weiterhin wirtschaftlich operieren kann, auch wenn für die Bewältigung höherer Schäden z.B. höhere Kapitalrücklagen nötig sind.

Gleichzeitig müssen Massnahmen ergriffen werden, um das Ausmass von Schäden zu reduzieren. Über die Raumplanung lässt sich beeinflussen, wo gebaut werden darf und wo nicht. In der Raumplanung müssen Naturgefahren nicht nur in ihrer heutigen sondern auch in ihrer künftigen Ausdehnung berücksichtigt werden (vgl. Kapitel Urbane Schweiz).

Über Baunormen und Baugesetze lässt sich beeinflussen, wie und mit welchen Materialien gebaut werden muss (vgl. Kapitel Bauten und Infrastrukturen, Abschnitt 2). Auch hier gilt es, künftige Veränderungen zu berücksichtigen. Planer und Bauherren sollten angehalten werden, vorausschauend zu planen und zu bauen. Was dem Wetter ausgesetzt ist und ein grosse Gefährdung besitzt, sollte heute wie morgen unwetterresistent sein. Ereignisse, die heute aussergewöhnlich sind, könnten bis 2050 zum Normalfall werden und sollten somit in die heutige Planung einbezogen werden.

Versicherungen können die verschiedenen Anpassungen unterstützen. Auf politischer Ebene können sie sich dafür einsetzen, dass geeignete Rahmenbedingungen geschaffen werden, um den künftigen Herausforderungen zu begegnen. Ferner können Versicherungen die Gefahrenkartierung sowie deren Umsetzung fördern und fordern, Wegleitungen und Broschüren zum naturgefahrengerechten Bauen und Register von geeigneten Baumaterialien erstellen. Mit Vorbehalten, Auflagen oder Ausschlüssen können die Versicherungen – oft jedoch erst im Schadenfall – die Umsetzung fördern.

Aus ökonomischer Sicht sind auch Anstrengungen zur Treibhausgasreduktion wirksame Mittel, um die Empfindlichkeit vor Veränderungen zu reduzieren. Dies gilt besonders dann, wenn die Emissionsreduktionen auch vor der Klimaänderung schützen (siehe Kasten Emissionshandel und Klimapolitik sowie Kasten Nachhaltige Investitionen zur Förderung der Energieeffizienz.)

Emissionshandel und Klimapolitik

Die Flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls (Clean Development Mechanism (CDM), Joint Implementation (JI), Emissionshandel) haben zum Ziel, Treibhausgasreduktionsmassnahmen möglichst kostengünstig zu gestalten. Massnahmen sollen dort ergriffen werden, wo sie am billigsten zu realisieren sind. Die flexiblen Mechanismen sind das einzige Instrument, um Regionen ohne Reduktionsverpflichtungen in die internationalen Klimaschutzbemühungen einzubinden. Der Emissionshandel stellt zudem eine Verbindung zwischen den Treibhausgasemissionen und den Kapitalmärkten her.

Mit dem Handel von Emissionsrechten kann ein Land an den Klimaschutzmassnahmen anderer Länder teilhaben. Man unterscheidet zwischen Emissionsrechten, die im Rahmen des Kyoto-Protokolls oder innerhalb eines geschlossenen Handelssystems einem Land oder einem Betrieb zugeteilt werden, und Emissionsrechten, die durch ein Klimaschutzprojekt in einem anderen Industrieland (JI) oder Entwicklungsland (CDM) generiert werden. 2005 war das Handelsvolumen der zugeteilten und der generierten Emissionsrechte ungefähr gleich gross.

Für den Handel von Zertifikaten existieren verschiedene Handelssysteme, die nicht miteinander gekoppelt sind. Das wichtigste ist das Europäische Emissionshandelssystem (EU Emission Trading

Scheme, EU-ETS). Weitere Handelssysteme existieren beispielsweise in den Nicht-Kyoto-Staaten Australien und USA. Für Transaktionen von Emissionsrechten, die durch CDM-Projekte in Entwicklungsländern generiert werden, ist die Weltbank die zentrale Institution. Die Preisentwicklung in den verschiedenen Märkten ist bisher sehr unterschiedlich.

Die Entwicklung des Handels mit Emissionsrechten hängt von der künftigen Entwicklung der internationalen Klimapolitik ab. Folgende Bedingungen sind für den Erfolg des Emissionshandels wichtig:

1. Reduktionsmassnahmen müssen sich lohnen. Der CO₂-Preis sollte so hoch sein, dass sich der Wechsel zu Energieträgern mit günstigerem Energie/Emission-Verhältnis lohnt, also beispielsweise von Erdöl auf Erdgas.
2. Damit der Treibhausgas-Zertifikatehandel eine langfristige Perspektive hat, braucht es langfristig verbindliche Reduktionsziele.
3. Die verschiedenen Handelssysteme sollten miteinander verknüpft und möglichst global gestaltet werden, damit der Markt seine volle Effizienz entfalten kann. Eine vermiedene Tonne CO₂ hat unabhängig vom Vermeidungsort und dem regionalen Reduktionsziel den gleichen Wert für das Klimasystem.

Prof. Georg Müller Fürstenberger

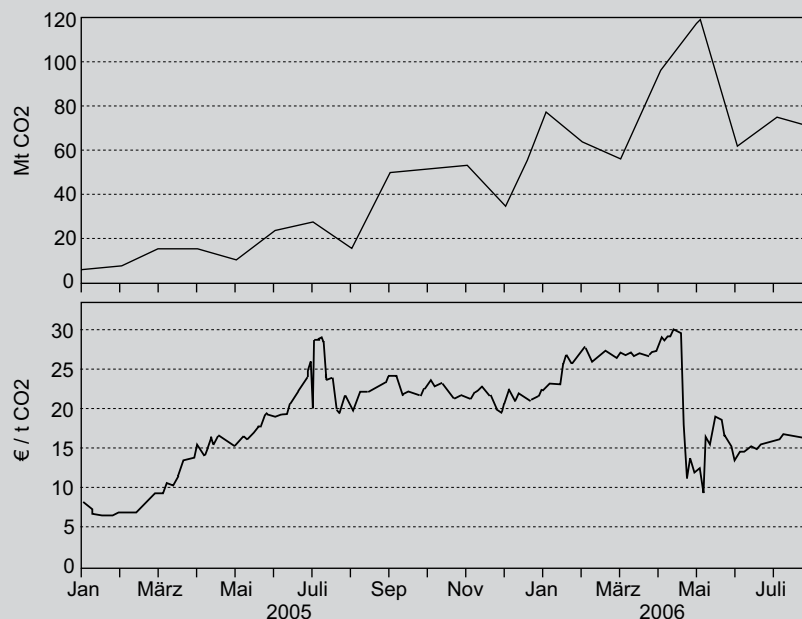


Abbildung 7: Gesamtes Handelsvolumen und Preisentwicklung von Emissionsrechten im Europäischen Emissionshandelssystem EU-ETS. Das monatliche Handelsvolumen ist seit Beginn des EU-ETS im Januar 2005 von 10 Mio. t CO₂ auf über 60 Mio. t CO₂ gestiegen. Die Zertifikatspreise weisen noch grosse Schwankungen auf.

Nachhaltige Investitionen zur Förderung der Energieeffizienz

Unternehmen, die rücksichtsvoll mit Mensch und Umwelt umgehen, generieren nachhaltige Gewinne für die Aktionäre – diese Überlegung steht hinter nachhaltigen Finanzanlagen. Nachhaltigkeitsfonds (Sustainable Responsible Investment, SRI-Fonds) spielen in der Schweiz aber immer noch eine untergeordnete Rolle. Von den ungefähr 500 Mrd. Franken, die 2005 in der Schweiz in Anlagefonds investiert wurden, betrug der Anteil der so genannten SRI-Fonds nur 1%. Dies, obwohl der Erfolg der SRI-Fonds im Durchschnitt mindestens gleich gut ist wie derjenige der traditionellen Fonds.

Veränderungen bedeuten eine Herausforderung für die Wirtschaft. Sie muss sich möglichst schnell und gut den veränderten Verhältnissen anpassen. So auch bei der Klimaänderung, die zu einer Veränderung der politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen führt. Beispiele dafür sind die staatliche Förderung der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz oder der Emissionshandel. Anlageberater investieren in Firmen, die sich am besten an die veränderten Bedingungen anpassen können und die Chancen durch neuartige Produkte nutzen.

Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz führen zur Reduktion von Emissionen und Energiekosten. Es gibt zahlreiche Beispiele von Firmen, die durch Investitionen in die Energie-

effizienz viel Geld gespart haben: Die BT Group (British Telecom) sparte 214 Mio. USD zwischen 1991 und 2004, DuPont konnte seit 1990 rund 2 Mrd. USD einsparen. Trotzdem fließt das „Risikokapital“ kaum in die Förderung der entsprechenden Technologien.

Heute wählen Anlagefonds, die in Technologien zur Steigerung der Energieeffizienz investieren, Titel meistens nach relativen Massstäben aus. In der Regel genügt es, wenn Firmen und Technologien eine überdurchschnittliche Energieeffizienz aufweisen. Die Frage, ob sie einem langfristigen Effizienzziel genügen, spielt dabei keine Rolle. Damit jedoch die Technologien zur Förderung der Energieeffizienz einen Beitrag zum langfristigen Klimaschutzziel leisten, muss sich deren Auswahl nach langfristigen Klimaschutz- und Energieeffizienzzielen richten:

- Im Rahmen des Klimaschutzes sollten die westlichen Industrienationen ihre THG-Emissionen bis 2050 um 60–80% senken. Dies entspricht einer jährlichen Reduktion um 2–3.5%.
- Unter der Annahme, dass ein Industriesektor um X% zunimmt, müsste die Effizienz um (2+X) bis (3.5+X)% pro Jahr gesteigert werden.

Aus heutiger Sicht steht fest, dass nur neue Technologien diese Vorgaben erfüllen können.

*Dr. Gerhard Wagner (UBS) und
Simone Schärer (SAM)*

Literatur und Anmerkungen

- 1 H. Erb. Grundzüge des Versicherungswesens. Verlag des Schweizerischen Kaufmännischen Verbandes, Zürich: 1990.
- 2 ASA/SVV, Schweizerischer Versicherungsverband, Association Suisse d'Assurances.
- 3 Kantonale Gebäudeversicherungen gibt es in den Kantonen: ZH, BE, LU, NW, GL, ZG, FR, SO, BS, BL, SH, AR, SG, GR, AG, TG, VD, NE, JU.
- 4 Kantone ohne Kantonale Gebäudeversicherung: GE, UR, SZ, TI, AI, VS, OW.
- 5 www.swissre.com
- 6 www.wrma.org
- 7 Swiss Re (Hg.). Folgen der Klimaveränderung: Mehr Sturmschäden in Europa. 2006.
- 8 Der Schwankungsbereich der Resultate ergibt sich aus den verschiedenen Modellen. Währungsschwankungen und Inflation wurden nicht berücksichtigt. Eine frühere Studie für England, Frankreich und Deutschland ergab im Mittel eine Zunahme der Schäden bis zu 20% für die Periode 2070–2099 gegenüber der Referenzperiode 1961–1990 und eine Zunahme der Variabilität der jährlichen Schäden. (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/mice/>).
- 9 C. Frei, R. Schöll, J. Schmidli, S. Fukutome, and P.L. Vidale. Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. In: *J. Geophys. Res.*, 111, 2006, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- 10 OcCC (Hg.). Extremereignisse und Klimaänderung. Bern, 2003.
- 11 C. Schär, P. L. Vidale, D. Lüthi, C. Frei, C. Häberli, M. A. Liniger, and C. Appenzeller. The role of increasing temperature variability for European summer heat waves. In: *Nature*, 427, 2004, 332–336.

Synthese

1. Einleitung

Wie wird sich der globale Klimawandel im Jahr 2050 auf die Schweiz auswirken? Obwohl niemand die Zukunft kennt, erlaubt doch die wissenschaftlich gestützte Abschätzung von wahrscheinlichen Entwicklungen, dass wir frühzeitig kluge Anpassungsstrategien überlegen und vorausschauende Entscheidungen treffen. Nachdem in den vorherigen Kapiteln die in einzelnen Bereichen zu erwartenden Veränderungen konkret beschrieben und diskutiert wurden, sollen die Überlegungen in diesem Kapitel zusammengeführt und zu Schlussfolgerungen zugespitzt werden. Unter den fünf Perspektiven Schleichende Veränderungen, Extremereignisse, Wasser, Raum und Veränderungen für den Menschen nehmen wir Stellung zu folgenden Fragen:

- Welche Veränderungen kommen auf uns zu und weshalb sind sie wichtig?
- Welche Anpassungen sind schon erkennbar? Sind diese vor dem Hintergrund der Gesamtproblematik ratsam oder nur oberflächliche oder gar kontraproduktive Scheinlösungen? Welche Anpassungsstrategien sind langfristig anzustreben?
- Was bedeutet dies für eine umfassende und verantwortungsvolle Klimastrategie?

Als Menschen sind wir gleichzeitig in die stofflich-energetischen Wirkungszusammenhänge der materiellen Welt und in die gesellschaftlich-sozialen Wirkungszusammenhänge eingebunden. Diese Einbindung äussert sich vielfältig: So hat die Entwicklung der Nutzungstechniken für fossile Energieträger sowohl einen langfristigen Wandel der Wirtschafts- und Gesellschaftssysteme als auch der Klima- und Ökosysteme in Gang gesetzt – Veränderungen, die ihrerseits auf uns Menschen zurückwirken und uns Anpassungsleistungen und Problemlösungen abverlangen.

Wir wissen, dass in Bezug auf die Klimaveränderung der wichtigste Beitrag zur Problemlösung darin besteht, weltweit den Ausstoss von Treibhausgasen drastisch zu senken. Diese an der Ursache ansetzende Problemlösung wird Mitigation genannt. Dazu gibt es keine Alternative! Das Klimasystem ist so beschaffen, das es uns

tiefgreifende Emissionsreduktionen abfordert, die uns infolge ihrer einschneidenden Natur entsprechend schwer fallen. So ist es zunächst immer noch ungewiss, wann und wie uns wirklich die erforderlichen, grossen Reduktionsschritte gelingen werden. Gewiss ist hingegen, dass selbst bei raschen Erfolgen bei der Mitigation der Klimawandel aufgrund der anthropogen erhöhten Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre („nachhinkende“ Folgewirkungen) auch in den nächsten Jahrzehnten voranschreiten wird. Deshalb müssen wir uns gleichzeitig auf lokal und regional auftretende Beeinträchtigungen durch den Klimawandel vorbereiten. Eine optimale Anpassungsstrategie beinhaltet möglichst eine Minimierung der zu erwartenden Schäden und gleichzeitig einen maximalen Nutzen der sich daraus ergebenden Chancen. Diese schadensbegrenzende Strategie wird Adaptation genannt. Dieser Bericht konzentriert sich auf die Auswirkungen der Klimaänderung um 2050 und die Frage, welche Anpassungsleistungen die Schweiz zusätzlich zu den dringend notwendigen Anstrengungen im Bereich der Mitigation erbringen muss.

Die in diesem Bericht gemachten Aussagen bezüglich der erwarteten mittleren Veränderungen im Klimasystem sowie deren Auswirkungen auf Gesellschaft, Wirtschaft und Ökosysteme klingen zum Teil nicht sonderlich dramatisch, da sie in unseren Breiten um 2050 grossteils wahrscheinlich noch im Bereich der natürlichen Variabilität liegen werden. Darauf kann die Gesellschaft in den meisten Fällen mit entsprechenden Adaptationsmassnahmen reagieren. Dieser Umstand darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass unser Handeln jetzt über die Klimazukunft und die damit entstehenden massiven wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Kosten nach 2050 entscheiden wird. Zwischen 2050 und 2100 werden die Auswirkungen der Klimaveränderung auch in der Schweiz gravierend spürbar sein und grosse Schäden verursachen. Dann werden die Folgen für die Schweiz weit drastischer zu spüren sein als in diesem Bericht dargestellt. Sofortiges Handeln im Bereich der Mitigation und Adaptation wird darum jetzt dringend.

2. Schleichende Veränderungen

Die Szenarien für 2050, welche diesem Bericht zu Grunde liegen, betreffen hauptsächlich Mittelwerte. Dabei wird erwartet, dass sich die Wintertemperaturen um etwa 1.8 °C und die Sommertemperaturen um 2.7 °C im Bezug zu 1990 erhöhen. Die damit einhergehende durchschnittliche Veränderung des Klimas hat Auswirkungen auf verschiedene Systeme. Betroffen sind beispielsweise die Gletscher, der Permafrost, der hydrologische Kreislauf, die Vegetation, die Tierwelt sowie Bauten und das menschliche Wohlbefinden.

Die Niederschläge werden im Sommer ab- und im Winter tendenziell leicht zunehmen. Im Jahresmittel resultiert daraus eine leichte Niederschlagsabnahme verglichen mit heute. Diese Veränderungen gehen mit Verschiebungen in der atmosphärischen Zirkulation einher. So wird erwartet, dass sich im Sommer das Azorenhoch öfters über den Kontinent ausbreiten wird, was tendenziell zu vermehrten Hitzewellen und Trockenperioden führen wird. Im Winter wird eine Nordverlagerung der Westwindzone prognostiziert mit Tiefdrucksystemen wahrscheinlich tieferen Kerndruckes. Dies wird möglicherweise zu weniger, dafür aber stärkeren Weststurmereignissen führen. Allein die damit einhergehende durchschnittliche Erwärmung und die Veränderung der mittleren Niederschläge haben gewichtige Auswirkungen auf verschiedene Systeme. Betroffen sind beispielsweise die Gletscher, der Permafrost, der hydrologische Kreislauf und die Vegetation. Viele Veränderungen verlaufen über lange Zeiträume. In manchen Fällen verfügen Natur und Mensch über genügend Möglichkeiten, um sich den veränderten Bedingungen anzupassen. Beispielsweise können einzelne Arten in Regionen abwandern, wo die klimatischen Verhältnisse ihren Ansprüchen besser entsprechen, falls ihnen hierbei keine wesentlichen Hindernisse im Wege stehen und ihnen genügend Zeit zur Verfügung steht. Die Landwirtschaft kann sich durch angepasste Sorten-, Kulturenwahl und Bewirtschaftungsmethoden den veränderten Bedingungen anpassen. Andere Veränderungen hingegen, obwohl auch sie langsam verlaufen, hinterlassen irreversible Schäden. Beispielsweise werden bis Mitte Jahrhundert viele der kleineren Gletscher verschwunden sein, was unsere Gebirgslandschaft auf Dauer verändern wird. Auch Arten, die nicht in klimatisch günstige Regionen migrieren können, werden ganz verschwinden. Stattdessen werden fremde Arten einwandern, was infolge der zu erwartenden Verzögerungen langfristig ebenfalls zu dauerhaften landschaftlichen Veränderungen

führen wird. Skigebiete in tiefen Regionen werden wegen ausbleibenden Schneefällen nicht mehr wirtschaftlich betrieben werden können. Manche Veränderungen, wie beispielsweise ein milderer Klima, werden auch als positiv empfunden und Chancen für den Menschen beinhalten. Beispielsweise sind in unseren Breitengraden bei einer moderaten Klimaänderung landwirtschaftliche Ertragssteigerungen möglich. Der Sommertourismus wird in verschiedenen Regionen, insbesondere in den Bergregionen, vom wärmeren und trockeneren Klima profitieren (Stichwort Sommerfrische). Der Bedarf an Heizenergie für den Winter wird merklich abnehmen.

Ob sich die lokalen Auswirkungen der Klimaveränderung bis 2050 für Menschen und Ökosysteme negativ auswirken werden oder nicht, das heisst, wie verletzlich diese sind, hängt von drei Faktoren ab: einerseits davon, wie stark ein System der Klimaänderung ausgesetzt ist (beispielsweise ist eine Hitzewelle für die Menschen im Flachland weit deutlicher spürbar als für die „Bergler“), dann wie empfindlich ein System für die betreffende Einwirkung ist (beispielsweise sind alte Menschen gesundheitlich empfindlicher auf ausserordentliche Hitzeperioden als Junge), und schliesslich davon, wie gut sich ein System an Veränderungen anpassen kann (so werden Hitzeperioden auch empfindliche Menschen weniger beeinträchtigen, wenn sie sich in kühle Räume zurückziehen können). Als reiches, politisch stabiles Land mit hohem Bildungsstand und grossen technischen, finanziellen und institutionellen Möglichkeiten hat die Schweiz grundsätzlich eine hohe Anpassungsfähigkeit gegenüber Auswirkungen der Klimaveränderung. Aber die zu erbringenden Anpassungsleistungen werden weder automatisch erbracht noch finanziert, und über deren Zumutbarkeit wird im Einzelnen zu diskutieren sein. Mit Bestimmtheit wird die Verletzlichkeit unseres Landes umso geringer sein, je früher wir unsere empfindlichen Punkte erken-

nen und uns für geschickte Anpassungsstrategien entscheiden.

An schnelle, auffällige und zuweilen drastische politische, wirtschaftliche und soziale Veränderungen sind wir uns gewöhnt, und wir verfügen über zahlreiche gesellschaftliche Anpassungsmechanismen. Im Vergleich dazu werden sich viele Auswirkungen der Klimaänderung unmerklich, oft zeitlich verzögert und im Hintergrund anbahnen, wie beispielsweise die allmähliche Veränderung der Artenzusammensetzung in einem Wald, die Erwärmung der Flüsse oder das frühere Auftreten des letzten Spätfrosts im Frühling. Sie fordern uns jedoch in besonderer Weise heraus. Denn unsere wirtschaftlichen Nutzungsmuster der Ökosysteme und des Raumes, unsere Architektur und Haustechnik, unsere tägliche und saisonale Organisation von Arbeits- und Freizeit usw., die wir in den vergangenen Jahrzehnten oder Jahrhunderten entwickelt haben, gehen von einem in menschlichen Zeithorizonten konstanten Klima mit mehr oder weniger bekannten Schwankungsmustern und absehbaren Häufigkeiten von Extremereignissen aus. Mit der Klimaänderung kommen nun aber im Einzelnen nicht genau vorhersehbare Veränderungen dieser Hintergrundbedingungen unserer Wirtschaft

und unseres gesellschaftlichen Lebens auf uns zu. Benötigt werden daher neue und sehr flexible Anpassungsmechanismen.

Spontane, oberflächliche Anpassungen werden nicht genügen oder kontraproduktiv sein. Beispielsweise werden wir möglicherweise dazu tendieren, uns an höhere Temperaturen und häufigere Hitzeperioden anzupassen, indem wir in bestehenden Gebäuden vermehrt individuelle Klimaanlage einbauen. Diese Strategie wird das Problem oberflächlich lösen (die Menschen ertragen die Hitze besser und bleiben leistungsfähig), treibt aber – sofern der zusätzliche Strombedarf mitunter durch fossile Energieträger gedeckt wird (EU-Strommix) – die Klimaveränderung weiter an und stellt deshalb keine nachhaltige Form der Anpassung dar. Eine langfristig sinnvolle Strategie beinhaltet eine konsequent vorangetriebene Modernisierung des Gebäudebestandes in Richtung Passivhaus, das mit minimaler externer Energiezufuhr in Hitze und Kälte ein angenehmes Raumklima bietet, sowie die tageszeitliche Neuorganisation der Arbeitszeiten. Solche Anpassungen sind zwar anspruchsvoller und brauchen einen längeren Atem, sind aber zu bevorzugen, weil sie gleichzeitig zur vorbeugenden Vermeidung grosser Klimaänderungen beitragen.

3. Extremereignisse

Hitze- und Trockensommer wie im Jahr 2003 erlebt, könnten bereits 2050 deutlich häufiger und noch extremer auftreten. Es ist absehbar, dass im Winter mehr, im Sommer weniger Niederschlag fällt, bei einer erwarteten erhöhten Variabilität und einer Zunahme der Niederschlagsintensität. Das Schadenrisiko für Infrastrukturanlagen wie Verkehrsverbindungen, touristische Einrichtungen und Siedlungen wird zunehmen.

Anpassungen an die mittlere Erwärmung und die Veränderung des mittleren Niederschlags erfolgen naturgemäss relativ langsam. Anpassungen an Veränderungen bei Extremereignissen und den damit verknüpften Naturgefahren müssen jedoch meist rasch vorgenommen werden und sind zudem weniger gut abschätzbar. Wie bereits in einem früheren Bericht des OcCC über Extremereignisse und Klimaänderung¹ dargelegt, ist es aus wissenschaftlicher Sicht weit schwieriger, abgesicherte und konkrete Aussagen

über die Veränderung von Extremereignissen zu machen. Trotzdem haben die Diskussionen in Expertengremien und Workshops gezeigt, dass die grössten Auswirkungen in den hier untersuchten Bereichen von zwei Typen von klimatischen Extremereignissen ausgehen werden: Hitze kombiniert mit Trockenheit und Intensivniederschläge kombiniert mit höheren Temperaturen. Dazu gesellen sich dadurch verursachte Naturereignisse wie Rutschungen, Hochwasser etc.

Hitze und Trockenheit

Hitze- und Trockensommer wie im Jahr 2003 erlebt, könnten bereits 2050 deutlich häufiger und noch extremer auftreten (vgl. Kapitel Grundlagen). Neben einer beträchtlichen Erwärmung wird auch eine zunehmende Wechselhaftigkeit des Sommerklimas mit einer starken Zunahme extremer Hitzewellen erwartet. Landwirtschaft, natürliche Ökosysteme zu Land und im Wasser, Rheinschifffahrt und Energieproduktion werden stark beeinträchtigt (vgl. Abschnitt 4). Massnahmen zur Bewältigung der Konflikte aus der Konkurrenzsituation rund um die Verknappung des Wassers müssen entwickelt werden.

Besonders spürbar sind die Folgen für die menschliche Gesundheit, insbesondere von älteren und pflegebedürftigen sowie kranken Personen, aber auch für die Leistungsfähigkeit der arbeitenden Bevölkerung. Die Aufklärung über Verhaltensmassnahmen in der Wohnung, bei der Lebensgestaltung und bei der Betreuung von Pflegebedürftigen ist eine wichtige und einfache Anpassungsmassnahme. Eine angepasste Bauweise für Wohnungen und Bürogebäude drängt sich auf, erfordert aber entsprechend lange Zeiträume (vgl. Abschnitt 5). Ungeeignet erscheinen auf alle Fälle solche Anpassungsmassnahmen, die zusätzliche elektrische Energie verbrauchen, da davon auszugehen ist, dass der europäische Elektrizitätsmarkt in solchen Sommern unter ganz besonderen Druck geraten dürfte.

Die Wasserkraftproduktion wird in Flusskraftwerken stark vermindert sein, da einerseits Trockenheit herrscht und andererseits nur wenig Schmelzwasser aus den wenigen Gletschern und den spärlichen Schneereserven im Sommer zur Verfügung stehen wird. Auf Flusswasserkühlung angewiesene thermische Kraftwerke, wie beispielsweise unsere Kernkraftwerke, könnten nur noch eingeschränkt Strom produzieren, da einerseits zu wenig Kühlwasser zur Verfügung steht und andererseits die aufgewärmten Fliessgewässer nicht noch stärker künstlich aufgewärmt werden dürfen. Zudem wird bei einer stabilen Hochdruckwetterlage über Europa auch die Windkraft nur sehr eingeschränkt verfügbar sein.

Der Tourismus in den Berggebieten könnte durch einen Aufschwung der Sommerfrische

profitieren. Viele hitzegeplagte Leute aus den Städten werden den Sommer am Wasser oder in der kühleren Bergluft verbringen. Hitze und Trockenheit bedeuten eine zusätzlich erhöhte Wahrscheinlichkeit für Waldbrände nicht nur auf der Alpensüdseite und im Wallis, sondern neu auch auf der Nordseite.

Intensivere Niederschläge und erhöhte Temperaturen

Die Niederschläge werden sich in der ganzen Schweiz verändern. Gemäss den vorliegenden Modellrechnungen wird es im Winter mehr, im Sommer weniger Niederschlag geben. Damit wird der Jahresgang ausgeglichener. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge dürfte um etwa 5% (entsprechend im Norden um 75 mm, im Süden um 120 mm) abnehmen. Die Schwankungen von Jahr zu Jahr oder von Monat zu Monat können weiterhin beträchtlich sein und sich teilweise noch verstärken. Das bedeutet zunehmend trockenere oder auch nassere Perioden. Die Niederschlagsintensität dürfte sich im Winter und wahrscheinlich auch im Sommer verstärken.

Damit wird die Häufigkeit von Starkniederschlägen insbesondere im Winterhalbjahr zunehmen. Im Sommer sind die Aussagen noch weniger eindeutig. Modellrechnungen zeigen, dass Starkniederschläge wie sie heute nur alle 8–20 Jahre vorkommen bis Ende Jahrhundert durchschnittlich alle 5 Jahre auftreten können. Intensivere Niederschläge bedeuten jedoch nicht automatisch grössere Hochwasser oder gar Überschwemmungen. Im Mittelland und Jura sowie in den Voralpen unterhalb etwa 1500 m ü. M., wo schon heute im Winter/Frühjahr Hochwassersaison ist, könnte die Gefahr für Hochwasser steigen. Ganz besonders gilt dies auch für die weiter unten liegenden Nachbarn am Rhein. Damit verbunden wird sich der durch die Erwärmung verursachte Anstieg der mittleren Schneefallgrenze auch auf die Abflussregimes der Gewässer und deren Potenzial für Hochwasser auswirken.

Naturgefahren: Felsstürze, Rutschungen und Murgänge

Die zurückschmelzenden Gletscher hinterlassen neue, grosse und lose Schuttmassen.

Zudem erwärmt sich der Boden: Insbesondere Permafrostböden werden teilweise auftauen und können als Rutschungen und kleine oder auch grössere Felsstürze niedergehen. Der neue lose Schutt sammelt sich in Gräben und Bachbetten und kann bei Hochwasser, ausgelöst durch intensivere und bis in grössere Höhen flüssige Niederschläge, mitgerissen und als Murgang zu Tal und bis in bewohnte Gebiete gelangen. Erosion, Geschiebetransport und Feststoffablagerungen sind bei Hochwasser sehr oft für die grossen Schäden verantwortlich. Das Potenzial für solche Ereignisse wird, allerdings nur im Gebirgsraum, deutlich steigen.

Nasse Böden in steilen Hängen können bei intensiveren Niederschlägen als Rutschungen niedergehen. Da es in Zukunft im Winter mehr, evtl. stärker und weiter hinauf regnet, werden mehr steilere Hänge betroffen sein und damit auch mehr Hangrutschungen auftreten. Hier sind vor allem die Voralpengebiete betroffen. Insgesamt nimmt damit das Schadenrisiko für Infrastrukturanlagen wie Verkehrsverbindungen und touristische Einrichtungen im Berggebiet zu. Zudem kann die Gesundheit der Menschen gefährdet sein, sei es durch Verletzte und Todesopfer, aber auch durch psychische Auswirkungen infolge des erhöhten Risikos beziehungsweise dem Verlust an Hab und Gut oder von nahe stehenden Personen.

Natürliche Ökosysteme wie Schutzwälder können durch diese grössere Dynamik vorübergehend ihre Schutzfunktion einbüßen. Allerdings stellt dies im Allgemeinen noch keine grundsätzliche Gefahr für die Ökosysteme selber dar, sondern betrifft infolge beeinträchtigter Ökosystemfunktion in weit stärkerem Ausmass die Sicherheit von menschlichen Siedlungen und Verkehrswegen.

Insbesondere in den klimatischen Grenzzonen im Gebirge, bei auftauendem Permafrostboden oder an Trockenstandorten können Wirkungsketten mit Einbezug von Schädlingsbefall Ökosysteme schwächen. Standortgerechte, vielfältige Artenzusammensetzungen erhöhen die Widerstandskraft und damit auch die Sicherheit der menschlichen Lebensräume im Gebirge.

Anpassungsmassnahmen zum Schutze des Menschen beinhalten eine umfassende Prävention durch angepasste Raumnutzung zur Vermeidung von gefährlichen Standorten, biologische Massnahmen wie die Schutzwaldpflege und baulich-technische Schutzmassnahmen. Neben der Prävention kommt auch den organisatorischen Massnahmen vor und unmittelbar nach dem Ereignis eine wichtige Bedeutung zu. Diese umfassen die Einführung und Wartung von Systemen für Warnung und Alarmierung sowie eine gut

4. Wasserkreislauf und Wasserressourcen

Im Winter wird es bis in mittlere Höhenlagen häufiger regnen statt schneien. Dies hat Auswirkungen auf den Wintertourismus. Zudem werden rund 75% der in Gletschern gespeicherten Wassermassen verloren gehen. Es ist zu erwarten, dass während Trockenperioden eine stärkere Konkurrenz ums Wasser entsteht. Die zu erwartenden Abflussveränderungen werden insbesondere im Winter und Frühjahr das Potenzial für Hochwasser ansteigen lassen.

Die Auswirkungen der Klimaänderung auf den Wasserkreislauf und die Wasserwirtschaft bis 2050 werden in den Kapiteln Grundlagen und Wasserwirtschaft diskutiert. In der Folge sind die wichtigsten Veränderungen nochmals zusammengestellt:

Im Winter wird es bis in mittlere Höhenlagen häufiger regnen statt schneien und die Schnee-

decke wird abnehmen. In den hohen Lagen (ab etwa 2000m), wo es im Winterhalbjahr meistens schneit, wird die Schneedecke aufgrund der erwarteten Niederschlagszunahme hingegen mächtiger.

Drei Viertel der Wasservorräte, welche in den Gletschern langfristig gebunden sind, werden alleine bis 2050 wahrscheinlich verschwinden: Dies sind etwa 40 Kubikkilometer Wasser.

Die Verdunstung – das Verlustglied im Wasserkreislauf – steigt mit der Temperaturerhöhung weiter an. Im Sommer werden häufigere Trockenperioden eine Zunahme der Wasservorräte verhindern und z.B. im Fall der Gletscher sogar zu einem beschleunigten Eisverlust beitragen. Insgesamt nehmen also die verfügbaren Wasserressourcen in der Schweiz ab.

Im Winter und Frühjahr wird in den Fließgewässern, insbesondere in mittleren und tieferen Lagen, mehr Wasser fließen. Intensivere Starkniederschläge können vor allem im Mittelland und Jura sowie in den Voralpen unterhalb etwa 1500 m ü. M. zu höheren Hochwasserständen führen. Die Grundwasserstände sind überall hoch. Im Sommer und Herbst fließt jedoch im Durchschnitt weniger Wasser als heute. Vor allem während häufigeren Trockenperioden führen die Gewässer im Mittelland und im Jura, zum Teil aber auch in den Bergen, deutlich weniger Wasser. Kleinere Gerinne können zudem beinahe oder ganz trocken fallen. Vor allem in den Unterläufen der grösseren Flüsse treten im Spätsommer und Herbst tiefere Wasserstände auf. Mit dem Wassermangel sinken die Grundwasserstände. Kritisch wirkt sich dies insbesondere bei kleineren Grundwasserträgern aus. Die Entwicklung der Hochwasser ist ungewiss. Durch die Kombination ungünstiger Witterungsumstände kann es auch im Sommer zu massiven Hochwassern kommen.

Konsequenzen für verschiedene Wassernutzer

Die Erfahrungen mit dem Hitzesommer 2003 haben die Empfindlichkeit der Schweizer Wassernutzung auf trockene Sommer deutlich aufgezeigt.^{2,3} Die Veränderungen im Wasserkreislauf haben für die verschiedenen behandelten Bereiche folgende Auswirkungen:

Im Energiesektor wird für die Wasserkraftproduktion weniger Wasser bereitstehen, die Einbusse kann durchschnittlich bis zu etwa 7% der heutigen Produktionsmenge ausmachen. Allerdings fällt das Wasser über das Jahr gesehen ausgeglichener an. Während Trockenzeiten wird weniger und nur relativ warmes Wasser für die (Durchlauf-)Kühlung der thermischen

Kraftwerke (z.B. Kernkraftwerke) oder in der Industrie zur Verfügung stehen. Einbussen in der Stromproduktion sind deshalb zu erwarten. Anpassungsmassnahmen sind schwierig. Die entgangene Energieproduktion aus Wasserkraft darf nicht mit fossiler Energie kompensiert werden, da sonst ein klimapolitisch unerwünschter Rückkoppelungsmechanismus in Gang gesetzt wird, der die Mitigationsanstrengungen unterlaufen würde.

In der Landwirtschaft wird bei einer moderaten Klimaänderung die potenzielle Jahresproduktion der Wiesen aufgrund der längeren Vegetationsperiode zunehmen. Allerdings wird es in Zukunft auch in der Schweiz vermehrt zu kritischen Bodenwasserzuständen und Sommerdürren kommen. Bewässerung wäre dann vielerorts nötig. Angesichts der begrenzten Wasserverfügbarkeit in Trockenjahren ist der Anbau von weniger wasserbedürftigen Pflanzensorten der Bewässerung vorzuziehen.

Von den natürlichen Ökosystemen werden insbesondere die Flachmoore wahrscheinlich mangels Wasserspeisung unter Druck kommen und in der Fläche reduziert werden. Damit dürfte die Artenzahl abnehmen. Andere Feuchtgebiete werden weniger betroffen sein. Durch den Rückgang der Gletscher und der Schneefelder entstehen neue Flächen, die langsam besiedelt werden. Allgemein wird sich die Pflanzen- und Tierwelt mediterranen Verhältnissen annähern. Im Wald beginnt die Produktivität durch Wassermangel zu sinken. Mit zunehmender Häufigkeit und längeren Perioden wird ein bislang als Kohlenstoffsенке wirkendes Ökosystem Wald zur Kohlenstoffquelle. Damit wird langfristig weniger Kohlenstoff im Boden gespeichert und betroffene Böden beginnen zeitweilig in merklichen Mengen organische Substanz abzubauen, was auch Auswirkungen auf Mitigationsmassnahmen hat. Gegenmassnahmen wären eine Ausdehnung der Waldfläche sowie eine weitergehende, gezieltere Senkenbewirtschaftung der Waldbestände.

Die Rheinschiffahrt wird im Sommer und Herbst in ihrer Transportkapazität teilweise massiv eingeschränkt. Ein unerwünschtes Ausweichen auf teurere und energieintensivere Transportmittel ist die Folge, was wiederum in

Widerspruch zu den Mitigationsmassnahmen im Transportbereich steht.

Insgesamt entsteht vor allem während Trockenzeiten in den mittelländischen kleinen und mittleren Fließgewässern eine neue Konkurrenz ums Wasser: die Landwirtschaft möchte Bewässerungswasser pumpen, der Kühlwasserbedarf steigt, wegen sinkender Grundwasserstände steigt die Exfiltrationsrate der Fließgewässer, die Trinkwasserförderung entnimmt dem Gesamtsystem infolge gesteigertem Trink- und Bewässerungsbedarf mehr Wasser und Ökosysteme wie die Fließgewässer benötigen zum Überleben genügend und nicht zu stark erwärmtes Wasser. Daneben haben auch die weiter unten an den Fließgewässern liegenden Anrainerstaaten legitime Ansprüche auf eine genügende Wasserversorgung. Es ist durchaus denkbar, dass Nachbarstaaten Ansprüche

bezüglich der Erhöhung des Wasserstands bei Niedrigwasser (Bewirtschaftung der Seen und Reservoirs) und der Lieferung grösserer Mengen Trinkwasser stellen.

In allen Bereichen sind Auswirkungen auf die Mitigationspolitik identifiziert worden. Zum Teil sind sie beeinflussbar, zum Teil nicht. Nachhaltige Strategien müssen hierzu frühzeitig entwickelt werden. Wichtige Punkte sind: Wer hat Anspruch auf das Wasser, wer bezahlt wie viel? Dabei sind Verbraucher (Bewässerung, Trinkwasser), Nutzer (Kühlwasser, Wasserkraftproduktion) und die Natur zu berücksichtigen. Entscheidet ein einzelner Kanton oder der Bund über die Lieferung von grösseren Trinkwassermengen an die Nachbarstaaten? Wer verhandelt mit den Anrainerstaaten von Gewässern über Ansprüche auf die gesamtheitliche Wasserbewirtschaftung?

5. Raum

Raumplanung und Bauwesen müssen sich auf die zu erwartenden Veränderungen einstellen, frühzeitig handeln und Anpassungen vornehmen. Verkehrsnetze und Infrastrukturen sind durch die Klimaänderung erhöhten Gefahren ausgesetzt.

Die Raumstruktur der Schweiz bestimmt die Rahmenbedingungen für die Gesellschaft und ihre Robustheit bzw. Sensitivität gegenüber zukünftigen Klimaänderungen. Im Bereich der Siedlungen, Gebäude und Infrastrukturen sind Änderungen mit sehr langen Zeitskalen (typisch 30–100 Jahre) verbunden. Gerade wegen dieser Langfristigkeit ergibt sich für das Bauwesen und die Raumplanung nicht nur eine besondere Herausforderung, sondern auch eine Chance, den Schwerpunkt in Richtung Nachhaltigkeit zu setzen.

Siedlungsstruktur

Die Siedlungsstruktur der Schweiz hat bereits heute den Charakter einer Netzstadt. Ihre Entwicklung wird primär nicht durch die Klimaänderung, sondern durch Faktoren wie Demografie, Wirtschaft und Anspruch an die Siedlungsfläche bestimmt. Umgekehrt kann jedoch eine ökologische Ausrichtung der Siedlungsentwicklung wesentlich zur Erreichung von Adaptations- und Mitigations-

zielen beitragen. Eine Dezentralisierung im Sinne der Schaffung starker regionaler Zentren mit der Möglichkeit der Befriedigung materieller und immaterieller Bedürfnisse auf regionaler Ebene verkürzt die Transportwege und kann den Selbstversorgungsgrad hinsichtlich grundlegender Ressourcen wie Energie, Nahrungsmittel und Baumaterialien steigern.

Gebäude

Der Wohn- und Arbeitskomfort ist in Gebäuden von heutigem Standard ohne Kühlung an Hitzetagen beeinträchtigt. Durch gute Dämmung der Gebäudehülle wird nicht nur der Wärme-, sondern vor allem der Kühlenergiebedarf deutlich gesenkt. Im Sommer werden aber Wärmestaus besonders in Bürogebäuden zunehmen, da die Wärme von Personen, Geräten und Beleuchtung während der heissen Tageszeit anfällt und im grössten Teil der heutigen Bauten nicht genügend abgeführt werden kann. Bei Wohnbauten kann bei angepasster Bauweise in der Regel auf

Kühlgeräte verzichtet werden. In Bürogebäuden bietet die Kombination von Free-Cooling-Systemen mit z.B. solarer Kühlung die Möglichkeit, die für die Produktivität am Arbeitsplatz notwendigen Temperaturlimiten mit weniger Zusatzenergie zu garantieren. Die noch benötigte Wärme sollte ohne fossile Energie mit Wärmepumpen, kombiniert mit Solarwärme, bereitgestellt werden. Erdsonden können auch die anfallende Wärme im Sommer effizient in den Untergrund abgeben. Zusätzlich werden Massnahmen zum Schutz vor direkter Sonneneinstrahlung im Sommer und zum Schutz der Gebäudehülle vor extremen Witterungsereignissen bzw. das Vermeiden extrem exponierter Standorte notwendig sein.

Verkehrsnetze und Infrastrukturen

Verkehrsnetze und Infrastrukturen sind durch die Klimaänderung erhöhten Gefahren ausgesetzt. Im Bereich des Schienenverkehrs sind die Gefährdung der Trassenstabilität, Beschädigung von Fahrleitungen durch Witterungsereignisse sowie Gleisverwerfungen zu nennen. Hier ebenso wie im Strassenverkehr ist mit Behinderungen durch Wasserereignisse, Rutschungen und Lawenniedergängen zu rechnen. Neben dem unmittelbaren Schaden werden in den betroffenen Gebieten wirtschaftliche Ausfälle und Kosten durch unterbrochene Transportwege und grosse Umwege anwachsen. Neben geeigneten Schutzmassnahmen besteht eine wichtige vorausschauende Mitigationsmassnahme darin, durch Abstimmung mit der Entwicklung der Siedlungsstruktur ganz allgemein einem weiteren Ansteigen der Transportleistung pro Einwohner entgegenzuwirken, bzw. diese mit einem multimodalen, möglichst umweltverträglichen System effizienter Verkehrsträger mit niedrigsten Emissionen zu erbringen. Extreme Niederschläge verursachen nicht nur in den offensichtlich exponierten Räumen Schäden durch Überschwemmungen, sondern haben auch indirekte Auswirkungen zum Beispiel durch den vermehrten Rückstau in den Kanalisationsleitungen.

Wald und Holzwirtschaft

Der Wald hat in der Schweiz vielfältige Funktionen, die von Schutzzonen und der Erhaltung der Biodiversität über Erholungsräume bis zur forstwirtschaftlichen Produktion reichen. Es besteht Konsens, dass für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung eine stärkere Holznutzung, als sie heute praktiziert wird, sinnvoll und begrüssenswert ist. Energieholz kann einen Beitrag zur Versorgung der Schweiz mit Strom und Treibstoffen aus einheimischen regenerativen Energien liefern, der zur Steigerung des Selbstversorgungsgrades, der Diversifizierung und damit der Versorgungssicherheit ausgeschöpft werden sollte. Dies fiele auch mengenmässig umso stärker ins Gewicht, wenn gleichzeitig die Energieeffizienz allgemein gesteigert würde. Qualitativ hochwertiges Holz als Bau- und Werkstoff vermag zudem Emissionen aus fossilen Brennstoffen zu substituieren, was quantitativ noch erheblicher ins Gewicht fällt. Es ist deshalb Aufgabe der Raumplanung, einerseits Schutz- und Erholungsflächen auszuscheiden, andererseits auf den verbleibenden Waldflächen der Wald- und Holzwirtschaft wo immer wirtschaftlich und ökologisch angebracht eine sinnvolle Holzproduktion zu ermöglichen.

Landwirtschaft

Der Landwirtschaft fällt bei der nachhaltigen Gestaltung des Ökosystems Schweiz eine wichtige Rolle zu. Die Produktion von Grundnahrungsmitteln wird primär durch Marktöffnungen, aber auch durch die geänderten klimatischen Bedingungen (sommerliche Trockenperioden) beeinflusst werden. Ackerbau wird schwieriger, der für die Schweiz wichtige Futterbau kann profitieren. Der extensive Anbau von Energiepflanzen der zweiten Generation mit geringen Anforderungen an Böden, Düngemittel und Wasser wird eine Nischenproduktion bleiben. Die Züchtung von dem Klima angepassten Nutzpflanzen erhält eine grosse Bedeutung.

6. Veränderungen für den Menschen

Vermehrte Hitzewellen werden die Gesundheit negativ beeinflussen. Zudem wird insbesondere bei Hitzeperioden mit einer merklichen Abnahme der menschlichen Leistungsfähigkeit und Produktivität zu rechnen sein.

Was sind die wichtigsten Veränderungen für den Menschen? Welche Auswirkungen hat die Klimaänderung auf das Leben in der Schweiz im Jahr 2050? Ohne Anspruch auf Vollständigkeit sind in der Folge einige schon absehbare Veränderungen aufgeführt:

Das Klima beeinflusst das Lebensgefühl. Die Erfahrung des Sommers 2003 hat gezeigt, dass bei heissen Tagen und lauen Nächten der Lebensstil der Schweizerinnen und Schweizer mediterraner wird. Tagsüber werden sich die Menschen zunehmend in kühlen Innenräumen und im Schatten aufhalten wollen. Das Leben draussen findet vermehrt in den Abendstunden statt. Sommergeniesser werden zunächst auf ihre Kosten kommen, jedoch ist auch damit zu rechnen, dass häufiger werdende heisse Sommer einem wachsenden Bevölkerungsteil zur Last wird.

Der Wintersport wird sich mit schlechteren Bedingungen abfinden müssen. Die zunehmenden Niederschläge bei gleichzeitig höheren Temperaturen bedeuten, dass es im Mittelland mehr regnen wird. Regelmässiger Wintersport wird nur noch in höher gelegenen Gebieten möglich sein. Die teure Infrastruktur und die weite Anreise machen Snowboarden und Skifahren zum noch teureren Vergnügen.

Die Leistungsfähigkeit wird ab einer gewissen Temperatur beeinträchtigt. Insbesondere bei

Hitzeperioden im Sommer ist mit einer merklichen Abnahme der menschlichen Leistungsfähigkeit und damit der wirtschaftlichen Produktivität zu rechnen. Die Arbeitswelt wird sich der Zunahme von Hitzewellen anpassen. Im Dienstleistungssektor dürfte zunehmend in klimatisierten Büros gearbeitet werden. Arbeiten im Freien könnten während der Mittagshitze unterbrochen werden (Siesta). Manche Unternehmen könnten vermehrt Betriebsferien im Hochsommer anordnen und versuchen, gewisse Arbeiten auf kühlere Perioden zu verschieben.

Die Zunahme von Hitzewellen wird sich negativ auf die Gesundheit auswirken. Aber auch die durch Lebensmittel übertragenen Krankheiten werden bei höheren Temperaturen zunehmen. Betroffen sind vor allem körperlich und mental beeinträchtigte Menschen, betagte chronisch Kranke sowie Menschen, die ökonomisch schlecht gestellt sind.

Als Folge der Erwärmung und der Zunahme von Hitzeperioden wird die Wohnqualität in älteren Gebäuden (Flachdachbauten aus den 1970er Jahren) während den Sommermonaten abnehmen. Die Nachfrage nach modernen Wohnungen mit gutem Wohnkomfort und Wohnklima wird zunehmen. Bewohnerinnen von älteren Gebäuden werden vermehrt mobile Klimaanlage installieren und der Stromverbrauch durch Klimatisierung wird steigen. Gleichzeitig werden die steigenden Energiepreise und die örtlich und zeitlich begrenzt auftretende Wasserknappheit zu einem sparsameren Umgang mit den Ressourcen führen.

7. Abschliessende Bemerkungen

Die meisten Veränderungen, die im vorliegenden Bericht geschildert werden, scheinen zunächst unspektakulär und wirken auf den ersten Blick unbedeutend. Dies darf nicht darüber hinwegtäuschen, dass viele Veränderungen erst bei genauem Hinsehen ihr wahres Ausmass zeigen, sich aufaddieren, zum Teil irreversibel sind und lediglich Vorboten noch anstehender Änderungen darstellen. Zudem stellen sie keinen stabilen Zustand dar, sondern zeigen lediglich eine Momentaufnahme der Entwicklung zu weit drastischeren Veränderungen.

Das Klima ändert sich im Allgemeinen nur träge. Verzögerte Auswirkungen sind noch nicht sichtbar und bahnen sich erst an. Ein

illustratives Beispiel dafür ist der Wasserabfluss in Einzugsgebieten, die heute stark durch die sommerliche Gletscherschmelze geprägt sind:

Mittelfristig wird der Abfluss wegen der beschleunigten Gletscherschmelze trotz abnehmender Sommerniederschläge zunehmen. In der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts werden aber viele kleine und mittlere Gletscher schon verschwunden sein und die Zufuhr von Gletscherwasser wird je nach Tal und Einzugsgebiet gänzlich versiegen. Kombiniert mit den reduzierten Sommerniederschlägen wird dies zu einer markanten Abnahme der Abflussmengen im Sommer führen. Ein Sommer 2050 mit den gleichen Temperaturen wie derjenige von 2003 brächte demnach weit grössere Wasserknappheiten mit sich, als dies 2003 der Fall war. Ohne wirksamen Klimaschutz werden gegen Ende dieses Jahrhunderts dann auch noch die meisten grossen Gletscher schmelzen und damit könnte selbst das „Wasserschloss von Europa“ regelmässigen Wassermangel leiden.

Die Schweiz hat eine lange Tradition der Anpassung an Naturgefahren. Überschwemmungen, Hangrutschungen und Bergstürze haben unsere Landschaft gestaltet und unseren Umgang mit ihr geprägt. Über die Jahrhunderte hinweg haben wir uns in den Gebirgstälern und entlang der Flussläufe dort angesiedelt, wo die

Gefährdung am geringsten ist. Mit Schutzbauten wurden Siedlungsräume und Verkehrswege gegen Hochwasser, Steinschlag und Lawinen geschützt. Das vermeintlich stabile Gefährdungsbild wird sich mit der Klimaänderung verändern. Damit einhergehend wird eine periodische Überprüfung der Gefahrensituation für den Siedlungs- und Verkehrsraum besonders im Gebirge nötig.

Unser Land wird auch in Zukunft über die finanziellen Mittel und das technologische Know how verfügen, um sich den veränderten Bedingungen anzupassen, sofern diese ein gewisses Ausmass nicht überschreiten. Diese Anpassungskosten werden in den kommenden Jahren anwachsen. Dabei können wir zwischen verschiedenen Strategien wählen und es wird wichtig sein, die verschiedenen Möglichkeiten vor dem Hintergrund sämtlicher Auswirkungen zu prüfen. Eine langfristige Klimastrategie, welche sowohl Klimaschutzziele (durch Emissionsreduktionen) als auch Ziele für die Anpassung an die veränderten klimatischen Bedingungen und den Schutz vor veränderten Naturgefahren beinhaltet, ist unabdingbar, um eine kohärente Klimapolitik zu betreiben.

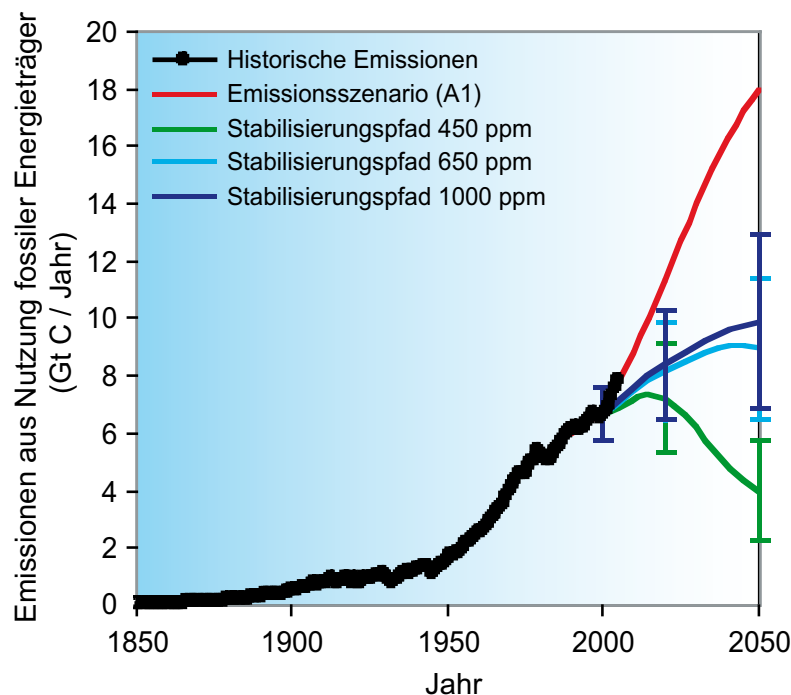


Abbildung 1: Entwicklung der Emissionen gemäss verschiedener Emissionsszenarien. A1 beschreibt in etwa die heutige rasch wachsende Weltwirtschaft mit einem Mix von Energiequellen. Die Temperatur steigt dabei um Jahrhunderte sehr rasch weiter an. Die anderen Szenarien gehen von einer Stabilisierung der Treibhausgase auf 450 ppm, 650 ppm und 1000 ppm aus mit Temperaturerhöhung von etwa 2°C, >3°C und >5°C (Vorindustrielle CO₂-Konzentration ~280ppm). (Quelle: M.R. Raupach, 2006⁵)

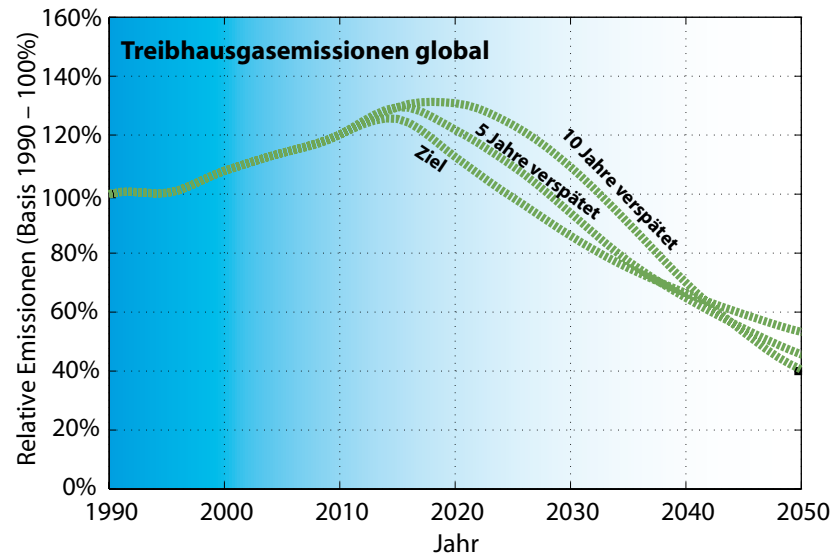


Abbildung 2: Um die globale Temperatur auf +2 °C (bis 2100) zu stabilisieren, ist eine Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen um 50% (Basis 1990) bis 2050 notwendig. Dabei ist sofortiges Handeln angezeigt. Eine Verzögerung der Reduktionsmassnahmen erfordert eine stärkere und schnellere Reduktion der Emissionen, um das Ziel zu erreichen. So müssen die jährlichen Reduktionsraten pro 5 Jahre verspätet einsetzende Reduktionsmassnahmen um ca. 1% erhöht werden. (Quelle: abgeändert von Meinhausen et al.⁵ und den Elzen & Meinhausen⁶)

Die Schweiz wird auch von den globalen Auswirkungen der Klimaänderung betroffen sein. Zum einen sind wir direkt durch unsere Handelsbeziehungen und die Abhängigkeit von Rohstofflieferanten in den verschiedenen Weltregionen betroffen, wo die Klimaschäden zum Teil gravierend sein werden. Zum anderen ist unser Land als Teil des globalen Wirtschaftssystems, das durch die Klimaänderung erheblichen Schaden erleiden könnte, mit betroffen. Internationale Studien (z. B. Stern Review, 2006)⁷ schätzen die wirtschaftlichen Schäden der Klimaänderung bis 2100 auf 3–20% des globalen BIP. Schäden solchen Ausmasses würden das globale Wirtschaftssystem destabilisieren. Dies dürfte auch zu erheblichen sozialen Umwälzungen, massiven Bevölkerungsbewegungen und weltpolitischen Auseinandersetzungen (unter anderem ums Wasser) führen, was auch die Schweizer Wirtschaft empfindlich treffen dürfte.

Die einzige dauerhafte Möglichkeit, das Ausmass der klimabedingten Folgewirkungen zu beschränken besteht darin, die Klimaänderung als Ursache zu bekämpfen. Diesbezüglich versucht die internationale Staatengemeinschaft mit dem Kyoto-Protokoll einen ersten Schritt in eine klima-

freundlichere Zukunft zu tun. Allerdings war schon immer klar und zeigt sich nun mit aller Deutlichkeit, dass diese Bemühungen zu kurz greifen. Die globalen Emissionen wachsen derzeit um 3.2% pro Jahr und entwickeln sich gemäss dem A1-Szenario (Abb. 1, fossiler Energiemix). Leider gibt es wenig Anzeichen für eine umfassende Trendwende zu einer klimapolitischen Besserung. Diese ist aber dringend notwendig, soll ein Stabilisierungsziel gemäss der UN Klimakonvention von 1992 erreicht werden, das gefährliche anthropogene Störungen im Klimasystem verhindert. Je früher gehandelt wird, desto geringere Auswirkungen auf das Klimasystem und die globale Wirtschaft können erwartet werden. Werden allerdings emissionsmindernde Massnahmen verschoben, so werden die notwendigen Reduktionen in kürzerer Zeit zu vollbringen sein. Zudem müssen massive Schäden kompensiert werden. Dies kann zu einer unlösbaren Aufgabe werden, da die Wirtschaft innert kürzester Zeit auf eine emissionsarme Produktion umgestellt werden müsste. Dieser Tatbestand zeigt sich deutlich in Abb. 2.

Somit bleibt zu hoffen, dass sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene die Entscheidungsträger aus Politik und Wirtschaft

das volle Ausmass der Problematik erkennen und sich zu einem gemeinsamen, konsequenten Vorgehen durchringen werden. Inwiefern hier vorwiegend ökonomische Überlegungen eine Rolle spielen oder auch ethische Aspekte mitberücksichtigt werden, ist eine offene Frage, die je nach Standpunkt verschieden beantwortet wird. Dass aber das Verantwortungsgefühl gegenüber Mensch

und Umwelt heute und in der Zukunft bei unserem Handeln vermehrt in den Mittelpunkt gerückt werden muss, ist allgemein als Vorsorgeprinzip anerkannt, was insbesondere beim Klimaschutz von zentraler Bedeutung ist. Nur in angemessener Vorausschau wird es uns gelingen, auf die Herausforderung durch die Klimaänderung rechtzeitig und angemessen zu reagieren.

Literatur und Anmerkungen

- 1 OcCC (Hg.). Extremereignisse und Klimaänderung. Bern, 2003.
- 2 BUWAL (Hg.). Auswirkungen des Hitzesommers 2003 auf die Gewässer. Bern, 2004.
- 3 ProClim (Hg.). Hitzesommer 2003 – Synthesebericht. Bern, 2005.
- 4 M.R. Raupach. UNESCO-SCOPE: The Global Carbon Cycle. UNESCO-SCOPE Policy Briefs, Oct. 2006. No.2, Paris.
- 5 M. Meinhausen, B. Hare, T.M.L. Wigley, D. van Vuuren, M.G.J. den Elzen, and R. Swart. Multi-gas emissions pathways to meet climate targets. In: *Climatic Change*, 75(1-2), 2006, 151–194.
- 6 M. den Elzen, M. Meinhausen. Multi-gas emission pathways for the EU 2°C Climate target. In: H.J. Schellnhuber (Hg.). *Avoiding dangerous climatic change*. Cambridge University Press, 2006. 299–311.
- 7 *The Economics of Climate Change – The Stern Review*. Cambridge University Press, 2007.

Die Autoren der Synthese

Die Mitglieder des OcCC

Kathy Riklin (Präsidentin); Nationalrätin, Zürich
Charlotte Braun-Fahrländer; Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel
Lucas Bretschger, Institut für Wirtschaftsforschung, ETH Zürich
Thomas Bürki, Energie Ökologie Politikberatung, Bengelen
Andreas Fischlin, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich
Pamela Heck, Swiss Re, Umweltgefahren, Zürich
Gabi Hildesheimer, Ökologisch bewusste Unternehmen, Zürich
Ruth Kaufmann-Hayoz, Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie, Universität Bern
Christian Körner, Botanisches Institut, Universität Basel
Hansruedi Müller, Forschungsinstitut für Freizeit und Tourismus, Universität Bern
Ulrich Niederer, UBS Global Asset Management, Zürich
Christian Pfister, Historisches Institut, Universität Bern
Christoph Schär, Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich
Thomas Stocker, Physikalisches Institut, Universität Bern
Hubert van den Bergh, Institut de Génie de l'Environnement, EPF Lausanne
Heinz Wanner, Geographisches Institut, Universität Bern
Alexander Wokaun, Forschungsbereich Allgemeine Energie, PSI Villigen

Experten mit beratender Stimme

Roger Biedermann, Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzfachstellen der Schweiz, Schaffhausen
Reto Burkard, Bundesamt für Landwirtschaft, Bern
Claudia Guggisberg, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern
Lukas Gutzwiller, Bundesamt für Energie, Bern
Bernd Hägele, Bundesamt für Bildung und Wissenschaft, Bern
Anton Hilber, Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit, Bern
Daniel K. Keuerleber-Burk, MeteoSchweiz, Zürich
Christian Preiswerk, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, Bern
José Romero, Bundesamt für Umwelt, Bern
Thomas Roth, Staatssekretariat für Wirtschaft, Bern
Bruno Schädler, Bundesamt für Umwelt, Bern
Ursula Ulrich-Vögtlin, Bundesamt für Gesundheit, Bern

Geschäftsstellen

Roland Hohmann, OcCC, Bern
Christoph Ritz, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, Bern
Christoph Kull, OcCC, Bern

Impressum

Projektleitung

Roland Hohmann

Redaktion

Roland Hohmann, Esther Thalmann, Gabriele Müller-Ferch, Urs Neu, Christoph Ritz, Christoph Kull

Layout

Esther Thalmann und Gabriele Müller-Ferch

Lektorat

Barbara Maey, Zürich

Gutachter

Reto Burkard	Bundesamt für Landwirtschaft (BLW), Bern
Jürg Beer	Oberflächengewässer, SURF, EAWAG, Dübendorf
Michael Kreuzer	Institut für Nutztierwissenschaften, ETH Zürich
Nino Künzli	Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel, Basel
Conradin Burga	Geographisches Institut, Universität Zürich, Zürich
Matthias Finger	College of Management of Technology, EPFL Lausanne
Martin Schnebeli	Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos
Michael Sturm	Oberflächengewässer, SURF, EAWAG, Dübendorf
Fortunat Joos	Physikalisches Institut, Universität Bern, Bern
Hans Rudolf Keusen	Geotest AG, Zollikofen
Christoph Hegg	Naturgefahren, WSL, Birmensdorf
Rita Gosh	Biotopbeurteilung, WSL, Birmensdorf
Martin Grosjean	NCCR Climate, Universität Bern, Bern
Marco Baumann	Amt für Umwelt des Kantons Thurgau, Frauenfeld
Roman Zweifel	Wald-Ökosystemprozesse, WSL, Birmensdorf
Martine Rebetez	Walökosysteme und ökologische Risiken, WSL Antenne Romande, Lausanne
Martin Kamber	Interkantonaler Rückversicherungsverband, Bern
Thomas Jankowski	Water Resources Department, EAWAG, Dübendorf
Michel Rossi	Institut des Sciences et Technologies de l'Environnement, EPFL, Lausanne
Werner Eugster	Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich, Zürich
Angelo Bernasconi	Dipartimento Ambiente Costruzioni e Design, SUPSI, Canobbio
Peter Hofer	Department Mobility, Energy and Environment, Empa, Dübendorf
Fred Baumgartner	Sektion Siedlung und Landschaft, ARE, Bern
Leonardo Barreto	Laboratory for Energy Systems Analysis, PSI, Villigen
Monika Frehner	Forstingenieurin, Sargans
Reto Knutti	Climate and Global dynamics, NCAR, Boulder, USA
Michele Baettig	Institut für Biogeochemie u. Schadstoffdynamik, ETH, Zürich
Sabine Perch-Nielsen	Institut für Biogeochemie u. Schadstoffdynamik, ETH, Zürich
Katrin Frese	Reinsurance Analytics, Group Reinsurance, Zurich Financial Services, Zürich
Alfred Baumgartner	Architekt REG A/SIA, Schinznach-Bad
Thomas Egli	Egli Engineering, St. Gallen

Druck

Vögel AG Druckzentrum, 3550 Langnau

Bildnachweis

Kapiteltitelseiten

Seite 11	Grundlagen	Abgeändert von: T. M. L. Wigley und S. C. B. Raper, 2001: Interpretation of High Projections for Global-Mean Warming, Science 293; pp.451-454
Seite 25	Landökosysteme	Botanisches Institut, Universität Basel
Seite 41	Landwirtschaft	Christoph Kull, OcCC, Bern
Seite 55	Wasserwirtschaft	Christoph Kull, OcCC, Bern
Seite 67	Gesundheit	www.bigfoto.com
Seite 79	Tourismus	Christoph Kull, OcCC, Bern
Seite 95	Energie	Christoph Kull, OcCC, Bern
Seite 109	Bauten/Infrastrukturen	Christoph Ritz, ProClim-, Bern
Seite 123	Urbane Schweiz	Mark Michaeli, Institut für Städtebau, ETH Zürich
Seite 137	Versicherungen	Christoph Kull, OcCC, Bern

