

## **Das Klima ändert – was nun?**

**Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz**



**Umschlag:**

Die Zunge des Triftgletschers im September 2004  
(Photo C. Kull)

# **Das Klima ändert – was nun?**

**Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz**

**Herausgeber und Vertrieb:**

OcCC  
Schwarztorstrasse 9  
3007 Bern  
Tel.: 031 328 23 23  
Fax: 031 328 23 20  
email: [occc@scnat.ch](mailto:occc@scnat.ch)  
[www.occc.ch](http://www.occc.ch)

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).

**Zitervorschlag:**

OcCC, 2008: Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz. OcCC - Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, 47 pp. ISBN: 978-3-907630-33-4

## Inhalt

<b>Editorial</b>	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2 Physikalische Grundlagen zur Klimaänderung</b>	<b>9</b>
2.1 IPCC-Resultate – Grundlagen	9
2.2 Beobachtete globale Veränderungen	10
2.3 Künftige Veränderungen	11
2.4 Literatur	14
<b>3 Die Klimaentwicklung der Schweiz</b>	<b>15</b>
3.1 Beobachtete Klimaänderungen in der Schweiz	15
3.2 Künftige Klimaentwicklung in der Schweiz	17
3.3 Literatur	19
<b>4 Auch in der Schweiz wirkt sich der Klimawandel zunehmend aus</b>	<b>21</b>
4.1 Die Klimaänderung wirkt sich auf alle Sektoren aus	21
4.1.1 Schon beobachtete Auswirkungen	22
4.1.2 Künftige Auswirkungen	23
4.2 Schnee, Eis und Permafrost im Hochgebirge	24
4.3 Landschaft, Land- und Forstwirtschaft	26
4.4 Tourismus und Infrastrukturen	27
4.5 Ausgewählte Wirtschaftszweige	28
4.6 Menschliche Gesundheit	29
4.7 Schlussfolgerungen	30
4.8 Literatur	31
<b>5 Verminderung des Klimawandels</b>	<b>33</b>
5.1 Reduktionspotentiale	33
5.1.1 Die Situation in der Schweiz	34
5.2 Kosten	34
5.2.1 Die Situation in der Schweiz	34
5.3 Die einzelnen Bereiche	35
5.3.1 Energieumwandlung	35
5.3.2 Transport und dazugehörige Infrastruktur	36
5.3.3 Wohn- und Geschäftsgebäude	36
5.3.4 Industrie	36
5.3.5 Landwirtschaft	37
5.3.6 Forstwirtschaft	37
5.3.7 Abfallwirtschaft	38
5.3.8 Die Situation in der Schweiz	38
5.4 Zusätzliche Bemerkungen	39
5.5 Literatur	41
<b>6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>43</b>
6.1 Ziele für die Schweiz	43
6.2 Schlussfolgerungen und Fazit	44
<b>Die Mitglieder des OcCC</b>	<b>47</b>

## Editorial: Klima - Wahrheiten

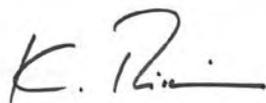
Nun ist – was seit Jahren schon evident war – wissenschaftlich im 4. Wissensstandsbericht des IPCC fundiert belegt: Der Grossteil der Klimaerwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist – mit grösster Wahrscheinlichkeit, das heisst mit mehr als 90-prozentiger Sicherheit – durch den anthropogenen Treibhausgasanstieg bedingt. Die menschlichen Aktivitäten, an erster Stelle die Verbrennung der fossilen Brennstoffe, tragen ausschlaggebend zur Erderwärmung bei.

Was bedeutet die Klimaerwärmung für die Schweiz? Welche Ergebnisse finden sich im vierten IPCC-Bericht, die direkt die Schweiz betreffen? Welche inhaltlichen Ergänzungen zum vierten IPCC-Bericht sind aus Schweizer Sicht notwendig? Rund ein Dutzend Schweizer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben sich bereit erklärt, die relevanten Fakten der *wissenschaftlichen Grundlagen* der IPCC-Arbeitsgruppe I, der *Auswirkungen, Anpassung und Verwundbarkeiten* der Arbeitsgruppe II und des Berichtes *Verminderung* der Arbeitsgruppe III zusammenzustellen. Ganz herzlichen Dank den Verfassern. Ein weiteres Kapitel wurde massgeschneidert auf die Schweizer Situation eingefügt. Es enthält Schlussfolgerungen und Empfehlungen. Damit nimmt das Beratende Organ für Fragen der Klimaänderung OcCC seine Aufgabe, die es vom Bundesrat erhalten hat, wahr.

Im Jahr 2007, mit dem Film „An Inconvenient Truth“ des ehemaligen US-Vizepräsidenten und Präsidentschaftskandidaten Al Gore über die globale Erwärmung, wurde die Klimaerwärmung auch in der Schweiz in breitesten Kreisen wahrgenommen. Zwanzig Jahre nach 1988, dem Jahr der Begründung des Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC durch das UNEP (Umweltprogramm der Vereinten Nationen) und die WMO (Weltorganisation für Meteorologie) ist die globale Erwärmung weltweit zuoberst auf die politische Traktandenliste gelangt.

Für unser Land wird die Klimaerwärmung zu einer Herausforderung mit teuren wirtschaftlichen Folgen: Wenn in schneesicheren Skigebieten die Wiesen grün bleiben, drohen Milliardenverluste im Tourismus. Wenn immer verheerendere Unwetter unsere Infrastrukturen, Dörfer und Städte verwüsten, werden wir immer wieder mit grossem Leid und hohen Kosten konfrontiert. Rasches Handeln ist deshalb auf nationaler und auf internationaler Ebene dringend.

Die Herausforderung „Global warming“ bringt aber auch wirtschaftliche Chancen für die Schweiz. Wenn wir in neue Technologien investieren, die weltweite Nachfrage finden werden, können wir international eine Führungsposition einnehmen und entsprechend profitieren. Eine frühzeitige wirtschaftliche Umstellung und Anpassung an energieeffiziente Produktion und die Entwicklung der dazu notwendigen Technologien bringen grosses Innovationspotential und zudem erhebliche Wettbewerbsvorteile.



Dr. Kathy Riklin

## Zusammenfassung

Der folgende Bericht des OCCC präsentiert die wichtigsten Ergebnisse des 4. Wissensstandsberichtes des IPCC, des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Fragen der Klimaänderung der Vereinten Nationen, mit ihrem Bezug zur Schweiz.

Der globale Klimawandel ist eindeutig. Weltweit haben die menschlichen Treibhausgasemissionen im Zeitraum von 1970 bis 2004 um 70 Prozent zugenommen, wobei sich die Zunahme in den letzten zehn Jahren beschleunigt hat. Die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre hat seit 1750 deutlich zugenommen und übersteigt heute bei weitem die vorindustriellen Werte, bekannt aus Eisbohrkernen für die letzten 650'000 Jahre. Menschliche Aktivitäten führten seit 1750 im globalen Mittel zu einer Nettoerwärmung. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Grossteil der Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und den menschlich verursachten Treibhausgasanstieg bedingt ist. Die mittleren globalen Temperaturen liegen heute bereits um etwa 0,8 °C höher als dies bei einer unveränderten Zusammensetzung der Atmosphäre der Fall wäre. Die zukünftige Klimaentwicklung ist abhängig vom Ausmass der Treibhausgasemissionen und damit von menschlichem Handeln und politischen Entscheidungen. Je nach Szenario muss bis Ende des 21. Jahrhunderts mit einer Zunahme zwischen 1,1 und 6,4 °C gerechnet werden (bezogen auf 1990). Diese Unsicherheit lässt sich nur zum Teil auf Unsicherheiten in den Klimamodellen zurückführen. Viel wesentlicher ist der Einfluss der künftigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung, die sich heute kaum abschätzen lässt. Unser Handeln bestimmt die Menge der Emissionen und somit massgeblich die zu erwartenden Veränderungen im Klimasystem und die damit verbundenen Folgen.

Auf regionaler Ebene zeigt sich die Klimaerwärmung im Alpenraum besonders deutlich. Der Anstieg ist im Vergleich zum globalen Trend rund doppelt so stark. In der Schweiz sind die mittleren Temperaturen seit 1970 um rund 1,5 °C angestiegen. Bis 2100 muss mit einer Zunahme der Sommertemperaturen von 3,5 bis 7 °C gerechnet werden. Ein Durchschnittssommer wird dann in etwa dem Hitzesommer 2003 entsprechen. Dazu wird es im Sommer deutlich trockener, im Winter hingegen feuchter werden.

Die Folgen dieser Erwärmung sind bereits weltweit nachweisbar. Betroffen sind eine Reihe von einzigartigen Ökosystemen (polare Gebiete, Gebirge, Küstenregionen). Mit der voranschreitenden Erwärmung wird auch das Risiko zunehmen, dass Arten aussterben oder Korallenriffe geschädigt werden. Bereits eine Erhöhung der globalen Durchschnittstemperatur um 1,5 bis 2,5 °C gegenüber vorindustriellen Werten birgt signifikante Risiken für viele einzigartige Ökosysteme. Dazu gehören insbesondere auch viele "Hotspots" der Biodiversität. Mit hoher Sicherheit wird die anhaltende Erwärmung über viele Jahrhunderte zu einem Anstieg des Meeresspiegels führen. Dieser wird weit über den beobachteten Anstieg im 20. Jahrhundert hinausreichen – mit weitreichenden Folgen für die Küstenregionen.

Gleichzeitig steigt das Risiko extremer Wetterereignisse. Trockenheit, Hitzewellen und Hochwasser werden häufiger vorkommen.

In der Schweiz werden diese Veränderungen massive Auswirkungen auf die Umwelt, die Gesellschaft und die Wirtschaft haben.

Mehr als die Hälfte des heute noch vorhandenen Gletschervolumens in den Alpen wird wahrscheinlich bereits um die Jahrhundertmitte geschmolzen sein. Die Wasserverfügbarkeit in den trockenen Sommermonaten wird damit reduziert. Dies hat Auswirkungen auf die Landwirtschaft, die Schifffahrt und die Energieproduktion. Im Winter dürfen, ohne geeignete Schutzmassnahmen, im Mittelland und Jura Hochwasser vermehrt Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden anrichten. Dies hat Konsequenzen für die Versicherungsbranche.

Der Tourismussektor muss sich ebenfalls mit veränderten Bedingungen auseinandersetzen. So wird der klassische Wintersport in Höhen unter 1500 Meter wegen der fehlenden Schneebedeckung nicht mehr rentabel sein. Im Sommer wird das veränderte Landschaftsbild die Attraktivität der Hochgebirgsregionen beeinträchtigen. Eine Diversifizierung des Tourismusangebots ist deshalb anzustreben.

In den Städten wird die Bevölkerung vermehrt unter der Hitze leiden.

Für die Landwirtschaft stellen insbesondere die Verfügbarkeit von Wasser während den Sommermonaten sowie möglicherweise neu zugewanderte Schädlinge ein Problem dar.

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 jenen von tieferen und südlicheren Gegenden annähern. Wärmeempfindliche Arten werden, falls überhaupt möglich, in kühlere, höhere Lagen ausweichen. Wenig mobile Arten werden stark eingeschränkt oder verschwinden.

Ökonomisch schwache Regionen in der dritten Welt spüren die Auswirkungen bereits jetzt und sind sehr verletzlich. Dies betrifft vor allem Gebiete in niedrigen Breiten und weniger entwickelten Regionen, so zum Beispiel die Trockenzone und Megadeltas in Afrika, Asien und Südamerika. Auch für ökonomisch starke Volkswirtschaften wird es gegen Ende des 21. Jahrhunderts bei fehlenden Minderungsmaßnahmen schwierig, sich den Veränderungen anzupassen.

Minderungsmaßnahmen sind daher dringend und unumgänglich. Weder Anpassung noch Minderung allein können die gravierenden Auswirkungen des Klimawandels verhindern, sie können sich jedoch ergänzen und so die Risiken des Klimawandels signifikant verringern.

Um die globale Erwärmung auf 2,0 bis 2,5 °C gegenüber vorindustriellen Werten zu begrenzen (dies bedeutet in der Schweiz rund 4 bis 5 °C), müssen die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis 2050 um 50 bis 85 Prozent gegenüber dem Jahr 2000 reduziert werden. Langfristig ist eine Reduktion auf 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Kopf gefordert. Dies bedingt einen langfristigen Totalumbau der globalen Volkswirtschaft und eine Abkehr von der Nutzung fossiler Energieträger. Für die Schweiz empfiehlt das OcCC daher eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 20 Prozent bis 2020 und um mindestens 60 Prozent bis 2050.

*Das OcCC fordert, dass die Entscheidungsträger den Weg zu einem nachhaltigen Umgang mit Umwelt, Klima und Ressourcen einschlagen. Dazu gibt es letztlich keine Alternative.*

## 1 Einleitung

Über 1300 Forscherinnen und Forscher aus der internationalen Wissenschaftsgemeinschaft, darunter auch rund 50 Schweizerinnen und Schweizer, haben in mehrjähriger Arbeit den 4. IPCC-Bericht zum Wissensstand des globalen Klimawandels (AR4) erarbeitet. Dieser wurde vom zwischenstaatlichen Ausschuss der Vereinten Nationen (IPCC) 2007 veröffentlicht. Im vorliegenden OcCC-Bericht werden die für die Schweiz wichtigsten Resultate zusammengefasst und mit weiteren aktuellen Ergebnissen aus der schweizerischen Forschung ergänzt.

Im Februar 2007 machte das IPCC klar, dass die gegenwärtige Erderwärmung weitgehend vom Menschen verursacht ist. Der Kohlendioxidgehalt der Atmosphäre ist innerhalb von nur 250 Jahren um mehr als einen Drittel gestiegen, und bis zum Ende dieses Jahrhunderts könnte die Erde fast 6,5 °C wärmer werden als vor der Industrialisierung.

Im zweiten Teilbericht wurde auf die zu erwartenden Auswirkungen der Klimaänderung hingewiesen. Bei fehlendem Handeln werden die Ökosysteme über ihre Anpassungsgrenzen hinaus gestört. Unter Umständen sind bei einer Erwärmung über 2,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Klima bis zu einem Drittel aller höheren Tier- und Pflanzenarten vom Aussterben bedroht.

Im dritten Teilbericht, veröffentlicht im Mai 2007, schlug die Wissenschaft konkrete Schritte vor, um die gravierendsten Auswirkungen zu mindern: Dazu gehören Massnahmen bei der Energieversorgung, dem Verkehr, der Industrie und der Landwirtschaft. Nur wenn der CO<sub>2</sub>-Ausstoss bis 2050 radikal reduziert wird, könnte die Erderwärmung zumindest begrenzt werden – auf 2 bis 2,5 °C gegenüber vorindustriellen Werten.

Die Auswirkungen des Klimawandels werden mit hoher Wahrscheinlichkeit jährliche Nettokosten verursachen, die mit dem Anstieg der globalen Temperaturen noch deutlich zunehmen werden. Ein ungebremster Klimawandel wird langfristig die Anpassungsfähigkeit natürlicher, bewirtschafteter und menschlicher Systeme überfordern. Auf regionaler Ebene manifestiert sich im Alpenraum die Klimaerwärmung besonders deutlich. Sie ist im Vergleich zum globalen Trend etwa doppelt so stark. Die Prognosen, wie stark die globale Erwärmung bis Ende des

21. Jahrhunderts zunehmen wird, sind mit grossen Unsicherheiten behaftet und reichen von 1,1 bis 6,4 °C (bezogen auf 1990). Diese Unsicherheiten entstehen nicht etwa, weil die entsprechenden Forschungsergebnisse ungenau wären, sondern weil die künftige wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung noch offen ist. Unser jetziges und künftiges Handeln bestimmt die Emissionen und somit die zu erwartenden Veränderungen im Klimasystem und den damit verbundenen Folgen. Wir haben die Zukunft also in der Hand und es liegt in unserem Interesse, dem fortschreitenden Erwärmungstrend mit griffigen Massnahmen entgegenzutreten. Dabei sollten wir uns über die Grössenordnung des Experimentes, das die Menschheit zurzeit mit ihren eigenen Lebensgrundlagen unternimmt, bewusst sein. Eine globale Temperaturerhöhung um 6,5 °C liegt in der gleichen Grössenordnung wie die Differenz zwischen den kältesten Phasen der letzten Eiszeit und heute.

Das Problem in der 2. Hälfte des 21. Jahrhunderts wird sich aber nicht allein auf den Klimawandel beschränken. Vielmehr zeichnet sich eine multikausale Problematik ab, die durch Umweltzerstörung, Ressourcenknappheit, Energieversorgung, Bevölkerungswachstum und Klimawandel geprägt sein wird. In diesem Spannungsfeld gilt es, ganzheitliche Lösungen zu suchen. Eine Grundlage hierfür ist das Verständnis, wie sich die durch menschliches Handeln hervorgerufenen Veränderungen im Klimasystem auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft auswirken. Das IPCC hat in den letzten Jahren sehr intensiv und mit Erfolg diese Schnittstellen untersucht. Die erarbeiteten Resultate sind auch für die Schweiz von grosser Wichtigkeit.

Doch was bedeuten diese Ergebnisse konkret für die Schweiz? Welche Veränderungen sind bei uns gegen Ende des 21. Jahrhunderts allenfalls zu erwarten und welche Auswirkungen ergeben sich damit für unseren Lebensraum?

Der vorliegende Bericht gibt Antworten auf diese Fragen und zeigt auf, wie sich Politik, Wirtschaft und Gesellschaft den Herausforderungen stellen können und welche Massnahmen heute ergriffen werden sollten, um den negativen Folgen des Klimawandels zu begegnen.



## 2 Physikalische Grundlagen zur Klimaänderung

Fortunat Joos und Thomas Stocker

Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut & Oeschger Zentrum, Universität Bern

Im Folgenden werden die wichtigsten für die Schweiz relevanten Aussagen aus dem ersten Teil des Vierten Wissensstandsberichts des IPCC (AR4) zusammengefasst. Dieser wurde durch die Arbeitsgruppe I des IPCC verfasst und behandelt die physikalischen Grundlagen zur Klimaänderung.

### 2.1 IPCC-Resultate – Grundlagen

**Der Anstieg von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen in der Atmosphäre führt zu einer zunehmenden Erwärmung. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Grossteil der Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und den menschlich verursachten Treibhausgasanstieg bedingt ist.**

Durch menschliche Aktivitäten nimmt die Konzentration der verschiedenen Treibhausgase und Schwebestoffe in der Atmosphäre zu. Dies verändert die Energiebilanz des Klimasystems und führt zu einer Erwärmung.

Die Konzentrationen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) in der Atmosphäre sind seit 1750 markant angestiegen. Sie liegen nun deutlich über dem natürlichen Bereich der letzten 650'000 Jahre. Dies kann anhand von Messungen an Eisbohrkernen aus der Antarktis belegt werden. CO<sub>2</sub> ist das wichtigste anthropogene Treibhausgas. Die globale atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration hat von einem vorindustriellen Wert von 280 parts per million (ppm) auf 379 ppm im Jahre 2005 zugenommen. Die Zunahme der Treibhausgase in der Atmosphäre verändert die Strahlungsbilanz der Erde, reduziert insbesondere die Rückstrahlung in den Weltraum und führt damit zu einem Anstieg der Temperaturen (Abb. 1).

Die heutigen Zuwachsraten der CO<sub>2</sub>-Konzentration sind höher als zu Beginn der kontinuierlichen atmosphärischen Messungen (seit 1958) und der Anstieg erfolgt beschleunigt. Die fossilen Emissionen sind von durchschnittlich 6,4 Gigatonnen Kohlenstoff (GtC) pro Jahr in den neunziger Jahren auf 7,2 GtC pro Jahr im Schnitt der Jahre 2000 bis 2005 angestiegen. Die Hauptursache dieses Anstiegs ist die Verwendung fossiler Brennstoffe (Kohle, Erdöl, Gas). Landnutzung ist eine weitere, wenn auch kleinere CO<sub>2</sub>-Quelle. Auch der Gehalt an Methan, Lachgas, halogenierten Kohlenwasserstoffen, Ozon, Russ und ande-

ren Schwebeteilchen in der Atmosphäre wird durch den Menschen beeinflusst. Dies trägt ebenfalls zur Störung der Energiebilanz bei. Ein grosser Teil der Temperaturvariationen, die auf der Nordhemisphäre für die vorindustrielle Zeit rekonstruiert wurden, lässt sich mit Vulkanismus und Änderungen der Sonnenstrahlung erklären. Diese natürlichen Faktoren haben insgesamt einen kühlenden Einfluss auf das Klima der letzten 50 Jahre ausgeübt und können die gegenwärtige Erwärmung nicht erklären.

Das beobachtete Muster und der zeitliche Verlauf der Erwärmung werden nur durch Klimamodelle nachgebildet, welche anthropogene Einflüsse mitberücksichtigen.

Heute stehen deutlich mehr und verschiedene Typen von Klimamodellen zur Verfügung als früher. Zusammen mit Beobachtungen erlauben sie es, die Wahrscheinlichkeit und Grössenordnung der laufenden Klimaänderung abzuschätzen. Fast die Hälfte der Erwärmung der nächsten 20 Jahre (ca. 0,2 °C) wird aufgrund der bis heute ausgestossenen Treibhausgase und der veränderten Landnutzung erfolgen. Zudem zeigt sich, dass künftige Emissionen zu einer gesamthaft rund doppelt so starken Erwärmung führen werden.

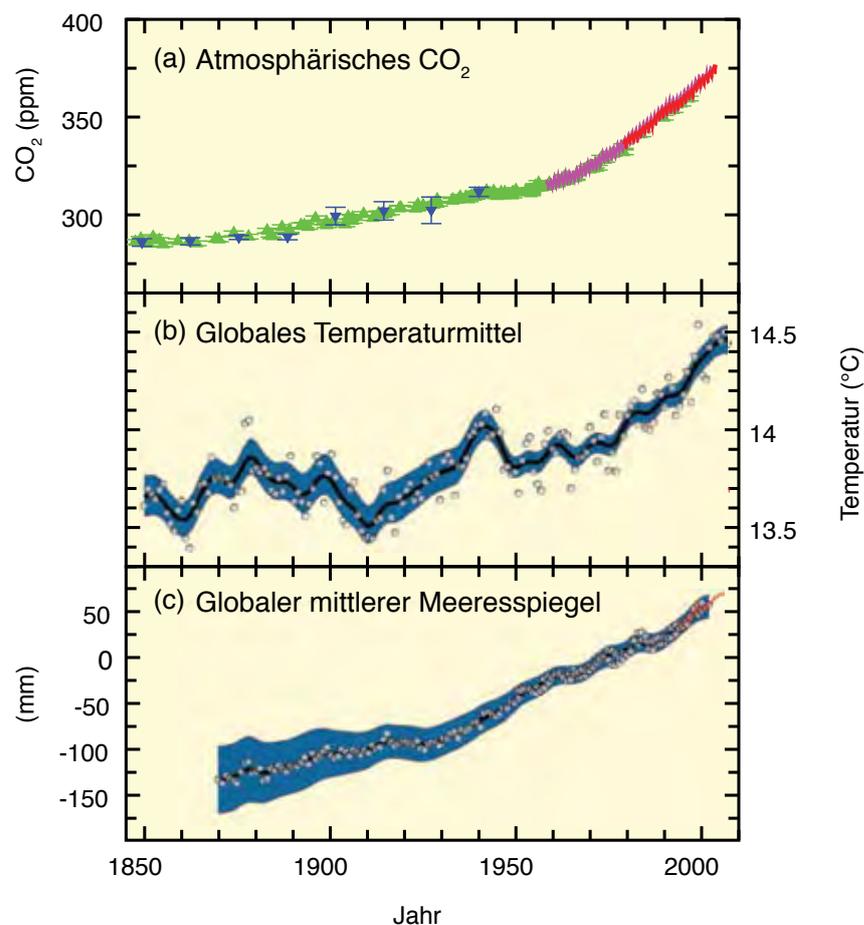
## 2.2 Beobachtete globale Veränderungen

Die Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig und wird weltweit beobachtet (Abb. 1). Messungen zeigen einen Anstieg der mittleren Luft- und Ozeantemperaturen und damit verbunden eine abnehmende Schneebedeckung sowie eine verstärkte Schmelze von Meereis und einen Rückzug der Gletscher. Als Folge wird auch ein Anstieg des Meeresspiegels beobachtet. Die Auswirkungen der Klimaänderung äussern sich auch durch eine Zunahme von Hitzewellen, Dürren und Starkniederschlägen.

11 der letzten 12 Jahre gehören zu den 12 wärmsten Jahren, welche seit Beginn der instrumentellen Messungen im Jahr 1861 beobachtet wurden. Der Trend der Erwärmung hat sich, verglichen mit den letzten 100 Jahren, in den letzten 50 Jahren beinahe verdoppelt. Die Temperaturen haben auf allen Kontinenten (ausser der Antarktis) zugenommen. Zudem ist die Erwärmung über dem Land stärker als über

den Ozeanen. Im Einklang mit den steigenden Temperaturen hat auch der durchschnittliche Wassergehalt in den oberen Luftschichten der Atmosphäre zugenommen. Dies ist ein wichtiger Verstärkungsfaktor der Klimaerwärmung. Die Erwärmung hat zu einem Rückzug des Meereises in der Arktis (mittlere jährliche Ausdehnung) um knapp 3 Prozent pro Dekade geführt. Messbar verändert haben sich auch

### Beobachtete globale Veränderungen



**Abbildung 1:** Beobachtete Veränderungen (a) der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration gemessen an antarktischen Eisbohrkernen (grüne und blaue Symbole) und an direkten atmosphärischen Proben (rot), (b) der global gemittelten Oberflächentemperatur und (c) des global gemittelten Meeresspiegels anhand von Gezeitenmessungen (blau) und Satellitendaten (rot). Der Meeresspiegel wird relativ zum Mittel der Jahre 1961–1990 dargestellt (IPCC, WGI, SPM 2007).

atmosphärische Zirkulationsmuster. So haben die Westwinde in den mittleren Breiten an Stärke gewonnen.

Niederschlagsveränderungen wurden in vielen Gebieten über die letzten 100 Jahre beobachtet. Ein signifikanter Anstieg der Niederschlagsmenge wurde in Nordeuropa, im Osten von Nord- und Südamerika sowie in Teilen von Asien beobachtet. Eine Abnahme zeigt sich in den bereits trockenen Gebieten des Mittelmeerraums und in der Sahelzone. Zudem werden stärkere und länger anhaltende Dürren in den Tropen und Subtropen beobachtet. Im Einklang mit der beobachteten Erwärmung und der Zunahme des Wasserdampfgehaltes in der Atmosphäre hat auch die Häufigkeit von Starkniederschlägen

in den meisten Gebieten zugenommen.

Klimarekonstruktionen der Vergangenheit zeigen den ungewöhnlichen Charakter der heutigen globalen Erwärmung und deuten mögliche künftige Entwicklungen an. Die mittlere Temperatur der Nordhemisphäre war in den letzten 50 Jahren wahrscheinlich höher als während mindestens den letzten 1300 Jahren. Während der letzten Warmzeit (vor 125'000 Jahren) war der globale mittlere Meeresspiegel wahrscheinlich 4 bis 6 Meter höher als heute. Da sich unser Planet damals auf einer leicht veränderten Erdumlaufbahn um die Sonne bewegte, lagen die mittleren polaren Temperaturen um 3 bis 5 °C höher. Somit waren auch die Eisschilde kleiner.

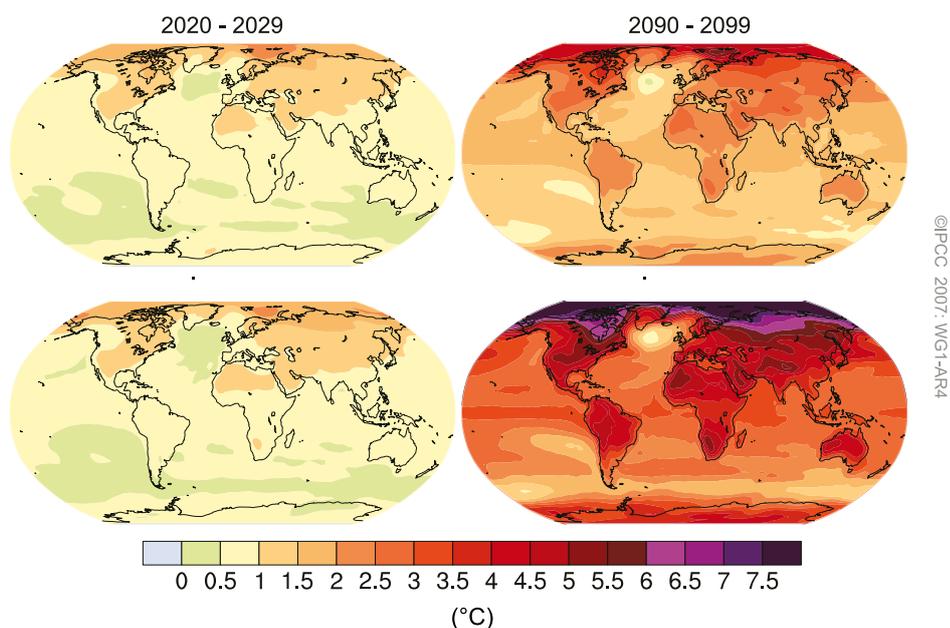
## 2.3 Künftige Veränderungen

**Werden im 21. Jahrhundert weiterhin so viele Treibhausgase emittiert wie heute, muss mit einer weiteren Erwärmung des Klimasystems gerechnet werden. Dies würde sehr wahrscheinlich zu noch grösseren Veränderungen führen als bereits im 20. Jahrhundert beobachtet.**

Die globale Erwärmung kann heute, je nach Emissionsszenario, erstmals genauer abgeschätzt werden. Für das letzte Jahrzehnt im 21. Jahrhundert (2090 bis 2099) betragen die global gemittelten Werte für das niedere Szenario B1 (siehe Kasten Szenarien) 1,8 °C (wahrscheinli-

cher Bereich 1,1 bis 1,9 °C) und 4,0 °C (2,4 bis 6,4 °C) für das hohe A2-Szenario, verglichen mit der Periode 1980 bis 1999. Aufgrund der erwarteten Erwärmung wird auch der Meeresspiegel ansteigen. Im Fall von Szenario B1 beträgt der Anstieg 18 bis 38 Zentimeter, bei Szenario A2

### Modellprojektionen der Erdoberflächentemperaturen

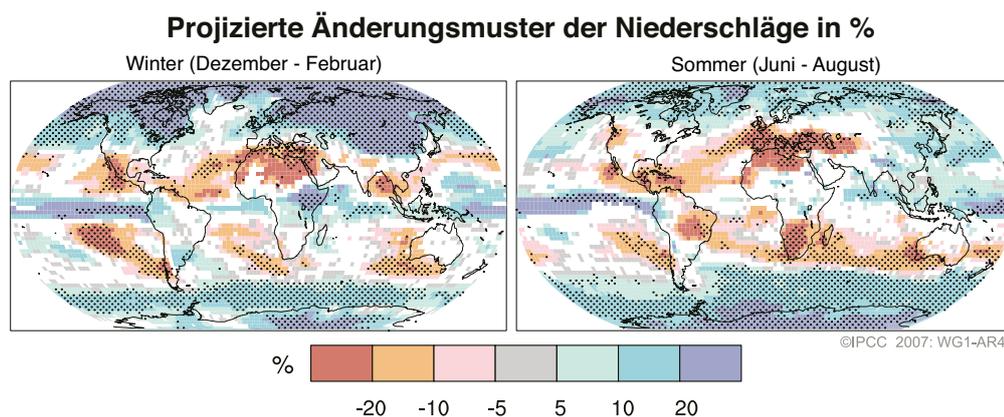


**Abbildung 2:** Temperaturanstieg gegenüber 1980–1999 für ein Jahrzehnt im früheren und späteren Teil des 21. Jahrhunderts aufgrund eines niedrigen (B1, **oben**) und eines hohen (A2, **unten**) SRES-Emissionsszenarios. Die Resultate sind Mittelwerte aus Simulationen mit verschiedenen, umfassenden Klimamodellen (IPCC, WGI, SPM 2007).

26 bis 59 Zentimeter. Grössere Unsicherheiten bestehen allerdings noch in Bezug auf die polaren Eiskappen. Ein grösserer Anstieg des Meeresspiegels, verursacht durch ein mögliches rasches Abschmelzen dieser Eismassen, kann nicht ausgeschlossen werden.

Die Erwärmung wird die Aufnahme von Kohlenstoff in den Ozeanen und auf dem Land reduzieren. Dies verstärkt die Erwärmung

zusätzlich. Der Anstieg von  $\text{CO}_2$  führt zu einer verstärkten Versauerung der Ozeane. Eine Reduktion des pH-Wertes um 0,1 seit vorindustrieller Zeit konnte bereits beobachtet werden. Dieser Prozess wird sich im 21. Jahrhundert beschleunigen. Kalkschalenbildende Organismen (zum Beispiel Korallen) werden dadurch in ihrem Wachstum zumindest behindert, mit zurzeit noch wenig erforschten, aber mögli-



**Abbildung 3:** Relative Änderung des Niederschlags für 2090–2099 bezüglich 1980–1999 für die Winter- (Dezember bis Februar) und Sommermonate (Juni bis August), basierend auf Mittelwerten von Simulationen mit verschiedenen, umfassenden Klimamodellen unter dem Szenario A1B. Färbung bedeutet, dass über 66% der Modellsimulationen in der Art der Veränderung (Zunahme oder Abnahme) übereinstimmen, bei gepunkteten Flächen stimmen über 90% der Modelle überein. An den weissen Stellen kann noch keine robuste Aussage über die Veränderung gemacht werden (IPCC, WGI, SPM 2007).

### Kasten 1: IPCC-Szenarien

Die im Rahmen des IPCC-Prozesses entwickelten Zukunftsszenarien für den Zeitraum 2001 bis 2100 basieren auf unterschiedlichen Annahmen über den demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und technologischen Wandel:

Das **Szenario A1** beschreibt eine Welt mit raschem Wirtschaftswachstum. Die Weltbevölkerung wächst bis 2050 und schrumpft danach. Eine rasche Einführung von Effizienztechnologien, eine Angleichung der Regionen mit einer erfolgreichen Globalisierung wird dabei erwartet.

Dazu gibt es 3 Untertypen: FI: intensiver Einsatz fossiler Energien; T: kein Einsatz fossiler Energien; B: ausgeglichener Energiemix.

Das **Szenario A2** beschreibt eine sehr heterogene Welt. Die Geburtenraten der verschiedenen Regionen nähern sich nur langsam an, was zu einem kontinuierlichen Anstieg der Weltbevölkerung führt. Wirtschaftliches Wachstum ist vor allem regional orientiert. Das wirtschaftliche Pro-Kopf-Wachstum sowie der technologische Wandel finden fragmentierter und langsamer statt als in Szenario A1.

Das **Szenario B1** beschreibt eine künftige Welt mit sehr raschem wirtschaftlichem Wachstum und mit einer Weltbevölkerung, deren Zahl wie beim Szenario A1 bis Mitte des 21. Jahrhunderts zunimmt und danach abnimmt. Eine rasche Veränderung in den wirtschaftlichen Strukturen hin zu einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft mit deutlich geringerer Materialintensität sowie der Einführung von emissionsarmen und ressourcenschonenden Technologien wird erwartet. Der Schwerpunkt liegt auf globalen Lösungen in Richtung wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit, einschliesslich verbesserter Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimaschutzinitiativen.

Das **Szenario B2** beschreibt eine Welt mit lokalen Lösungen für globale Probleme. Ein langsames Wachstum der Weltbevölkerung als in A2, ein mittleres Wirtschaftswachstum sowie ein langsamerer und divergierender technologischer Wandel als in A1 und B1 sind die Folge. Die Welt orientiert sich an Umweltschutz und sozialer Gleichheit mit einer Betonung des Lokalen und Regionalen.

cherweise negativen Konsequenzen für marine Ökosysteme.

Geographisch wird sich die weitere Erwärmung ähnlich dem bisherigen Verlauf fortsetzen. Die grösste Erwärmung wird über den Landmassen und in den nördlichen Breitengraden stattfinden (Abb. 2). Die Schneebedeckung wird zurückgehen und die Ausdehnung des Meereises in der Arktis und der Antarktis wird sich verringern. Die Arktis könnte gegen Ende des 21. Jahrhunderts im Spätsommer eisfrei sein.

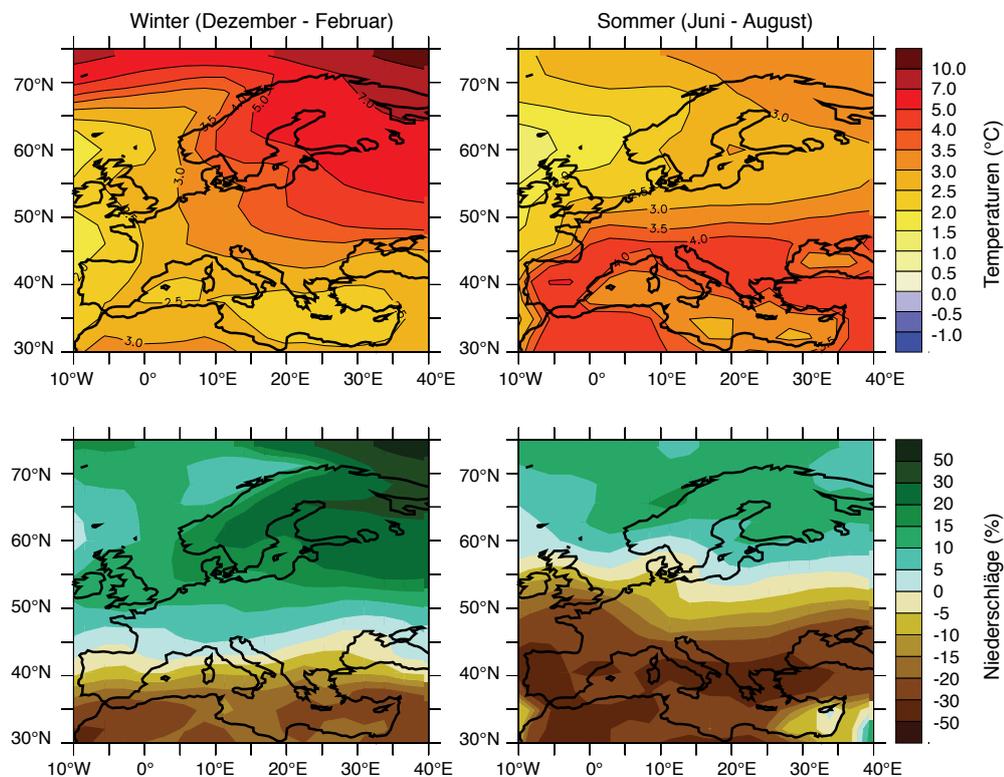
Hitzewellen und Starkniederschläge werden häufiger auftreten, tropische Stürme werden sich wahrscheinlich verstärken. Die Zugbahnen der Westwindstürme in den mittleren Breiten werden sich nordwärts verschieben.

Das Verständnis, wie sich die Niederschläge verändern werden, hat sich in den letzten Jahren verbessert. Es wird inzwischen als sehr wahrscheinlich beurteilt, dass der Niederschlag in den hohen Breiten zunehmen wird. Hingegen wird der Niederschlag wahrscheinlich in den Subtropen abnehmen (Abb. 3). Sehr wahrschein-

lich wird sich die atlantische meridionale Umwälzströmung im 21. Jahrhundert verlangsamen. Trotzdem werden die Temperaturen in der Region des Atlantiks aufgrund der fortschreitenden Erwärmung weiter ansteigen. Es ist nicht anzunehmen, dass diese Strömung eine grosse, abrupte Änderung erfahren wird, doch lassen sich längerfristige Entwicklungen zurzeit noch nicht vertrauenswürdig beurteilen.

Das Abschmelzen des grönländischen Eisschildes wird auch nach 2100 zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen. Der Verlust an Eis wird den vermehrten Niederschlag überwiegen, falls die Erwärmung gegenüber der vorindustriellen Zeit den Bereich 1,9 °C bis 4,6 °C überschreiten wird. Falls diese negative Massenbilanz über mehrere Jahrtausende anhält, wird schlussendlich der gesamte Eisschild verschwinden. Dies dürfte zu einem weiteren Anstieg des Meeresspiegels von etwa 7 Meter führen. In Europa sind die zu erwartenden Veränderungen im Temperatur- und Niederschlagsregime ebenfalls substanziell, wie aus Abbildung 4 hervorgeht.

### Projizierte Änderungen in Europa



**Abbildung 4:** Erwartete mittlere europäische Sommer- und Wintertemperaturänderung (**oben**) sowie entsprechende Niederschlagsveränderung (**unten**) gegenüber 1980–1999 für die Jahre 2080–2099 unter dem Szenario A1B. Während in Nordeuropa insbesondere im Winterhalbjahr eine deutliche Erwärmung erwartet wird, ist der Temperaturanstieg im Mittelmeerraum besonders im Sommerhalbjahr ausgeprägt. Die erwarteten Niederschlagsveränderungen führen zu grundsätzlich feuchteren Bedingungen in Nordeuropa und zu einer deutlichen Niederschlagsabnahme im Mittelmeerraum (IPCC, WGI, Fig. 11.5).

## 2.4 Literatur

IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

## 3 Die Klimaentwicklung der Schweiz

Christoph Frei, Mischa Croci-Maspoli und Christof Appenzeller

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Zürich

Im folgenden Kapitel werden die gemessenen Temperatur- und Niederschlagsreihen der Schweiz seit 1864 beschrieben und die Szenarien der Klimaentwicklung im 21. Jahrhundert dargestellt. Die gemessenen Trends der Klimaentwicklung sind aufgrund der geringen räumlichen Ausdehnung der Schweiz von einer hohen Variabilität überlagert. Sie lassen aber insbesondere bei den Temperaturen keinen Zweifel über den stattfindenden Klimawandel zu.

### 3.1 Beobachtete Klimaänderungen in der Schweiz

**Die Erwärmung in der Schweiz ist eindeutig nachweisbar. Beim Niederschlag sind langfristige Veränderungen wegen den grossen natürlichen Schwankungen erst langsam erkennbar. Seit Beginn des 20. Jahrhunderts sind im Winter und Herbst intensive Niederschlagsereignisse nördlich des Alpenhauptkammes um 15 bis 70% häufiger geworden. Es ist davon auszugehen, dass die beobachtete Erwärmung wahrscheinlich auf die vom Menschen verursachte Zunahme von Treibhausgasen zurückzuführen ist.**

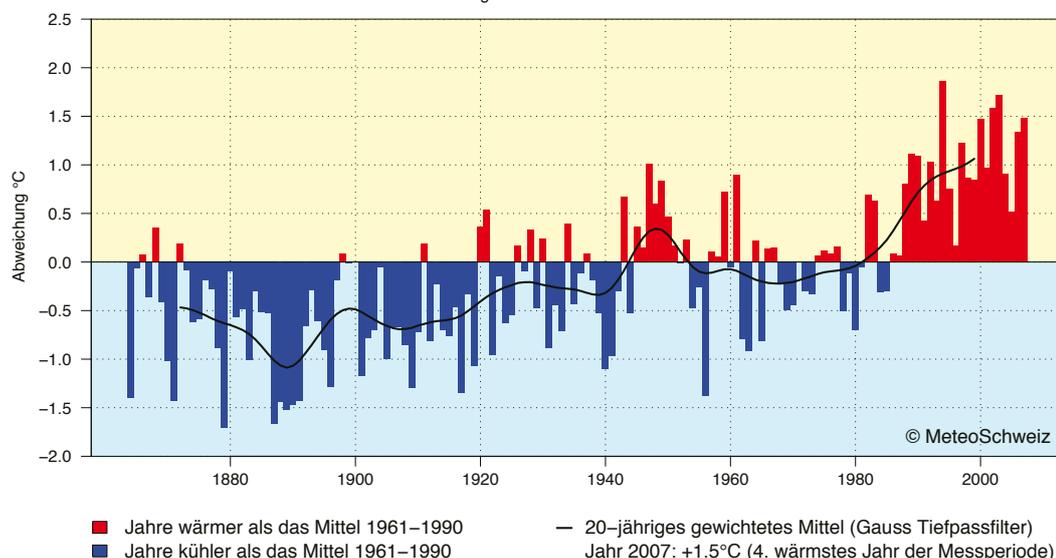
Bei der Frage, ob die globale Klimaentwicklung auch in der Schweiz messbar ist, sind qualitativ hochwertige Bodenmessdaten unerlässlich. Das Messnetz der MeteoSchweiz liefert dazu lange homogene Klimamessreihen, welche für einzelne Beobachtungsstationen seit 1864 zur Verfügung stehen und dabei alle grossen Klimaregionen der Schweiz abdecken (Seiz und Foppa, 2007; Begert et al., 2005). Dabei erschwert die komplexe Topographie der Schweiz die Analyse einzelner Klimaelemente durch regionale Eigenheiten. Die folgenden schweizerischen Mittelwerte von Temperatur und Niederschlag stellen demnach

bewusst eine zusammengefasste Perspektive dar, wobei beispielsweise die Variationen der Temperaturen relativ einheitlich, die Variationen des Niederschlags aber stark von regionalen Einflüssen geprägt sind.

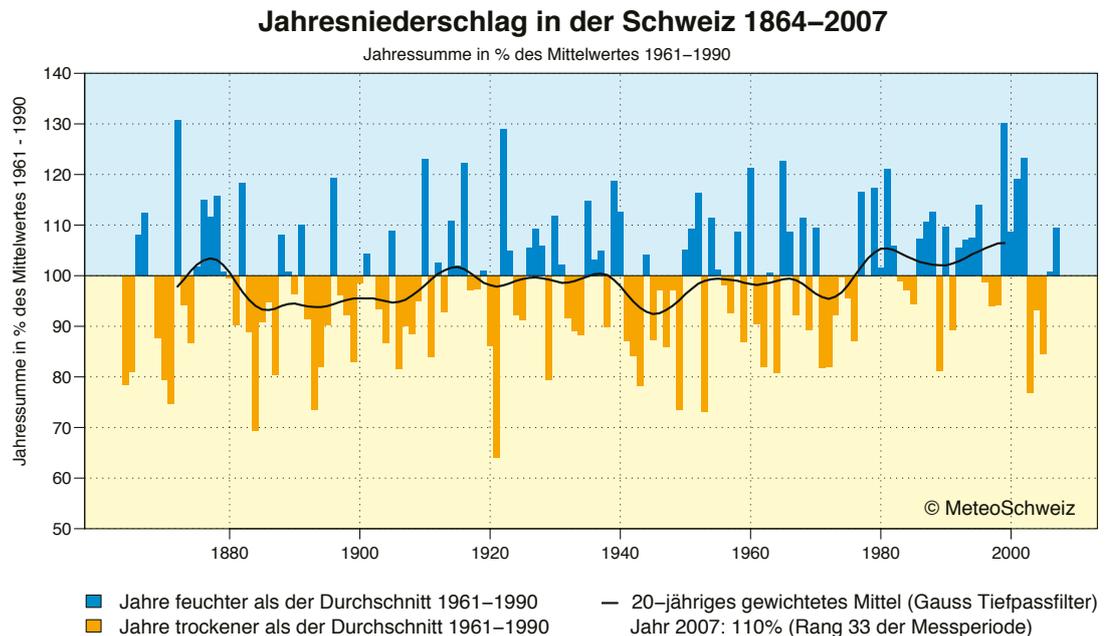
Abbildung 1 zeigt, dass der Temperaturverlauf in der Schweiz während den letzten 150 Jahren starken jährlichen Schwankungen unterworfen war. Diese Schwankungen sind in den letzten Jahren von einer deutlichen Erwärmungstendenz überlagert. Konkret wurden in den letzten 20 Jahren fast ausschliesslich positive Abweichungen von der Norm (1961-1990) registriert, und die

#### Jährliche Mitteltemperaturen in der Schweiz 1864–2007

Abweichungen vom Mittelwert 1961–1990



**Abbildung 1:** Abweichung der mittleren Jahrestemperaturen in der Schweiz relativ zur Norm 1961–1990 (rot = positive, blau = negative Abweichungen). Dargestellt sind Durchschnittswerte aus 12 verschiedenen Messstationen in verschiedenen Höhenlagen der Nord- und Südschweiz (Quelle: MeteoSchweiz, 2008).



**Abbildung 2:** Abweichung der mittleren Jahresniederschläge in der Schweiz relativ zur Norm 1961–1990 (blau = positive, orange = negative Abweichungen). Dargestellt sind Durchschnittswerte aus 12 verschiedenen Messstationen in verschiedenen Höhenlagen der Nord- und Südschweiz (Quelle: MeteoSchweiz, 2008).

fünf wärmsten Jahre fallen allesamt in die letzten zehn Jahre. Das Jahr 1994 war in der Schweiz das wärmste, 2007 das viertwärmste Jahr seit Messbeginn. Zusätzlich sind alle vier aktuellen jahreszeitlichen Temperaturrekorde in den letzten 5 Jahren realisiert worden (Schär et al., 2004; Luterbacher et al., 2007).

Unter der Annahme eines linearen Temperaturtrends lässt sich sagen, dass die mittlere Temperatur in der Schweiz seit 1970 um ca. 1,5 °C angestiegen ist; das entspricht einer rund 1,5-mal höheren Geschwindigkeit der Erwärmung als auf der Landoberfläche der Nordhalbkugel (IPCC, 2007). Verschiedene weitere Klimaindikatoren wie Anzahl warme Jahre, Hitzetage, Tropennächte oder auch die Schneebedeckung im Schweizer Mittelland belegen den Trend zu wärmeren Temperaturen in der Schweiz (Begert et al., 2005; Scherrer et al., 2004, 2006; North et al., 2007; Rebetez und Reinhard, 2007; Appenzeller et al., 2008).

Für den mittleren Jahresniederschlag über die ganze Schweiz lassen sich zum heutigen Zeitpunkt keine eindeutigen Trends beobachten (Abb. 2). Obwohl die Schwankungen von Jahr zu Jahr beträchtlich sind, fällt während den letzten Jahren im Durchschnitt über der Schweiz im Mittel gleichviel Niederschlag (1240 Millimeter) wie während der Normperiode 1961 bis 1990. Diese Menge entspricht ziemlich genau dem gesamten Volumen des Bodensees von 48'000 Millionen Kubikmetern (Spreafico und

Weingartner, 2005). Trotz weitgehend unveränderten Jahresmengen gibt es Anzeichen für jahreszeitliche und regionale Veränderungen. So haben die mittleren Winter-Niederschläge im Verlaufe des 20. Jahrhunderts vor allem in den nördlichen und westlichen Landesteilen deutlich zugenommen (Schmidli et al., 2002). Veränderungen im Niederschlagsregime sind aber auch in den Statistiken sichtbar. So hat die mittlere Niederschlagsintensität im Herbst und Winter zugenommen. Seit dem Beginn des 20. Jahrhunderts sind in diesen Jahreszeiten intensive Niederschlagsereignisse nördlich des Alpenhauptkammes um 15 bis 70 Prozent häufiger geworden (Schmidli und Frei, 2005).

Zusammenfassend kann man sagen, dass verschiedene Indikatoren eine signifikante Veränderung des Schweizer Klimas während den letzten Jahrzehnten aufzeigen. Die Erwärmung in der Schweiz ist dabei eindeutig nachweisbar. Beim Niederschlag sind langfristige Veränderungen wegen den grossen natürlichen Schwankungen erst langsam erkennbar. Wie stark der Einfluss des Menschen auf die Klimaänderung in der Schweiz ist, lässt sich heutzutage noch nicht eindeutig sagen. Es ist aber davon auszugehen, dass die beobachtete Erwärmung wahrscheinlich auf die vom Menschen verursachte Zunahme von Treibhausgasen zurückzuführen ist. Auf der kontinentalen Skala (d.h. für Europa) steht dieser Zusammenhang bereits heute mit grosser Wahrscheinlichkeit fest (IPCC, 2007).

### 3.2 Künftige Klimaentwicklung in der Schweiz

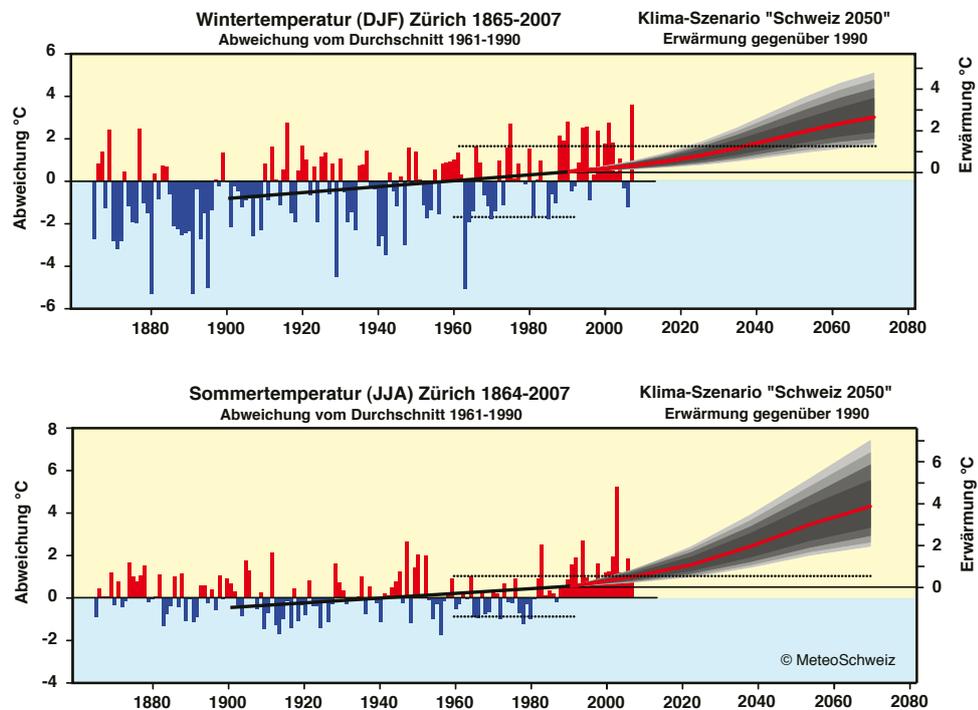
**Bis 2100 muss mit einer Zunahme der Sommertemperaturen um 3,5 bis 7 °C gegenüber 1990 gerechnet werden, sofern die Treibhausgasemissionen nicht rasch eingeschränkt werden. Die mittleren Sommerniederschläge könnten um 30% abnehmen. Es ist möglich, dass das Klima der Schweiz im Verlauf des 21. Jahrhunderts den Bereich der heutigen natürlichen Schwankungen verlässt.**

Die komplexe Topographie der Alpen spielt eine grosse Rolle für das Klima in der Schweiz. Auf regionaler, schweizerischer Ebene wird sich daher die Klimaänderung nicht gleich wie im globalen Mittel abspielen. Für eine Berechnung der künftigen Klimaentwicklung sind deshalb regionale Klimamodelle nötig. In europäischen und schweizerischen Forschungsprojekten wurden in den letzten Jahren diesbezüglich umfangreiche regionale Simulationen durchgeführt und analysiert. Durch die Kombination verschiedener globaler und regionaler Modelle konnten nun auch die Unsicherheiten der regionalen Klimaentwicklung grob abgeschätzt und speziell für die Schweiz ausgewertet werden. Diese Klimaszenarien bilden die Grundlage für verschiedene Abschätzungen von Klimafolgen

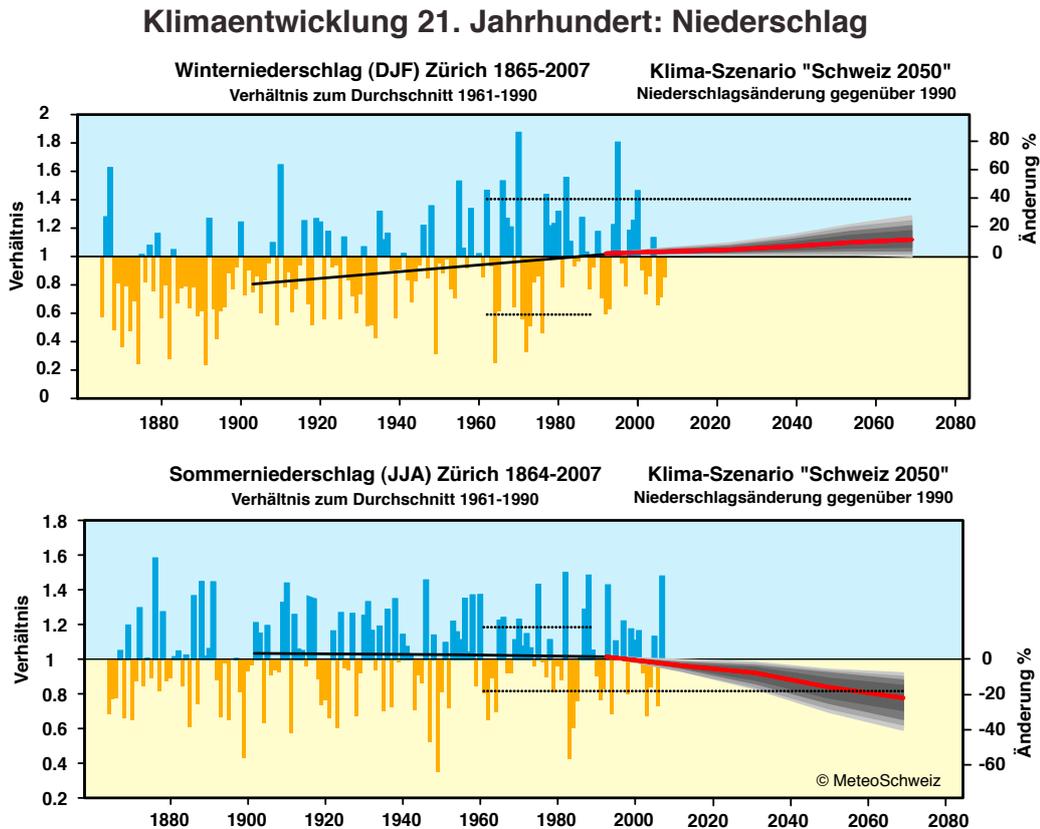
in der Schweiz bis zum Jahr 2050 (OcCC/ProClim, 2007; Frei, 2006).

Abbildung 3 und 4 zeigen die erwarteten Veränderungen der mittleren Temperatur und des mittleren Niederschlags auf der Alpennordseite der Schweiz. Die künftigen Entwicklungen (graue Keile) sind für Winter (Dezember bis Februar) und Sommer (Juni bis August) getrennt dargestellt. (Änderung gegenüber dem Erwartungswert 1990, Skala rechts.) Der innere Bereich der Keile (dunkelgrau) zeigt wahrscheinlichere, der äussere Bereich (hellgrau) weniger wahrscheinliche Entwicklungen für den Fall, dass keine raschen Massnahmen zur Einschränkung von Treibhausgasemissionen umgesetzt werden. Die Breite der Keile bezeichnet den Bereich,

#### Klimaentwicklung 21. Jahrhundert: Temperaturen



**Abbildung 3:** Entwicklung der mittleren Temperatur im Winter (Dezember–Februar, oben) und im Sommer (Juni–August, unten). Blaue/rote Säulen: gemessene Temperaturen für den Zeitraum 1864–2007 (Station Zürich, Abweichungen in Grad von der Norm 1961–1990, Skala links). Graue Keile: erwartete zukünftige Änderung der mittleren Temperatur in der Nordschweiz bis 2070 (Änderung gegenüber dem Mittel 1980-1999 in Grad, Skala rechts). Dunkelgraue Bereiche bezeichnen wahrscheinlichere, hellgraue weniger wahrscheinliche Entwicklungen für den Fall, dass keine raschen Massnahmen zur Einschränkung von Treibhausgasemissionen umgesetzt werden (95% Unsicherheitsbereich). Gepunktete Linien: Bandbreite der Temperaturfluktuationen im heutigen Klima (+/- eine Standardabweichung) 1961–1990 (Quelle: MeteoSchweiz, 2008).



**Abbildung 4:** Entwicklung der mittleren Niederschläge 1864–2007 (gemessen) und bis 2070 (Klimaszenario). Die Elemente der Abbildung sind analog zu Abbildung 7. Die Messungen sind als Verhältnis gegenüber der Norm 1961–1990 (Skala links) angegeben, das Szenario als prozentuale Änderung gegenüber dem Mittel 1980–1999 (Skala rechts) (Quelle: MeteoSchweiz 2008).

der sich aus den Unsicherheiten über die zukünftigen Emissionen sowie die globale und regionale Klimasensitivität ergibt. Die natürlichen jährlichen Schwankungen sind im Keil nicht enthalten (Details siehe MeteoSchweiz, 2008.) Zum Vergleich sind die erwarteten Veränderungen der Zukunft mit der beobachteten Klimaentwicklung in Zürich seit Beginn der systematischen Messungen 1864 dargestellt (Begert et al., 2005).

Bis 2050 ist in der Schweiz mit einer Erwärmung von etwa 2 °C im Winter und 2,5 °C im Sommer zu rechnen. Die Unsicherheiten über diese Entwicklung sind aber relativ gross (siehe Unsicherheitsbereich in grau), da die künftigen Treibhausgasemissionen von wirtschaftlichen und technologischen Faktoren abhängen und das Wissen über die Reaktion des Klimasystems für kleine Gebiete wie die Schweiz eingeschränkt ist. Trotz der Unsicherheiten muss man davon ausgehen, dass die mittlere Temperatur den typischen Schwankungsbereich heutiger Temperaturen (gepunktete Linie: Standardabweichung 1961 bis 1990) im Laufe der nächsten Jahrzehnte verlässt. Beim mittleren Niederschlag wird

bis 2050 für die Schweiz mit einer Zunahme von etwa 8 Prozent im Winter und mit einer Abnahme von gut 15 Prozent im Sommer gerechnet. Die Szenarien zeigen – gemessen an den Unsicherheiten – keine grossen Unterschiede zwischen der Alpennord- und Alpensüdseite.

In der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts werden sich die beschriebenen Änderungen fortsetzen. Die Geschwindigkeit des Wandels hängt dann aber noch stärker von den Treibhausgasemissionen der kommenden Jahrzehnte ab. Bis 2100 muss, sofern die Treibhausgasemissionen nicht eingeschränkt werden, mit einer Zunahme der Sommertemperaturen um 3,5 bis 7 °C gegenüber dem Mittel 1980-1999 gerechnet werden. Eine Erwärmung um 4,5 °C würde bedeuten, dass jeder zweite Sommer die Marke des Hitzesommers 2003 erreichen oder übertreffen würde (Schär et al., 2004). Die mittleren Sommerniederschläge könnten bis 2100 um 30% abnehmen.

Die Klimaänderung wird sich auch auf die Häufigkeit von extremen Wetterereignissen auswirken. Ausmass und Charakter der

Änderungen werden je nach Ort und Art der Ereignisse unterschiedlich ausfallen. Quantitative Abschätzungen sind noch sehr unsicher. Der heutige Wissensstand legt nahe, dass Kältewellen und Frostperioden in der Schweiz seltener vorkommen werden, Hitzewellen und Sommertrockenheit dafür

häufiger. Starkniederschläge dürften in allen Jahreszeiten, ausser im Sommer, zunehmen (Beniston et al., 2007; Frei et al., 2006; Schär et al., 2004). Bei anderen Wetterextremen, wie Stürmen oder Hagel, ist der Einfluss der Klimaänderung noch nicht ausreichend verstanden.

### 3.3 Literatur

- Appenzeller, C., Begert, M., Zenklusen, E. and Scherrer, S. C., 2008: Monitoring climate at Jungfraujoeh in the high Swiss Alpine region. *Science of the Total Environment* 391, 262–268.
- Begert, M., Schlegel, T. and Kirchhofer, W., 2005: Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *Int. J. Climatol.*, 25, 65–80.
- Beniston, M. et al., 2007: Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections. *Clim. Change*, doi: 10.1007/s10584-006-9226-z.
- Frei, C., 2006: Die Klimazukunft der Schweiz – eine probabilistische Projektion. Bericht verfügbar unter [www.meteoschweiz.ch](http://www.meteoschweiz.ch).
- Frei, C., Schöll, R., Fukutome, S., Schmidli, J., Vidale, P.L., 2006: Future change of precipitation extremes in Europe: An intercomparison of scenarios from regional climate models. *J. Geophys. Res.*, 111, D06105, doi:10.1029/2005JD005965.
- IPCC, 2007: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Luterbacher, J., Liniger, M.A., Menzel, A., Estrella, N., Della-Marta, P.M., Pfister, C., Rutishauser, T. and Xoplaki, E., 2007: Exceptional European warmth of autumn 2006 and winter 2007: Historical context, the underlying dynamics, and its phenological impacts. *Geophys. Res. Lett.*, 34, L12704.
- MeteoSchweiz, 2008: Klimaszenarien für die Schweiz - Ein Statusbericht. Arbeitsberichte der MeteoSchweiz, Nr. 218. (erscheint voraussichtlich im August/September)
- North, N., Kljun, N., Kasser, F., Heldstab, J., Maibach, M., Reutimann, J. und Guyer, M., 2007.: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728, Bundesamt für Umwelt, Bern, 77 S.
- OcCC, 2007: Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft. ISBN 978-3-907630-26-6, OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques) and ProClim, Bern, Switzerland, 172 pp.
- Rebetez, M. and Reinhard, M., 2007: Monthly air temperature trends in Switzerland 1901-2000 and 1975-2004. *Theor. Appl. Climatol.*, DOI 10.1007/s00704-007-0296-2.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M. and Appenzeller, C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427, 332–336.
- Scherrer, S.C. and Appenzeller, C., 2004: Trends in Swiss Alpine snow days, the role of local- and large-scale climate variability. *Geophys. Res. Lett.*, 31, L13215.
- Scherrer, S.C., Appenzeller, C. and Liniger, M.A., 2006: Temperature trends in Switzerland and Europe: Implications for climate normals. *Int. J. Climatol.*, 26, 565–580.
- Schmidli, J., Schmutz, C., Frei, C., Wanner, H. and Schär, C., 2002: Mesoscale precipitation variability in the region of the European Alps during the 20th century. *Int. J. Climatol.*, 22, 1049–1074.
- Schmidli, J. and Frei, C., 2005: Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *Int. J. Climatol.* 25, 753–771
- Seiz, G. und Foppa, N., 2007: Nationales Klima-Beobachtungssystem (GCOS Schweiz), MeteoSchweiz, Zürich und ProClim, Bern
- Spreafico, M. und Weingartner, R., 2005: Hydrologie der Schweiz, Berichte des BWG, Serie Wasser, Nr. 7, Bern



## 4 Auch in der Schweiz wirkt sich der Klimawandel zunehmend aus

Andreas Fischlin<sup>1</sup> und Wilfried Haeberli<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Systemökologie, Departement Umweltwissenschaften, ETH Zürich

<sup>2</sup> Glaziologie, Geomorphodynamik & Geochronologie, Geographisches Institut, Universität Zürich

Im Folgenden werden die wichtigsten für die Schweiz relevanten Aussagen aus dem zweiten Teil des Vierten Wissensstandsberichts des IPCC (AR4) zusammengefasst. Dieser wurde durch die Arbeitsgruppe II des IPCC verfasst, die sich mit den Auswirkungen, Anpassungen und Verwundbarkeiten befasst (*IPCC, 2007a, AR4-WGII*). Die folgenden Ausführungen enthalten auch zusätzliche Informationen und neue, im AR4-WGII noch nicht enthaltene Literaturhinweise.

Kursive Seitenzahlen beziehen sich auf Stellen aus dem AR4-WGII (*IPCC, 2007a*), kursive Literaturzitate auf Arbeiten, auf die sich auch der AR4 abstützt oder ganzen Themenkapiteln aus dem AR4. Die Literaturhinweise wurden hauptsächlich bezüglich ihrer Relevanz für die Schweiz ausgewählt.

### 4.1 Die Klimaänderung wirkt sich auf alle Sektoren aus

Es gibt kaum einen Bereich, der nicht von den Auswirkungen des Klimawandels direkt oder indirekt betroffen ist. Zu den indirekten Auswirkungen auf die Schweiz sind insbesondere auch die Auswirkungen auf unsere Nachbarländer, auf Europa allgemein und schliesslich auf die ganze Welt zu zählen. Falls beispielsweise die Überflutung von Meeresküsten zu einer Welle von asylsuchenden Flüchtlingen führt, betrifft dies selbst ein Binnenland wie die Schweiz.

Unser heutiges Wissen über die Auswirkungen des Klimawandels stützt sich auf Messungen, Beobachtungen und Modellrechnungen zu vergangenen, gegenwärtigen und künftigen Klimaänderungen (s. Kasten 1). Alle Aussagen über die Zukunft, die mit Modellen abgeschätzt werden, basieren auf Annahmen, d.h. Szenarien über das künftige menschliche Verhalten. Dabei werden spekulative Aussagen über eine wahrscheinlich zu erwartende Zukunft möglichst vermieden. Stattdessen wird beschrieben, mit welchen Folgen gemäss heutigem Wissensstand im Falle einer bestimmten angenommenen Klimaänderung gerechnet werden muss. Der Verlauf eines künftigen, vom Menschen gemachten Klimawandels entzieht sich also weitgehend einer naturwissenschaftlichen Prognose. Glücklicherweise bedeutet dies auch, dass unser Schicksal noch über weite Strecken gestaltbar ist.

Wie Haldane meinte: «Wir können die

Zukunft nicht vorhersagen, aber wir können sie erfinden!»

#### Kasten 1: Methodische Ansätze zur Erfassung von Auswirkungen des Klimawandels

Für die Wissenschaft gibt es drei methodische Ansätze, um Zusammenhänge zwischen der Klimaänderung, deren Auswirkungen und dadurch ausgelösten Anpassungsprozessen zu erfassen:

- Erstens lassen sich durch Messungen und Beobachtungen die Auswirkungen der momentan ablaufenden Klimaänderung feststellen.
- Zweitens verfügen wir heute über eine Reihe ausgeklügelter Methoden wie zum Beispiel Baumring-, Pollen- und Isotopenanalysen, welche es uns ermöglichen, Rückschlüsse auf vergangene Klimaänderungen und die damaligen Veränderungen zu ziehen.
- Drittens lässt sich das Wissen, wie sich Klimaänderungen in der Vergangenheit auf Natur und Mensch auswirkten, in Modelle gießen. Mit Hilfe von Szenarien, Klimamodellen und Auswirkungsmodellen lassen sich dann die Folgen der künftigen Klimaänderung abschätzen.

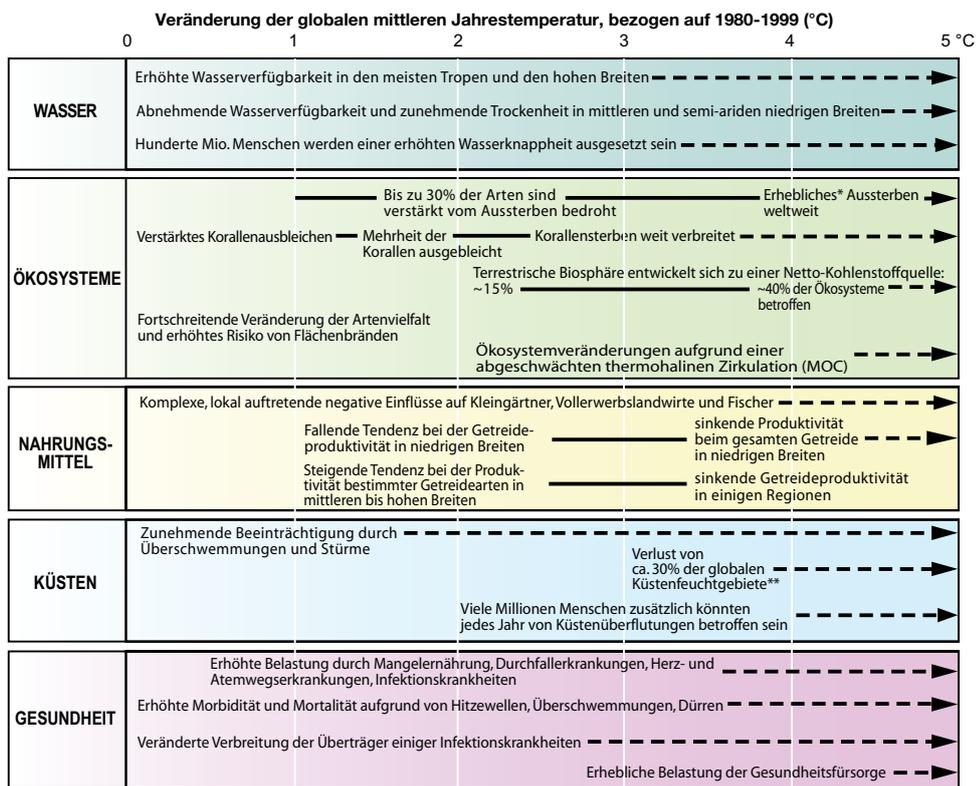
### 4.1.1 Schon beobachtete Auswirkungen

**Eine globale Bewertung der Daten seit 1970 hat gezeigt, dass es wahrscheinlich ist, dass die vom Menschen verursachte Erwärmung bereits einen erkennbaren Einfluss auf viele physikalische und biologische Systeme hatte. (IPCC, 2007b)**

Obwohl viele Auswirkungen der Klimaänderung erst verzögert auftreten, belegen eine Fülle von Untersuchungen, welche Auswirkungen der in den letzten Jahrzehnten stattgefundenen, noch relativ geringfügigen Klimawandel ausgelöst hat: 29'436 Datenreihen aus 577 Studien wurden dahingehend ausgewertet, ob die beobachteten Veränderungen seit 1970 mit den Effekten übereinstimmen, die man auf Grund der klimatischen Entwicklung, insbesondere

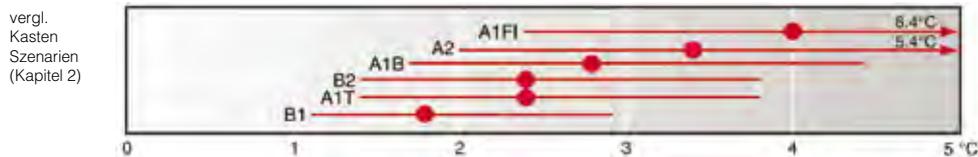
der Temperaturerhöhung, erwarten würde. 94 Prozent aller abiotischen Phänomene – worunter insbesondere auch Gletscher zu zählen sind – und 90 Prozent aller biologischen Datenreihen (zum Beispiel der Zeitpunkt des Blühens oder Erreichens pflanzlicher Reifestadien) zeigen eine entsprechende Übereinstimmung (Rosenzweig et al., 2007). Ein Teil dieser Untersuchungen stammt auch aus der Schweiz (s. Abschnitt 4.2 «Schnee, Eis und Permafrost im Hochgebirge» und

### Auswirkungen der Klimaänderung



\* Erheblich wird hier definiert als mehr als 40%.  
 \*\* Auf Basis der durchschnittlichen Rate des Meeresspiegelanstiegs von 4,2 mm/Jahr von 2000-2080.

**Je nach Emissionsszenario erwartete Veränderung der globalen mittleren Jahrestemperatur, bezogen auf 1980-1999 (°C)**



**Abbildung 1:** Zusammenhänge zwischen mittlerer Erderwärmung gegenüber heute als Indikator einer Klimaänderung und wichtigste zugehörige Folgewirkungen in verschiedenen Sektoren. Man beachte, dass hierbei keines der in der unteren Darstellung angegebenen IPCC SRES-Emissionsszenarien bevorzugt worden ist, sondern dass lediglich die Zusammenhänge zwischen mittlerer globaler Temperaturänderung und den Auswirkungen ohne Anpassung angegeben sind (aus IPCC, 2007c, Figure 3.6, S. 51).

4.3 «Landschaft, Land- und Forstwirtschaft»), jedoch weist der AR4-WGII die schweizerischen Datenreihen nicht einzeln aus. Aus umfangreichen regionalen Untersuchungen wissen wir jedoch, dass sich beispielsweise die Schwund- und Zerfallstendenz der alpinen Gletscher deutlich beschleunigt hat (S. 86, 551): Seit dem historischen Maximalstand um 1850 haben die Alpengletscher bis 1980 jährlich etwa 0,5 Prozent ihres Volumens verloren. Die Verluste stiegen zwischen 1980 und 2000 auf rund 1 Prozent pro Jahr an und sind inzwischen auf 2 bis 3 Prozent angewachsen. Im Extremsommer 2003 gingen geschätzte 8 Prozent (5 bis 10 Prozent) des Gletschereises in den Alpen verloren (Haerberli et al., 2007). Dabei verschwanden die Firngebiete von einzelnen kleineren und mittleren Gletschern. Die verbliebenen Eisoberflächen wurden durch Staubeintrag zusätzlich dunkel gefärbt. Wegen der damit verbundenen Reduktion des Rückstrahlungsvermögens sind die Schmelzprozesse nun gegenüber der Zeit vor 2003 verstärkt. Als im Extremsommer 2003 aus Felsklüften in vollständig ausgeaperten Felsflanken Wasser floss und sich immer wie-

der Felsstürze bei trockenstem Wetter ereigneten, wurde das Phänomen Permafrost und die damit verbundenen Stabilitätsprobleme im Hochgebirge für breite Kreise erkennbar (S. 86, 228, 551). Gemäss den europaweit beobachteten Bohrlochtemperaturen im Hochgebirgispermafrost sind die Bergflanken durch den atmosphärischen Temperaturanstieg des 20. Jahrhunderts bereits bis in eine Tiefe von rund 60 bis 70 Meter deutlich erwärmt (Harris et al., 2003).

Für die schweizerische Landwirtschaft bedeutungsvoll ist die Beobachtung, dass sich allein zwischen 1951 und 1998 die Vegetationsperiode signifikant um 2,7 Tage pro Jahrzehnt, also insgesamt um fast zwei Wochen, verlängert hat und dass sich bei vielen Pflanzen der Spross- und Blühzeitpunkt durchschnittlich um 11,5 Tage vorverschoben hat (S. 99-101). All diese Veränderungen, bei denen in den letzten Jahren eine Beschleunigung beobachtet werden kann, entsprechend übrigens in etwa dem europäischen Durchschnittstrend (S. 99, Table 1.7, S. 100, Table 1.8).

#### 4.1.2 Künftige Auswirkungen

**Genauere Informationen bezüglich der Art zukünftiger Auswirkungen sind nun für eine breite Palette von Systemen und Sektoren – einschliesslich einiger Bereiche, die in früheren Bewertungen nicht erfasst waren – verfügbar. Die Auswirkungen werden sich sehr wahrscheinlich durch geänderte Häufigkeiten und Intensitäten von extremen Wetter-, Klima- und Meeresspiegelereignissen, verändern. Einige grossskalige Klimaereignisse haben das Potential, sehr umfangreiche Auswirkungen zu verursachen, insbesondere nach dem 21. Jahrhundert. Die Auswirkungen der Klimaänderung werden regional unterschiedlich sein. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass sie – aggregiert und auf die Gegenwart diskontiert – jährliche Nettokosten verursachen, die sich mit zunehmendem globalem Temperaturanstieg im Verlauf der Zeit immer weiter erhöhen werden. (IPCC, 2007b)**

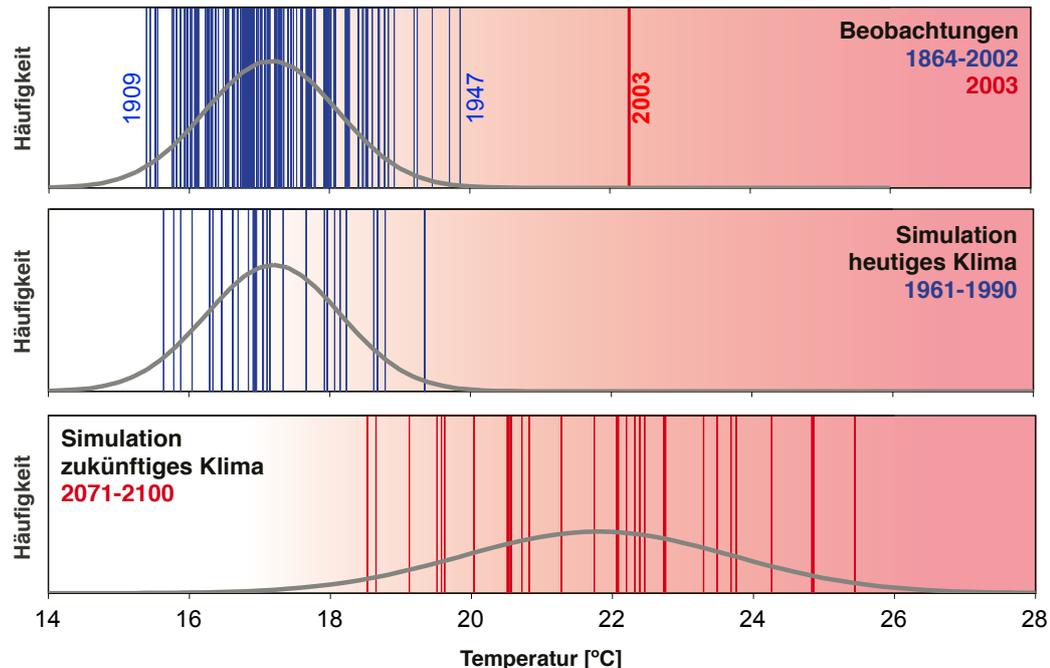
IPCC hat eine Reihe von möglichen Entwicklungen der menschlichen Gesellschaft in Form von detailliert festgelegten Szenarien entworfen (S. 133-171). Diese IPCC SRES-Szenarien beschreiben unter anderem denkbare, künftige Treibhausgasemissionen und unterscheiden sich deutlich bezüglich ihrer Klimawirkungen. Im AR4-WGII wurde erstmals eine grosse Zahl von Studien berücksichtigt, welche die Auswirkungen dieser Palette an Klimaänderungen, ungeachtet ob sie nun aus menschlicher Sicht eher als negativ oder positiv zu beurteilen sind, eingehend untersucht haben. Da sich kein bestimmtes Szenario gegenüber den anderen als wahrscheinlicher bevorzugen lässt, macht der

AR4-WGII wenig Aussagen über bestimmte, zu erwartende Auswirkungen. Stattdessen kommt er zu folgender Kernaussage: Je ausgeprägter die Klimaänderung, charakterisiert durch die globale mittlere Erwärmung, desto deutlicher überwiegen die negativen Auswirkungen die positiven (Abb. 1). Das gilt auch für die Schweiz. Allerdings ist interessant festzuhalten, dass bis etwa Mitte Jahrhundert nur geringe Unterschiede zwischen den verschiedenen Emissionsszenarien und demnach auch den Folgewirkungen auftreten. Gegen Ende des Jahrhunderts hingegen werden bedeutungsvolle Unterschiede sichtbar. Für das Szenario A2 ergibt sich gemäss Modellrechnungen (S. 52, Figure TS.13)

eine Schweiz, in der jeder zweite Sommer so heiss oder noch heisser ist als der Sommer 2003 (Abb. 2; S. 562, 845-849).

Ein solches Klima würde die Schweiz in praktisch allen Lebensbereichen empfindlich treffen.

### Veränderung der Sommertemperaturen



**Abbildung 2:** Oben: Beobachtete mittlere Sommertemperaturen (JJA) im schweizerischen Mittelland. Mitte/unten: Klimamodellrechnungen, d.h. Nachrechnung für vergangenes Klima (Mitte) sowie Projektionen für zukünftiges Klima gemäss IPCC SRES A2-Szenario (unten). Die Temperaturen vom Sommer 2003 erscheinen gegenüber dem bisherigen Klima extrem (oben), werden gemäss den Szenarioannahmen jedoch zum Normalfall (unten - nach S. 52, Figur TS.13, Schär et al., 2004).

## 4.2 Schnee, Eis und Permafrost im Hochgebirge

**Die Ausdehnung von Schnee und Eis in polaren Regionen und Hochgebirgen nimmt ab. Für die Schweiz zunehmend relevante Konsequenzen haben die früher einsetzende Schneeschmelze, der Gletscherschwund, die Erwärmung des Permafrosts in Steilflanken und der reduzierte Schmelzwasserabfluss im Sommer.**

Schnee und Eis in polaren Regionen und Hochgebirgen gehen generell zurück (Lemke et al., 2007; vgl. dazu auch den umfangreichen kürzlich erschienenen Bericht der UNEP, 2007). Die Auswirkungen auf Mensch und Umwelt sind bereits erkennbar. Für die Schweiz besonders relevante Konsequenzen haben die früher einsetzende Schneeschmelze, der Gletscherschwund, die Erwärmung des Permafrosts in Steilflanken und der reduzierte Schmelzwasserabfluss im Sommer. Der Schnee beeinflusst den Energieaustausch zwischen der Atmosphäre und der Erdoberfläche, wird jedoch durch kurzfristige Wetterabläufe gesteuert und bleibt deshalb eine schwer fassbare Komponente. Die Unsicherheit bezüglich

der künftigen Schneedecke erschwert es auch, die Entwicklung der Gletscher und des Permafrosts abzuschätzen. Der kombinierte Einsatz von Satellitenbildern, digitaler Geländeinformation, numerischen Modellen und gezieltem Monitoring erlaubt aber immer zuverlässigere Interpretationen und Abschätzungen.

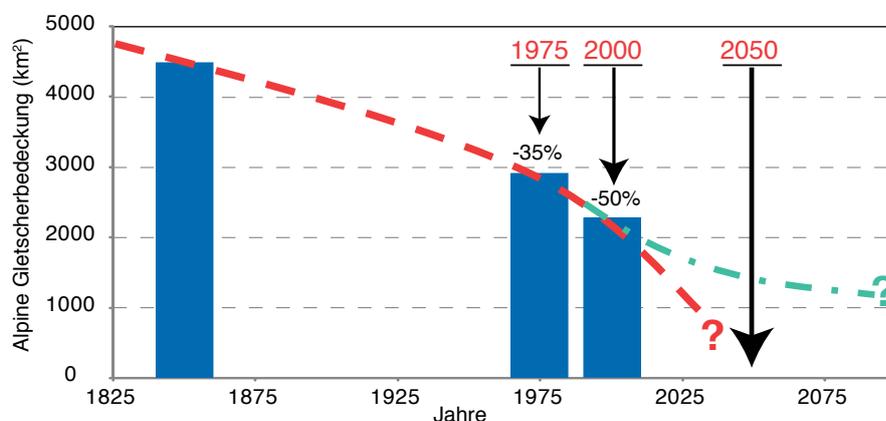
Die Modellrechnungen lassen keinen Zweifel, dass ein grosser Teil der alpinen Gletscherfläche (ca. 75 Prozent) bereits bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts verschwinden könnte (Zemp et al., 2006). Selbst in optimistischen Szenarien ist wohl kaum mehr als die Hälfte des jetzt noch existierenden Gletschervolumens zu retten (Abb. 3).

Permafrostmodelle für die komplexe Topographie von Alpengipfeln zeigen die Besonderheit der Prozesse im Gebirge: Die obersten Teile der Berge sind vom geothermischen Wärmestrom weitgehend abgekoppelt und die Wärme aus der Atmosphäre kann von mehreren Seiten eindringen. Im Gegensatz zu den Gletschern verschwindet der Permafrost nur sehr langsam. Durch die allmähliche Erwärmung wird die Stabilität gefrorener Steiflanken jedoch zunehmend und langfristig in kritischer Weise gefährdet (Gruber & Haeberli, 2007). Dies betrifft zunächst die unteren, später auch die höher gelegenen Steiflanken. Für gefrorene Schutthalden und Moränen geringerer Neigung spielt die Schneedecke mit ihrer

Isolationswirkung gegen die Winterkälte eine entscheidende Rolle: Die Entwicklung ist in solchen Lagen weit weniger eindeutig, da die letzten Winter eher schneearm und für den Untergrund – trotz hoher Lufttemperaturen – relativ kalt waren. Fallen jedoch dort die durch den Klimawandel erwarteten, stärkeren Winterniederschläge in Form von Schnee, so wirkt sich dies auf den Permafrost wiederum eher ungünstig aus.

Über die Konsequenzen all dieser Entwicklungen gibt es wenig Zweifel (Haeberli & Hohmann, 2008): Mit dem Zerfall der Gletscher verändert sich das Landschaftsbild des Hochgebirges und mit den «leuchtenden» Firnen verschwindet mehr und mehr ein auch emotional stark belegtes Symbol

### Flächenveränderung der Alpengletscher



**Abbildung 3:** Tschervagletscher mit Moränen des 19. Jahrhunderts („Kleine Eiszeit“) und die Zukunft der Alpengletscher: Die Entwicklung der geschätzten Gesamtflächen der Alpengletscher deutet darauf hin, dass der Schmelzprozess bereits stark beschleunigt in Gang ist und innerhalb der ersten Jahrzehnte des 21. Jahrhunderts in entscheidendem Mass und für lange Zeit irreversibel ablaufen könnte. Daten und Extrapolationen nach Zemp et al. (2006) und Haeberli et al. (2007).

für eine intakte Umwelt. Zusammen mit der verfrühten Schneeschmelze wird die auf die Dauer versiegende Gletscherschmelze die Wassermenge der Alpenflüsse in trockenen Sommern massiv verringern. Mit dem Rückzug der grossen Talgletscher und der tiefgreifenden Erwärmung von gefrorenen Bergflanken werden grosse Felsstürze immer wahrscheinlicher. Schon heute ereignen sich aus Permafrostflanken im Alpenraum alle paar Jahre Felsstürze mit Volumen von über einer Million Kubikmeter und Sturzbahnen, die weit unter die Waldgrenze reichen. Besonders gefährlich könnten solche Ereignisse im Zusammenhang mit künstlichen und natürlichen Seen werden. Neue Seen entstehen schon jetzt oder in naher

Zukunft bei verschiedenen Gletschern (zum Beispiel beim Trift-, Grindelwald-, Rhone-, Aletsch-, Plaine-Morte- und Gornergletscher). Seit der Mattmarkkatastrophe von 1965 wurden in der Schweiz dank jahrelangen systematischen Forschungsanstrengungen modernste und zukunftsorientierte Konzepte und Technologien für die Behandlung der entsprechenden Naturgefahren entwickelt (S. 86). Im Bereich Permafrost wurde ein Computermodell (1:50'000) für die Permafrostverbreitung in den Schweizer Alpen erstellt und das Langfristmessnetz PERMOS eingerichtet. Das Gletschermessnetz wird zurzeit ausgebaut, um die modernen Schlüsseltechnologien der Satellitenbeobachtung und der Geoinformatik zu integrieren.

### 4.3 Landschaft, Land- und Forstwirtschaft

**Die Klimaerwärmung wird «Wanderungen» vieler Pflanzen und Tiere auslösen. Damit verbunden ist eine tiefgreifende Veränderung der Fauna und Flora. Vertraute Landschaften werden verschwinden und neuen, für die Schweiz fremdartigen, Platz machen.**

Temperatur und Niederschläge haben die Landschaften der Schweiz schon immer geformt. Sie werden dies trotz den starken menschlichen Eingriffen in das Landschaftsbild auch in Zukunft entscheidend prägen. Die Erwärmung wird einerseits «Wanderungen» vieler Pflanzen und Tiere in bergige Höhen auslösen (z.B. Pauli et al., 2007). Doch reagieren viele Organismen verschieden auf dieselben Klimaänderungen. Damit dürften sich tiefgreifende Veränderungen in der Zusammensetzung der Vegetation und damit verknüpft in der Tierwelt ergeben (z.B. Fischlin et al., 2007). Vertraute Gebirgslandschaften werden verschwinden, da auf den höchsten Berggipfeln die Lebensräume eng werden und teilweise ganz verschwinden. Neue Landschaften werden entstehen (S. 232), welche für die Schweiz fremdartig sind. Modellrechnungen zeigen, dass beispielsweise die subalpinen Lärchenarvenwälder in den Alpen ihren Lebensraum verlieren, wenn der Klimawandel nicht entscheidend abgebremsert wird (Fischlin & Gyalistras, 1997). Auch die Artenvielfalt, die im Verlaufe des letzten Jahrhunderts in den Bergregionen ein besonderes Refugium gefunden hat, dürfte stark betroffen sein: Quantitative erste Abschätzungen für den europäischen Alpenraum beziffern ein erhöhtes Aussterberisiko für Pflanzen von bis zu 60 Prozent bei ungebremstem Klimawandel (S. 543, 551). Ein tiefgreifender Wandel der

Vegetation verändert jedoch nicht bloss das Landschaftsbild, sondern beeinflusst auch die hydrologischen Verhältnisse (S. 182, 183, 228, 232, 550, 556) – mit allen Konsequenzen für Hangstabilität, Wasserverfügbarkeit und Abfluss.

Die schweizerische Landwirtschaft wird vorerst von erhöhter Produktivität profitieren (Easterling et al., 2007), obwohl in benachbarten Mittelmeerländern wie Frankreich und Italien die Produktivität schon jetzt am Sinken ist. Langandauernde Trockenheit führt allgemein zu reduzierter Produktivität (Fischlin et al., 2007) und damit zu Ertragseinbussen. Im Hitzesommer 2003 ergaben sich beträchtliche Ertragsverluste: In Italien wurde 36 Prozent weniger Mais geerntet, Frankreich verzeichnete beim Ackerbau einen Rückgang von 30 Prozent und beim Obstbau einen Ausfall von 25 Prozent. Auch die Weinerträge waren auf einem Jahrzehntetief. Insgesamt beliefen sich die Verluste auf 13 Milliarden Euro (S. 277, Box 5.1). Künstliche Bewässerung wird vorerst helfen, diesen Trends entgegenzuwirken. Bei ungebremstem Klimawandel wird jedoch auch in der Schweiz die landwirtschaftliche Produktion langfristig beeinträchtigt sein, insbesondere wenn infolge früherer Schneeschmelze und schwindender Gletscher (Abb. 3) das verfügbare Wasser während der Vegetationsperiode knapp wird (z.B. S. 217, 228, 846). Auch die erhöhte Variabilität (Abb. 2)

wird die schweizerischen Landwirte vor besondere Herausforderungen stellen und die Ertragssicherheit gefährden.

Ähnliches dürfte für die Forstwirtschaft gelten: Zunächst dürfte sich die zu erwartende Klimaänderung besonders im Gebirge produktivitätssteigernd auswirken. Bei raschem Klimawandel wird sich jedoch auch hier das Blatt wenden. Zudem dürften nicht nur die tiefgreifenden Änderungen in der Zusammensetzung unserer Wälder, sondern die in vielen südlichen Ländern sich abzeich-

nende zunehmende Feuerhäufigkeit (*Alcamo et al., 2007*) auch für die Schweiz bedeutungsvoll werden (S. 217, 552). Auch bestimmte wärme- und trockenheitsliebende Insekten, wie zum Beispiel der Borkenkäfer, dürften unseren Wäldern zunehmend zu schaffen machen. Inwiefern Schutzwälder unter diesen Umständen ihre Schutzfunktion – insbesondere im Gebirge – noch wahrnehmen können, ist kaum untersucht und muss deshalb als ungewiss eingestuft werden.

#### 4.4 Tourismus und Infrastrukturen

**Die Abnahme der Schneebedeckung wird negative Auswirkungen für den Wintertourismus, speziell für die tiefer liegenden Stationen haben. Eine Diversifizierung des Angebotes wird immer wichtiger. Infrastrukturanlagen im Berggebiet werden zunehmend durch Extremereignisse (Murgänge, Überschwemmungen) gefährdet.**

Die durchschnittliche Schneebedeckung hat in der Schweiz in der Periode von 1975 bis 1999 oberhalb 440 Meter um 50 Prozent, oberhalb 2200 Meter um 15 Prozent abgenommen (S. 56, 86). Insbesondere zu Beginn und am Ende der

Wintersportsaison sind gewichtige Störungen der Schneesicherheit zu erwarten (S. 111, 368, 557). Ohne Niederschlagsänderungen würde sich zum Beispiel bei einer Erhöhung der minimalen Wintertemperatur um 2 °C die



**Abbildung 4:** Auch die zunehmende Ausaperung im Sommer stellt die Tourismusbranche vor Probleme technischer und betrieblicher Art. Zudem nimmt mit dem Gletscherschwund auch die Attraktivität der Hochgebirgslandschaft ab. Künstliche Gletscherabdeckung am Gurschenfirn (Gemsstock) zur Reduktion der Schmelze auf der Skipistenzufahrt auf den Gletscher (Andermatt, Kt. Uri). (Foto: Max Maisch, 2006)

Schneebedeckungsdauer auf dem Säntis (2500 Meter) um 50 Tage, bei Annahme einer Niederschlagserhöhung um 50 Prozent und gleicher Erwärmung um 30 Tage verkürzen (S. 557). Im Nachbarland Österreich ergibt sich in empfindlichen Höhenlagen (600 Meter im Winter, 1400 Meter im Frühling) eine Verkürzung der Skisportsaison um 4 Wochen während der Hochsaison und um 6 Wochen im Frühjahr pro Grad Erwärmung (S. 551). Dies bedeutet eine Abnahme der Schneesicherheit, steigt doch die durchschnittliche Schnellfallgrenze pro Grad Erwärmung um etwa 100 bis 150 Meter. Im europäischen Vergleich zeigt sich, dass die Schweiz mit den höher gelegenen Skigebieten einen Konkurrenzvorteil hat. Trotz relativer Schneesicherheit in den Skigebieten wird sich die fehlende Winteratmosphäre im Unterland und in den Ferienorten aller Voraussicht nach jedoch negativ auf den Wintersport auswirken (Abegg et al., 2007).

Auch Extremereignisse dürften für die ansässige Bevölkerung wie auch für den Tourismus von Bedeutung sein: Infolge zunehmender Sommertemperaturen taut der Permafrost auf, was zu häufigerem Steinschlag und vermehrter Felssturzaktivität im Hochgebirge führt (S. 86, Table 1.2). Auch Versicherungsfragen dürften in dieser Beziehung bedeutungsvoll sein. Die Kosten eines 1000-Jahr-Ereignisses sind typischerweise weit höher (zum Beispiel das 2,5-fache) als diejenigen eines 100-Jahr-Ereignisses. Bei Sturmböen zeigt sich, dass Versicherungsschäden mit der dritten Potenz

der maximalen Windgeschwindigkeit zunehmen (S. 557).

Den veränderten klimatischen Bedingungen wird sich der Wintersport in der Schweiz, aber auch in Österreich, Frankreich und Italien vorerst durch Verlagerung in höhere Zonen, vermehrten Einsatz von Schneekanonen, aufwendige Skipistenpflege und die Abdeckung von Eisflächen mit Planen, die das Sonnenlicht reflektieren, solange als möglich anzupassen versuchen (S. 722). Bei ungebremstem Klimawandel werden jedoch all diese Massnahmen nur vorübergehend Linderung verschaffen. Zudem ist speziell im Sommer zu berücksichtigen, dass die alpine Landschaft durch den Gletscherrückzug an Attraktivität verliert (Abb. 4). Eine Diversifizierung der Tourismusbranche auf neue Bereiche wird insbesondere in den tiefer gelegenen Höhenlagen unvermeidlich werden (S. 722). Diese Diversifizierung wird bereits mittelfristig notwendig werden, wie Studien für den Schweizer Tourismus im Jahr 2030 zeigen (Müller & Weber, 2008). Um die Sicherheit der Menschen in den Bergen zu gewährleisten, werden auch erhebliche Investitionen zum Schutz vor Extremereignissen unausweichlich. Diese sollen die Bewohner vor vermehrten Starkniederschlägen, auftauendem Permafrost, schwindenden Gletschern und dadurch beweglich werdendem Schuttmaterial, Lawinen, Murgängen (wie etwa in Pontresina), Wildbächen und Hochwasser schützen (S. 721).

## 4.5 Ausgewählte Wirtschaftszweige

**Die Erwärmung und insbesondere das veränderte Niederschlagsregime werden Auswirkungen auf die meisten Wirtschaftszweige haben. Es werden zunehmend teilweise tiefgreifende Anpassungen in vielen Bereichen erforderlich sein, etwa bei der Energieproduktion oder bei Gebäuden und Infrastrukturanlagen.**

Niedriger Wasserstand in den Flüssen und erhöhte Wassertemperaturen bedeuten, dass Laufkraftwerke oder auf Kühlwasser angewiesene thermische Kraftwerke weniger Strom produzieren können (S. 556, 561). Im Sommer 2003 mussten beispielsweise europaweit sechs Kraftwerke gänzlich abgeschaltet werden und die Stromproduktion in unserem Nachbarstaat Frankreich war um 30 Prozent reduziert (S. 362, 846). Auch das flussgekühlte Kernkraftwerk Beznau erlitt Produktionseinbussen.

Positiv wirkt sich hingegen der sinkende Energiebedarf für Gebäudeheizungen im Winter aus: In der Schweiz dürfte sich der

Energiebedarf bis ins Jahr 2100 um bis zu 40 Prozent reduzieren (S. 556). Der steigende Kühlbedarf im Sommer ändert an diesem positiven Effekt grundsätzlich nichts (OcCC, 2007).

Durch die Zunahme von Extremereignissen werden Schäden an Infrastrukturen und Gebäuden wahrscheinlicher. Dies erfordert Anpassungen in der Versicherungsbranche und in der Bauwirtschaft (OcCC, 2007). Anpassungen werden auch für alle durch den Klimawandel direkt betroffenen Infrastrukturen, wie z.B. vom Permafrost abhängende Bauten oder durch erhöhte Niederschläge tangierte bauliche Einrichtungen, erforderlich sein.

## 4.6 Menschliche Gesundheit

**Die Klimaänderung droht die menschliche Gesundheit von Millionen von Menschen indirekt durch zunehmende Unterernährung und Mangel an sauberem Wasser sowie durch die Zunahme von Hitzewellen und Extremereignissen zu beeinträchtigen. Dies trifft vor allem auf Menschen mit geringen Anpassungsmöglichkeiten wie Kinder und ältere Menschen zu. Veränderungen in der Verbreitung von krankheitsübertragenden Lebewesen (Mücken, Zecken) führen ebenfalls zu Gesundheitsproblemen.**

Der Klimawandel wird sich auch auf die menschliche Gesundheit auswirken. Weit herum bekannt sind die Auswirkungen der Hitzewelle 2003, die in Europa zu mindestens 35'000 zusätzlichen Todesfällen geführt hat (S. 557). Auch in der Schweiz erhöhte sich die Mortalität um 7 Prozent infolge des Hitzesommers 2003 (S. 397, Table 8.1, S. 847). Auch Extremereignisse wie Überschwemmungen (Abb. 5), Feuer, Hitzewellen und – mit ungewisserem Zusammenhang – Orkane, können die Gesundheit der betroffenen Menschen beeinträchtigen (S. 12). Natürlich lassen sich in Zukunft durch Anpassung der Infrastruktur und verändertem Verhalten derartige Krisen nach und nach besser meistern. Es ist zu hoffen, dass die Zahl an «unnötigen» Todesfällen in Zukunft reduziert werden kann. Ein wärmeres Klima führt glücklicherweise auch zu weniger Todesfällen durch Kälte. Mit Ausnahme von Ländern, die den Umgang mit Kälte wenig gewohnt sind oder die aus sozio-ökonomischen

Gründen ihre Bevölkerung ungenügend vor Kälte schützen können, ergibt sich dadurch jedoch keine positive Bilanz (Confalonieri et al., 2007).

Ein wärmeres Klima kann aber auch indirekte Folgen für die menschliche Gesundheit haben. Insbesondere wird die Ausbreitung von Krankheiten und krankheitsübertragenden Lebewesen wie Mücken oder Zecken durch die Klimaänderung beeinflusst. Eine gezielte Gesundheitsvorsorge sollte insbesondere in der Schweiz grössere negative Folgen vermeiden können. Dennoch darf nicht vergessen werden, dass ausserhalb der reichen Industrieländer die gesundheitlichen Folgen durch den Klimawandel im AR4-WGII insgesamt als äusserst negativ und mit zunehmender Erwärmung als höchst besorgniserregend eingestuft werden (S. 393). Dies wird auch indirekte Folgen für die Schweiz haben. Aus humanitärer und ethischer Sicht haben die reicheren Industrieländer, darunter auch die Schweiz, eine besondere Verantwortung.



**Abbildung 5:** Extremereignisse verursachen nicht nur hohe Sachschäden, sie stellen auch eine Gefährdung für die menschliche Gesundheit dar, insbesondere wenn die Auswirkungen überraschend eintreffen. (Photo: Matte, Bern, C. Kull, 2005)

## 4.7 Schlussfolgerungen

Obwohl der AR4-WGII nur beschränkt spezifische Aussagen über die Schweiz machen kann, ergibt sich dennoch ein deutliches Bild: Die Schweiz bleibt keineswegs von den Auswirkungen des Klimawandels verschont. Was global gilt, trifft gemäss heutigem Wissensstand auch auf die Schweiz zu: Je wärmer es wird, desto stärker dominieren die negativen Konsequenzen. In gewissen Belangen scheint die Schweiz nicht empfindlicher als die Nachbarstaaten und das übrige Europa zu sein. Teilweise (zum Beispiel Sommertourismus, ausreichende Winterniederschläge), hat die Schweiz aufgrund der Höhenlage sogar einen Konkurrenzvorteil. Trotzdem sieht sie sich als Alpenland besonderen Herausforderungen gegenüber. Neben den offensichtlichen Auswirkungen auf Tourismus, Wasser-, Land-, Forst- und Energiewirtschaft dürfen die durch die Klimaänderung ausgelösten langwierigen Anpassungsprozesse nicht vergessen werden. Letztere bringen eine langandauernde Phase der Instabilität mit sich, die besonders in Bergregionen zu vermehrten Naturkatastrophen führen wird. Dies wird grosse, teure und langfristig auszurichtende Investitionen in die Infrastruktur erfordern. Dazu gehören etwa wasserbauliche Massnahmen, wasserregulierende Ersatzanlagen für die Gletscher, der Bau von neuen Kraftwerken oder hangstabilisierende Massnahmen. Auch im land- und forstwirtschaftlichen Sektor und bei vielen anderen Infrastrukturanlagen (Gebäudepark, Transportwesen, Energieversorgung, Katastrophenmanagement) sind Investitionen nötig. Zudem darf nicht vergessen gehen, dass die Schweiz nicht alleine betroffen ist: Als kleines Land ohne grössere natürliche Ressourcen ist die Schweiz auch indirekt vom globalen Klimawandel betroffen.

Unser Land ist demnach auf einen wirksamen Klimaschutz angewiesen, obwohl es diesen natürlich alleine nicht bewerkstelligen kann und hierbei auf die Mitarbeit der ganzen Welt angewiesen ist. In diesem Zusammenhang es ist wichtig zu sehen, dass die Auswirkungen der Klimaänderung nicht ohne Rückwirkungen auf das Klima verstanden werden dürfen. Der AR4-WGII macht klar, dass ab einem gewissen Mass der Erwärmung besondere Risiken für Folgewirkungen bestehen, insbesondere dann, wenn sie beschleunigende Rückwirkungen auf das Klima ausüben. Positive Rückkopplungen sind beispielsweise die nachlassende Senkenfunktion der

Wälder oder der Ozeane. Auch hier zeigt sich, dass das Risiko für das Auftreten sich selbst verstärkender Mechanismen mit zunehmenden Temperaturen steigt. Versuche, derartige Risiken quantitativ abzuschätzen, ergaben, dass sich schon ab einer globalen mittleren Erwärmung von 2,5 °C ein erhebliches Risiko abzeichnet, dass die Landökosysteme zu einer CO<sub>2</sub>-Nettoquelle werden (S. 11, 213, 240, Figure 4.4, S. 242, Table 4.1).

Ein gewisser Klimawandel ist bereits unumgänglich geworden (vergl. Kapitel 3.1). Dies betrifft die Schweiz ebenfalls besonders, zeigte sich doch bislang, dass die mittlere Erwärmung in der Schweiz etwa doppelt so stark ausfällt wie im globalen Mittel. Es liegt deshalb im ureigensten Interesse der Schweiz, sich nicht nur an den Klimawandel anzupassen, sondern als Doppelstrategie auch einen wirksamen Klimaschutz zu verfolgen, um sich vor den direkten wie auch den indirekten, vorwiegend negativen Folgen des Klimawandels zu schützen. Damit können die Aufwendungen für die Anpassung an die veränderten Verhältnisse begrenzt und die fatalen Auswirkungen eines drastischen Klimawandels vermieden werden. Nicht zuletzt gilt es in diesem Zusammenhang zu beachten, dass die Wissenschaft umso weniger über die Auswirkungen weiss, je weiter wir uns vom relativ gut untersuchten, uns vertrauten, über Jahrhunderte sich nur unmerklich ändernden Klima entfernen werden. Dies gilt insbesondere für die selbstbeschleunigenden Effekte. Viel empirisches Wissen, von dem unsere heutige Gesellschaft in vielen Sektoren, z.B. der Land- und Forstwirtschaft oder dem Tourismus, entscheidend profitiert, droht verloren zu gehen. Inwiefern hier Wissenschaft und Bildung bei einem sich rasch ändernden Klima schnell genug das erforderliche Ersatzwissen schaffen können, ist keinesfalls klar. Klar ist hingegen, dass unser heutiges Verständnis, wie das globale Klimasystem funktioniert, solide geworden ist. In Anbetracht dessen muss das verbleibende Nichtwissen eher als zusätzliches Risiko denn als Rechtfertigung für Nichthandeln eingestuft werden.

## 4.8 Literatur

- Abegg, B., Agrawala, S., Crick, F. and De Montfalcon, A., 2007: Climate change impacts and adaptation in winter tourism. In: Agrawala, S. (ed.), *Climate change in the European Alps: adapting winter tourism and natural hazards management*. OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, pp. 25-60.
- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E. and Shvidenko, A., 2007: Europe. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 541–580.
- Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B. and Woodward, A., 2007: Human health. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 391–431.
- Easterling, W.E., Aggarwal, P.K., Batima, P., Brander, K.M., Erda, L., Howden, S.M., Kirilenko, A., Morton, J., Soussana, J.F., Schmidhuber, J. and Tubiello, F.N., 2007: Food, fibre and forest products. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 273–313.
- Fischlin, A. and Gyalistras, D., 1997: Assessing impacts of climatic change on forests in the Alps. *Global Ecol. Biogeogr. Lett.*, 6(1): 19–37.
- Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J.T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D.A., Dube, O.P., Tarazona, J. and Velichko, A.A., 2007: Ecosystems, their properties, goods and services. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 211–272.
- Gruber, S. and Haeberli, W., 2007: Permafrost in steep bedrock slopes and its temperature-related destabilization following climate change. *J. Geophys. Res. F*, 112(F2): F02S18., doi: 10.1029/2006jf000547.
- Haeberli, W., Hoelzle, M., Paul, F. and Zemp, M., 2007: Integrated monitoring of mountain glaciers as key indicators of global climate change: the European Alps. *Ann. Glaciol.*, 46: 150–160.
- Harris, C., Vonder Mühll, D., Isaksen, K., Haeberli, W., Sollid, J.L., King, L., Holmlund, P., Dramis, F., Guglielmin, M. and Palacios, D., 2003: Warming permafrost in European mountains. *Global Planet. Change*, 39(3–4): 215–225.
- IPCC, 2007a.: *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. vii, 973.
- IPCC, 2007b: Summary for policymakers. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson, C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 7–22.
- IPCC, 2007c: Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. & Meyer, L.A. (eds.) Cambridge University Press, Cambridge, UK, p. 52.
- Lehmke, P., Ren, J., Alley, R.B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P., Thomas, R.H. and Zhang, T., 2007: Observations: changes in snow, ice and frozen ground. In: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (eds.), *Climate change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 337–383.
- Müller, H. and Weber, F., 2008: 2030: Der Schweizer Tourismus im Klimawandel. Schweiz Tourismus, Zürich.
- OcCC, 2007: *Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft*. ISBN 978-3-907630-26-6, OcCC (Organe consultatif sur les changements climatiques) and ProClim, Bern, Switzerland, 172 pp.
- Pauli, H., Gottfried, M., Reiter, K., Klettner, C. and Grabherr, G., 2007: Signals of range expansions and contractions of vascular plants in the high Alps: observations (1994–2004) at the GLORIA\* master site Schrankogel, Tyrol, Austria. *Global Change Biol.*, 13(1): 147–156.
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B. and Tryjanowski, P., 2007: Assessment of observed changes and responses in natural and managed systems. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., van der Linden, P.J. & Hanson,

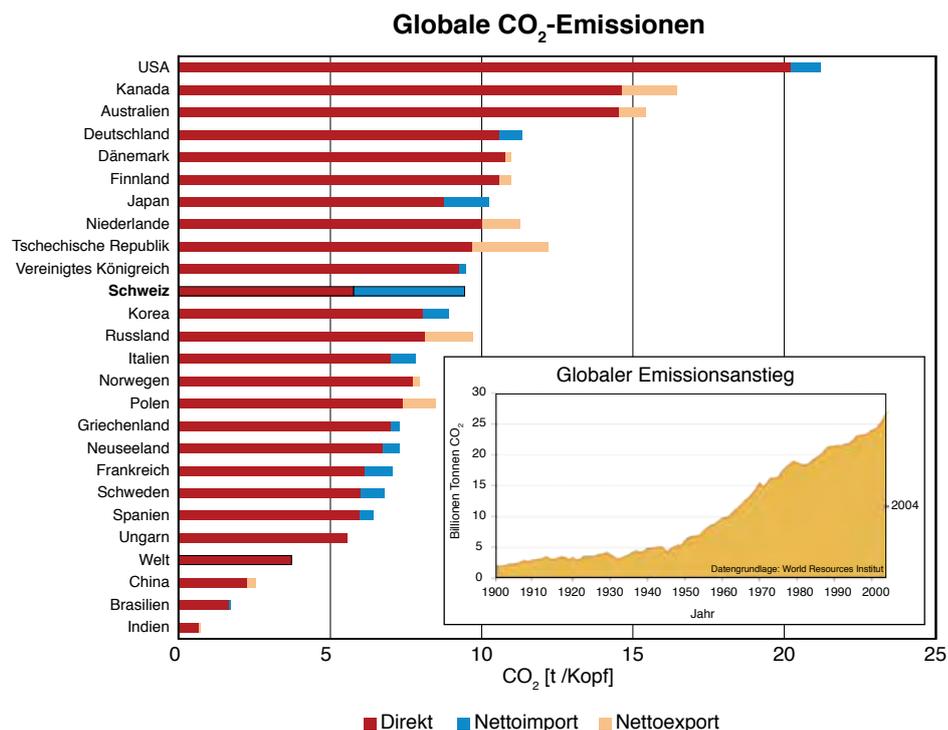
- C.E. (eds.), *Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 79–131.
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A. and Appenzeller, C., 2004: The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427(6972): 332-336.
- UNEP, 2007: *Global outlook for ice and snow*. UNEP Job No: DEW/0924/NA, ISBN 978-92-807-2799-9, Division of Early Warning and Assessment (DEWA), United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 238 pp.
- Zemp, M., Haeberli, W., Hoelzle, M. and Paul, F., 2006: Alpine glaciers to disappear within decades? *Geophys. Res. Lett.*, 33(13): L13504, doi:10.1029/2006GL026319.

## 5 Verminderung des Klimawandels

Lucas Bretschger, Hannes Egli, Therese Werner

CER-ETH Center of Economic Research at ETH Zürich

Der dritte Teil des 4. Wissenstandsberichts des IPCC (AR4) befasst sich mit den Potentialen und den Kosten der Abschwächung des Klimawandels. Studien mit unterschiedlicher Methodik kommen zum Schluss, dass es bei höheren Preisen für CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. CO<sub>2</sub>-Äquivalente substanzielle ökonomische Potentiale zur Reduktion von Treibhausemissionen gibt. Dass diese bislang nicht genutzt wurden, belegt die massive globale Emissionszunahme (Abb. 1, innen). Im internationalen Vergleich steht die Schweiz im Mittelfeld der Industriestaaten (Abb. 1). Werden nur die inländisch verursachten Emissionen betrachtet, steht sie sogar gut da (wenig Industrie, keine fossilen Brennstoffkraftwerke). Unsere dienstleistungsorientierte Wirtschaft importiert jedoch einen beträchtlichen Anteil an Gütern. Die dabei verursachten Emissionen müssen im Länder- und Pro-Kopf-Vergleich korrekterweise berücksichtigt werden. Emissionsreduktionen sind zwingend und überall möglich. Das ökonomische Potential gibt die Reduktion von Treibhausgasen durch Marktprozesse und unterstützende Politikmassnahmen bei einem bestimmten CO<sub>2</sub>-Preis an. Die Kosten für die Reduktion werden für 2030 auf 0,2 bis 2,5 Prozent des Bruttoinlandsprodukts geschätzt.



**Abbildung 1:** Bis anhin ungebremster Anstieg der weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen (**innen**) und deren Verursacher (pro Kopf Emissionen, **aussen**). Die Schweiz liegt mit rund 10 t/Kopf (inkl. importierte Emissionen) im Mittelfeld. (Quelle: North et al., BAFU, 2007, World Resources Institute)

### 5.1 Reduktionspotentiale

**Weltweit besteht ein grosses Potential zur Reduktion des Treibhausgasausstosses. Um 2030 können Reduktionen von rund 30 bis 50 % erreicht werden.**

Tabelle 1 zeigt die Reduktionspotentiale im Jahr 2030 total und gegliedert nach den wichtigsten Sektoren. Gezeigt werden die Schätzungen (konservativ bzw. optimistisch) für Reduktionen

zu einem Preis unter 100 US-Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äquivalente bzw. deren Aufteilung auf verschiedene Kostenkategorien. Das weltweite Reduktionspotential liegt in einem Bereich von

**Tabelle 1:** Reduktionspotentiale im Jahr 2030 total und gegliedert nach den wichtigsten Sektoren.

Sektor	Reduktions- möglichkeit	Ökonomisches Potential <sup>1</sup> < 100 US\$/ CO <sub>2</sub> - Äqu./Jahr		Ökonomisches Potential <sup>1</sup> verschiedene Kostenkategorien <sup>2</sup>			
		konservativ	optimistisch	< 0	< 20	20 – 50	50 – 100
Energieversorgung	total <sup>2</sup>	2.4	4.7	1.9		1.4	0.35
Transport	total	1.6	2.5	0.35	1.4	0.15	0.15
Gebäude	Elektrizität	3.0	3.8	3.3	0.05	0.05	
	Brennstoffe	2.3	2.9	1.7	0.4	0.51	
	Total	5.4	6.7	5.0	0.5	0.6	
Industrie	Elektrizität	0.83		0.19	0.19	0.44	
	andere <sup>3</sup>	1.75	4.65	0.88	2.2	0.15	
	total	2.5	5.5	1.1	2.4	0.55	
Landwirtschaft	total	2.3	6.4	1.6	1.1	1.7	
Forstwirtschaft	total	1.3	4.2	0.15	1.1	0.9	0.65
Abfall	total	0.4	1.0	0.4	0.18	0.1	0.04
Alle Sektoren	total	15.8	31.1	6.1	7.4	6.0	4.5

<sup>1</sup> in Gt CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr<sup>2</sup> zwischen konservativ und optimistisch<sup>3</sup> exkl. Energieeinsparungen in anderen Sektoren<sup>4</sup> inkl. Nicht- CO<sub>2</sub>-THG-Einsparungen

16 bis 31 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr. Als Referenzgrösse dienen die geschätzten weltweiten Treibhausgas-Emissionen (ohne zusätzliche Reduktionsmassnahmen) im Jahre 2030. Je nach Szenario kann davon ausgegangen werden, dass diese 60 bis 90 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr betragen werden. Somit bewegt sich das Reduktionspotential in einem Bereich von 30 bis 50 Prozent. Bezüglich der regionalen Verteilung der Potentiale wird ausgesagt, dass – mit Ausnahme des Transportsektors – in den Nicht-OECD-Transformationsländern das grösste Reduktionspotential besteht.

### 5.1.1 Die Situation in der Schweiz

Die Schweiz weist im internationalen Vergleich des Energieverbrauchs bereits ein

hohes Effizienzniveau aus, verursacht allerdings sehr hohe Treibhausgasemissionen pro Kopf. Das Reduktionspotential der Emissionen bestimmt sich aus der Stringenz der politischen Vorgaben (vor allem Gebäudenormen, Verkehrsplanung, Energiepreise) sowie dem Tempo der Weiterentwicklung von führenden Technologien.

Der Bundesrat schlägt derzeit vor, die CO<sub>2</sub>-Abgabe auf alle klimawirksamen Gase auszuweiten und für die Treibhausgase einen Absenkpfad von jährlich 1,5 Prozent anzustreben. Damit würde die Schweiz 2020 eine Reduktion von 21 Prozent und 2050 eine solche von 50 Prozent erzielen.

## 5.2 Kosten

**Die Kosten zur Reduktion des weltweiten CO<sub>2</sub>-Ausstosses sind für die Weltwirtschaft tragbar und liegen deutlich unter den längerfristig durch einen ungebremsten Klimawandel verursachten Schadenskosten.**

Die Kosten der Klimapolitik hängen vor allem von der zu erreichenden Emissions-Zielgrösse und von den eingesetzten Massnahmen ab. Die Kosten der Eindämmung des Klimawandels können durch ein Portfolio von Politikinstrumenten wesentlich reduziert werden, insbesondere durch den Emissionshandel. Der durch die Politik induzierte technische Fortschritt hat einen wesentlichen Einfluss auf die Kostenseite. Es bestehen allerdings in diesem Bereich noch beträchtliche Wissenslücken. Eine weitere Unsicherheit besteht in Bezug auf das angemessene ökonomische Baseline-Szenario, da der ungebremste Klima-

wandel selbst auch beachtliche ökonomische Folgen hat. Die internationalen Verflechtungen spielen sowohl auf der Nutzenseite der Politik (Know-how- und Wissenstransfer) als auch auf der Kostenseite (regionale Auslagerung von verschmutzenden Aktivitäten) eine Rolle. Tabelle 2 zeigt die geschätzten jährlichen Kosten der Verminderung des Klimawandels gegenüber dem angenommenen Benchmark-Szenario im Verhältnis zum Bruttoinlandsprodukt (BIP).

### 5.2.1 Die Situation in der Schweiz

Die Kosten der Klimapolitik müssen in der

**Tabelle 2:** Geschätzte Kosten für CO<sub>2</sub>-Stabilisierung 2030 und 2050

	Stabilisierungsniveau (ppm CO <sub>2</sub> -Äqu.)	BIP-Reduktion		Reduktion des jährl. BIP- Wachstums (%)
		(Median, %)	(Spannweite, %)	
<b>2030</b>	590-710	0.2	-0.6 bis 1.2	<0.06
	535-590	0.6	0.2 bis 2.5	<0.1
	445-535	nicht vorhanden	< 3	<0.12
<b>2050</b>	590-710	0.5	-1 bis 2	<0.05
	535-590	1.3	leicht negativ bis 4	<0.1
	445-535	nicht vorhanden	< 5.5	<0.12

Schweiz mit einem Baseline-Szenario verglichen werden, das bei ungebremstem Klimawandel einen höheren als den weltweit durchschnittlichen Temperaturanstieg prognostiziert. Gemäss Bundesamt für Umwelt (BAFU) (BAFU, 2007) sind die Kosten einer durchschnittlichen Erwärmung um 3 °C bis 2050 mit 1 Milliarde Franken pro Jahr zu beziffern. Es zeigt sich: Klimabedingte Folgeschäden sind bis 2050 moderat, steigen dann aber bis 2100 deutlich an. Der zu erwartende mittlere Schaden im Jahr 2100 liegt bei 0,48 Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP) (0,15 bis 1,6 Prozent, gemessen am BIP

des Jahres 2100). Die stark auslandsabhängige Schweiz kann durch induzierte Innovationen First-Mover-Vorteile auf internationalen Nischenmärkten erreichen. Insgesamt sind die Ausmasse einer Re-Industrialisierung aber durch die hohen Lohnkosten begrenzt. Die Schweiz kann von der Klimaproblematik ökonomisch auch dadurch profitieren, dass sie in klimatechnischen Bereichen Dienstleistungen mit hoher Wertschöpfung anbietet (nachhaltige Finanzanlagen, Versicherungs- und Rückversicherungsprodukte, Handel mit Energie und Derivaten, etc.).

### 5.3 Die einzelnen Bereiche

**Die Technologien und Möglichkeiten zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses bestehen bereits heute oder werden in naher Zukunft vorhanden sein. Neben Effizienzsteigerungen, der Nutzung von erneuerbaren Energien und der Schonung der natürlichen Ressourcen (Waldbewirtschaftung) braucht es auch politische und wirtschaftliche Anreizsysteme sowie strenge Normen und Gesetze, um eine massive Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstosses zu erreichen.**

In den folgenden Bereichen gibt es bereits heute oder in absehbarer Zukunft substanzielle Möglichkeiten, Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Es gibt starke Unterschiede in den einzelnen Sektoren; sowohl bezüglich des absoluten Reduktionspotentials als auch der Kosten für Einsparungen, vgl. Tabelle 1. Im Bereich Gebäude ist das grösste Potential an kosteneffektiven Reduktionen auszumachen.

#### 5.3.1 Energieumwandlung

Im Jahr 2004 wurden 80 Prozent des globalen Primärenergiebedarfs durch fossile Brennstoffe gedeckt. Der absolute Verbrauch wird unter den heute geltenden Voraussetzungen in den nächsten Jahrzehnten weiter ansteigen. Gegenüber anderen Technologien haben fossile Brennstoffe vor allem betriebswirtschaftliche Vorteile, die – ohne ein Eingreifen der Politik – weiterhin

bestehen bleiben. Ohne greifende Massnahmen wird ein Anstieg der Emissionen um etwa 50 Prozent auf 37 bis 40 Gigatonnen CO<sub>2</sub> bis 2030 prognostiziert (Abb. 2). Der Ausstoss von Treibhausgasen kann auf der Angebotsseite durch die Verlagerung auf CO<sub>2</sub>-arme fossile Brennstoffe (Erdgas statt Kohle), durch den Einsatz von Auffangtechnologien (Carbon capture and storage) oder den Einsatz alternativer Energien erreicht werden.

In der Elektrizitätsproduktion weisen die klimaneutralen Atomkraftwerke heute verbesserte Sicherheitsstandards auf, die ungelöste Endlagerung von Atommüll, die Störfallrisiken und die unerwünschte Verbreitung waffentauglichen Urans mindern jedoch die gesellschaftliche Akzeptanz. Der künftige Anteil des Atomstroms wird durch die Politik bestimmt, welche die gesellschaftliche Bewertung der exter-

nen Kosten und der Risiken (durch Festlegung der Haftpflichtregeln) zu leisten hat.

Erneuerbare Energien werden ohne Unterstützung durch die Politik (CO<sub>2</sub>-Besteuerung, Subventionierung von erneuerbaren Energien oder regulatorischen Massnahmen) ihre Bedeutung als Primärenergielieferant nicht substantiell erhöhen können (2004 wurden 15 Prozent des globalen Primärenergiebedarfs durch erneuerbare Energien gedeckt). Dies obwohl verschiedene positive Nebeneffekte (technologischer Fortschritt, Verringerung regionaler Verschmutzungen, Bekämpfung von Arbeitslosigkeit etc.) wenig umstritten sind.

### 5.3.2 Transport und dazugehörige Infrastruktur

Ohne bedeutende Einschnitte bei der wirtschaftlichen Entwicklung, den gesellschaftlichen Verhaltensmustern und den staatlichen Interventionen werden der Energieverbrauch und die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Transportsektors bis ins Jahr 2030 sehr stark, d.h. um rund 80 Prozent, ansteigen. Die vorhandenen Reduktionspotentiale werden dieses Wachstum kaum kompensieren.

Ungefähr drei Viertel der Treibhausgasemissionen im Transportsektor sind dem Strassenverkehr anzurechnen. Somit sind dort die grössten Einsparungen realisierbar. Im Vordergrund stehen 1. effizientere, leichtere und aerodynamischere Fahrzeuge, 2. die Substitution von fossilen Treibstoffen durch alternative Treibstoffe wie z.B. Biotreibstoffe, Elektrizität oder Wasserstoff (Stichwort Flexfuel-Systeme), 3. betriebliche Optimierungen (Stichworte Leerfahrten, Routenwahl, Unterhalt etc.) und 4. die Verlagerung von Transportleistungen von der Strasse auf die Schiene.

Reduktionen sind auch im Schienenverkehr und bei der Seefahrt möglich, wobei diese bereits zu den energieeffizientesten Transportarten gehören. Durch stetige Effizienzsteigerungen werden für die Luftfahrt weitere Reduktionen im Umfang von 1 bis 2 Prozent pro Jahr prognostiziert.

Bei einem Preis von 100 US-Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub> wird das Reduktionspotential auf ca. 2,5 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente geschätzt, wobei Zahlen nur für den Strassenverkehr (ausgenommen Schwerverkehr; ca. 0,8 Gigatonnen), die Luftfahrt (ca. 0,3 Gigatonnen) und die Treibstoffsubstitution (ca. 1,5 Gigatonnen) vorliegen. Da der Schwerverkehr, der Schienenverkehr, die Schifffahrt, die Veränderungen bei der Transportart und die Förderung des öffent-

lichen Verkehrs bei diesen Schätzungen nicht berücksichtigt sind, liegt das effektive Reduktionspotential wohl deutlich höher.

### 5.3.3 Wohn- und Geschäftsgebäude

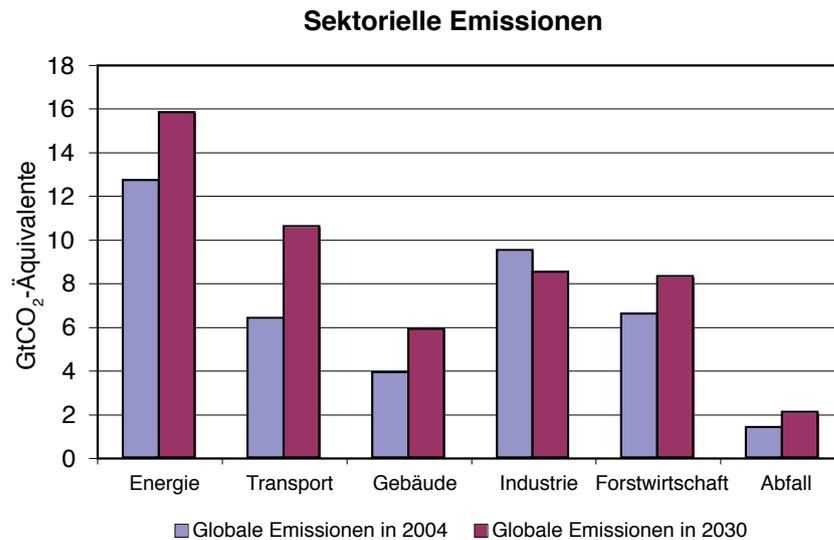
Wird der gesamte Energieverbrauch berücksichtigt, sind den Wohn- und Geschäftsgebäuden knapp ein Viertel der gesamten weltweiten CO<sub>2</sub>-Emissionen zuzurechnen. Dafür besitzt dieser Sektor den grössten Anteil an kosteneffektiven Treibhausgas-Reduktionsmassnahmen aller im Bericht der WG III betrachteten Sektoren.

Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen umfassen hier die Reduktion des Energieverbrauchs und der Grauen Energie in Gebäuden, den Übergang zu kohlestoffarmen Energieträgern sowie die Kontrolle der Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgasemissionen. Das gesamte Reduktionspotential (bei einem CO<sub>2</sub>-Preis von 100 US-Dollar pro Tonne CO<sub>2</sub>) wird auf 5,4 bis 6,7 Gigatonnen geschätzt. Dies entspricht 40 Prozent der Emissionen des Referenzszenarios. Davon können über 75 Prozent der Reduktionen zu negativen Nettokosten erzielt werden.

Die Erhöhung der Energieeffizienz von neuen und alten Gebäuden ist dabei die vielversprechendste und kosteneffektivste Massnahme (Stichworte dazu sind Heizung, Kühlung, Lüftung, Isolierung, Beleuchtung, Solarenergie, energiesparende Geräte, Wartung, Verhalten der Nutzer). Für neue Gebäude lassen sich mit einem integrierten Ansatz Einsparungen im Bereich von 35 bis 50 Prozent erzielen, wobei hier nur vorhandene und bewährte Technologien berücksichtigt werden. Unter der Verwendung von neueren und unkonventionelleren Ansätzen kann ein Einsparpotential bis zu 80 Prozent erreicht werden.

### 5.3.4 Industrie

Auch in der Industrie besteht ein grosses Potential für Effizienzsteigerungen. In den industrialisierten Ländern trifft dies vor allem in den Bereichen der Stahl-, Zement-, Zellstoff- und Papierindustrie, in nicht-industrialisierten Ländern auch in allen Bereichen der Lebensmittelherstellung zu. Die Technologie ist heute soweit, dass mit relativ geringen Investitionskosten der CO<sub>2</sub>-Ausstoss stark reduziert werden kann. Der technologische Fortschritt kann in die Bereiche Energieeffizienz, Umstellung auf CO<sub>2</sub>-arme Primärenergielieferanten, Energiegewinnung, erneuerbare Energielieferanten, Rohstoffverwendung, Produktumstellung und Materialeffizienz unterteilt werden.



**Abbildung 2:** Überblick über die globalen sektoriellen Emissionen im Jahr 2004 und Schätzungen aller THG-Emissionen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten pro Jahr) 2030 (IPCC, 2007). Die Daten zur Industrie stammen von Price et al., 2006. Die erwartete Zunahme unter einem "business as usual"-Szenario zeigt deutlich, dass die Reduktionspotentiale dringend genutzt werden müssen.

Die Herausforderung besteht darin, Neu- und Ersatzinvestitionen unter der Voraussetzung der Umwelteffizienz zu tätigen. Dabei muss die Politik die nötigen Rahmenbedingungen sicherstellen. Es gilt zu verhindern, dass aus ökonomischen Gründen oder aus einem Mangel an Fachwissen ineffiziente Strukturen erhalten werden. Insbesondere müssen kleine und mittlere Betriebe beachtet werden, die in Entwicklungsländern den grössten Teil der Industrie ausmachen. Nicht zuletzt muss in der gesamten Industrie das Bewusstsein geschaffen werden, dass auch durch das Verhalten der Beschäftigten deutliche CO<sub>2</sub>-Reduktionen erreicht werden können. Es existieren zahlreiche Methoden, die in einzelnen Betrieben Reduktionspotential aufzeigen und Anleitung zur Umsetzung geben

### 5.3.5 Landwirtschaft

Die Landwirtschaft ist für 10 bis 12 Prozent der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich, wobei CO<sub>2</sub> und Methan die Hauptemissionen ausmachen.

In der Landwirtschaft können die Treibhausgasemissionen vermindert werden, indem Acker- und Weideflächen mit besseren Anbaumethoden bewirtschaftet werden, und durch die Sanierung von degeneriertem Land und organischen Böden, die zwecks Ackerbau entwässert wurden. Auch ein verbessertes Management von Wasser und Reisanbau, die Stilllegung oder veränderte Nutzung von Ackerflächen und Feldwaldbau sind mögliche Optionen.

Insbesondere in Entwicklungsländern könnte bereits heute mit bekannten Anbauverfahren ein Grossteil der Treibhausgasemissionen verhindert werden. Schätzungsweise 70 Prozent der gesamten Reduktionspotentiale sind in Nicht-OECD-Ländern zu finden. Langfristig weisen einige dieser Methoden sogar einen komparativen Kostenvorteil auf. Gerade in Entwicklungsländern müssen die Wechselwirkungen mit anderen Entwicklungszielen beachtet werden. Häufig führt der reduzierte Ausstoss von Treibhausgasen zu anderen externen Effekten. Positiv ins Gewicht fallen die erhöhte Effizienz, tiefere Kosten und andere positive Umwelteffekte. Auf der Negativseite sind andere Umweltverschmutzungen zu erwähnen.

In der entwickelten Welt führt einzig der Einsatz von Düngemitteln zu höheren Emissionen der Landwirtschaft als in Entwicklungsländern. Bei zunehmendem Wohlstand steigt die Düngemittelverwendung. Generell sind in der Landwirtschaft die regionalen Unterschiede – und somit auch die jeweiligen Reduktionsmöglichkeiten – sehr verschieden und müssen fallweise analysiert werden.

### 5.3.6 Forstwirtschaft

Die Forstwirtschaft im weiteren Sinne kann viel zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen. Zu erwähnen sind insbesondere die Erhaltung bzw. Ausdehnung der Waldfläche, Veränderungen in der Waldbewirtschaftung, Substitution von Produktionsmethoden, die viel fossile Energie benötigen, sowie die Herstellung von Holzprodukten und die Produktion von

Bioenergie aus Holz. In sektorübergreifenden Modellen zählt die Forstwirtschaft neben den Bereichen Energie, Transport und Landwirtschaft zu den wichtigen Sektoren, die bereits mit relativ geringen Kosten die Treibhausgasemissionen substantiell reduzieren können.

Die Forstwirtschaft trägt aber nicht nur zum Klimawandel bei, sie wird auch stark von diesem beeinflusst. Bei höheren Temperaturen kann der Wald weniger CO<sub>2</sub> speichern, in kälteren Regionen führen erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sowie steigende Temperaturen zu mehr Waldwachstum. Viele Anpassungsstrategien an den Klimawandel beinhalten eine verbreitete Aufforstung und Veränderung der Waldbewirtschaftung. Da Investitionen in Wälder langfristig angelegt sind, muss hier die Politik eine aktive Rolle übernehmen.

Die Schätzungen der Reduktionspotentiale variieren stark bezüglich der verschiedenen Weltregionen und bezüglich des verwendeten Modellansatzes (top down versus bottom up). Für 2030 wird ein weltweites Reduktionspotential von 13,8 (top down) bis 2,8 (bottom up) Gigatonnen CO<sub>2</sub> geschätzt, wovon 36 Prozent bereits bei einem CO<sub>2</sub>-Preis von unter 20 US-Dollar pro Tonne erreicht werden können. Eine besondere Bedeutung fällt hier auch der Eindämmung der Entwaldungen zu. Die grössten Möglichkeiten zur CO<sub>2</sub>-Reduktion bestehen in Zentral- und Südamerika (gut 20 Prozent), weitere wichtige Regionen sind Afrika, Asien und die USA.

### 5.3.7 Abfallwirtschaft

Siedlungsabfälle sind für einen relativ geringen Anteil an den weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich (weniger als 5 Prozent, ca. 1,25 Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Die wichtigsten Schadstoffe sind hier Methan und Lachgas. Während sich die Treibhausgasemissionen in entwickelten Ländern in den letzten Jahrzehnten stabilisiert haben oder gar rückläufig waren, wird für die Entwicklungsländer ein starker Anstieg bis 2030 prognostiziert. Aufgrund nicht einheitlicher nationaler Definitionen und meist lokaler Zuständigkeiten sind die Schätzungen bezüglich Emissionen und Reduktionspotentiale mit grossen Unsicherheiten verbunden.

Bei Annahme eines CO<sub>2</sub>-Preises von 100 US-Dollar pro Tonne beträgt das gesamte Reduktionspotential ca. 70 Prozent. Da zum grössten Teil bereits bestehende und ausgereifte Technologien angewendet werden können, ist ein Grossteil der Reduktionen zu negativen Nettokosten (ca. 20 bis 30 Prozent) bzw. zu gerin-

gen Kosten (30 bis 50 Prozent bei einem Preis von maximal 20 US-Dollar pro Tonne) erreichbar.

Substanzielle Reduktionen sind durch folgende Massnahmen möglich: Rückgewinnung und Nutzung von Methan aus Deponien, allgemein verbesserte Deponieverfahren, moderne Verbrennungsmethoden, technisierte Abwasserbehandlung, kontrolliertes Kompostieren von organischen Abfällen und verbreitete Entsorgungsabdeckung. Diese Massnahmen zielen einerseits auf die direkte Reduktion von Emissionen, andererseits auf die Entstehungsvermeidung von Treibhausgasen ab. Zudem bieten Recycling und die Vermeidung von Abfällen weitere Einsparmöglichkeiten.

### 5.3.8 Die Situation in der Schweiz

Auch in der Schweiz bestehen beachtliche Reduktionspotentiale, die bislang noch nicht zur Emissionsreduktion genutzt wurden.

*Energieumwandlung:* In diesem Sektor ist vor allem die Energienachfrage und das ausländische Energieangebot zu beachten. Ein geringerer Energieverbrauch führt zu einem verringerten CO<sub>2</sub>-Ausstoss.

*Transport und die dazugehörige Infrastruktur:* Das Ziel der Schweiz, die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs auf ein Niveau von 8 Prozent unter demjenigen von 1990 zu senken, wurde bis jetzt weit verfehlt. Ende 2005 lagen die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verkehrs sogar 8 Prozent über demjenigen von 1990. Mit dem Klimarappen allein scheint das Ziel nicht erreichbar zu sein.

*Wohn- und Geschäftsgebäude:* Die Situation in der Schweiz unterscheidet sich nicht stark von anderen OECD-Ländern. Eine Steigerung der Energieeffizienz sollte das primäre Ziel sein. Durch eine konsequente Umsetzung der Minergiestrategie für neue Gebäude, eine sukzessive Renovation bzw. Umrüstung älterer Gebäude und die Umstellung auf sparsame Geräte kann eine signifikante Einsparung an Energie und somit auch an Treibhausgasemissionen erreicht werden.

*Industrie:* In der Schweiz verursacht die Industrie gut einen Fünftel der Treibhausgasemissionen. Zählt man den Dienstleistungssektor ohne Verkehr hinzu, kommt man auf 30 Prozent. Kurz- bis mittelfristig kann durch die Unterstützung der Politik vor allem bei Neu- und Ersatzinvestitionen eine Emissionsverringerung erreicht werden. Langfristig müssen Fortschritte bei biologischen Prozessen, beim Einsatz von Wasserstoff für die Schmelzprozesse bei der Metallverarbeitung und der Nanotechnologie erreicht werden.

*Landwirtschaft:* Auf Grund der beschränkten absoluten Grösse scheint das Reduktionspotential der Landwirtschaft in der Schweiz begrenzt, zumal sich das Land gemäss Gesetz bisher auf die CO<sub>2</sub>-Reduktion und weniger auf die in der Landwirtschaft dominierenden Treibhausgase Methan und Lachgas konzentriert. Ausserdem wird bis 2020 eine abnehmende Emission von Treibhausgasen für Zentraleuropa prognostiziert. Einen Beitrag an die globale Reduktion von Treibhausgasen kann die Schweiz vor allem bei der Neu- und Weiterentwicklung moderner Anbautechnologien, insbesondere im Hinblick auf die Düngemittelverwendung, leisten.

*Forstwirtschaft:* In der Schweiz (wie auch in Europa) hat die gesamte Waldfläche in den letzten Jahrzehnten kontinuierlich zugenommen. Da die Schweiz absolut gesehen eine relativ kleine Waldfläche besitzt, ist das

Reduktionspotential durch weitere Aufforstung oder veränderte Waldbewirtschaftung wohl begrenzt. Ein Engagement für eine nachhaltige Forstwirtschaft ist sicher angebracht.

*Abfallwirtschaft:* Aufgrund der relativ fortschrittlichen Entsorgung von Siedlungsabfällen in der Schweiz scheint hier das Einsparpotential relativ gering zu sein, obschon die Treibhausgasemissionen der Abfallwirtschaft in der Schweiz 6 Prozent aller Emissionen ausmachen. Die Schweiz hat eine gute Abdeckung an modernen Verbrennungs- und Kläranlagen, eine respektable Quote (49 Prozent) an Separatsammlung und restriktive Regulierungen für Deponien. So konnte zum Beispiel die Umweltbelastung durch Abfallverbrennung auf ca. 1 Prozent der Werte von 1970 gesenkt werden. Zudem läuft seit einigen Jahren ein Programm zur Registrierung und Sanierung von belasteten Standorten und alten Deponien.

## 5.4 Zusätzliche Bemerkungen

**Welche Schadens- und Anpassungskosten die Klimaänderung verursachen wird, lässt sich mittlerweile abschätzen. Diese Kosten werden mit fortschreitender Klimaänderung erheblich wachsen und mit 5 bis 20 Prozent des weltweiten BIP die Kosten zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen (etwa 1 Prozent des BIP) um ein Mehrfaches übersteigen (Stern Review, 2007). Erforderlich ist deshalb eine globale Reduktion der Treibhausgasemissionen bis zum Ende dieses Jahrhunderts um etwa 70 Prozent des heutigen Ausstosses.**

Das oben erwähnte Ziel ist nur erreichbar, wenn die Industrieländer ihren Ausstoss sehr bald und erheblich verringern und die Schwellenländer den Zuwachs ihrer Emissionen zunächst eindämmen und binnen zwei Jahrzehnten ihre Emissionen ebenfalls zu reduzieren beginnen. Bei einer absehbaren Weltbevölkerung von 9 bis 10 Milliarden Menschen bis Ende Jahrhundert müssten die Pro-Kopf-Emissionen auf etwa 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Jahr sinken (vergl. Kasten 1). Zum Vergleich: Indien und China emittieren heute 1,2 bzw. 3,1 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Kopf und Jahr. Die Emissionen der Schweiz betragen insgesamt 1,5 Promille der globalen Emissionen. Beim Mass der Pro-Kopf-Emissionen liegt die Schweiz mit 6 Tonnen deutlich über der langfristigen Zielgrösse von etwa 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr. (Berücksichtigt man die «grauen Emissionen» der Importe, sind es sogar rund 10 Tonnen (Abb. 1).) Die Akademien Schweiz haben mit der «Denkschrift Energie» ([www.proclim.ch/Products/denk-schrift-energie/](http://www.proclim.ch/Products/denk-schrift-energie/)) einen Prozess lanciert, der die Diskussion zur Lösung dieser Problematik in Gesellschaft, Politik und Wirtschaft fördern soll.

Klar ist, dass diese notwendigen Reduktionsanstrengungen nicht nur einen globalen Nutzen haben, sondern weitere Vorteile bewirken. Neben der Herausforderung durch die Klimaänderung besteht bei der Energieversorgung ein weiteres Risiko, weil die fossilen Ressourcen, die heute 80 Prozent der Primärenergie ausmachen, regional ungleich verteilt sind. Dies gilt insbesondere für das Erdöl. Eine weitere Herausforderung kommt hinzu, wenn die weltweite Fördermenge an Erdöl und Erdgas zurückgehen wird. Dieser Zeitpunkt wird für das konventionelle Erdöl zwischen 2015 und 2035 und für das Erdgas in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts erwartet. Nimmt die weltweite Nachfrage nach Erdöl zu diesem Zeitpunkt noch zu, werden der Erdöl- und der Erdgaspreis in erheblichem Umfang steigen, weil die Ausweichmöglichkeiten bei der Nutzung kurz- und mittelfristig beschränkt sind. Das bereits stattfindende Ausweichen auf unkonventionelle Öle (Teersande und Ölschiefer) und besonders auf Kohle ist mit grossen zusätzlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen und anderen Umweltauswirkungen verbunden. Um

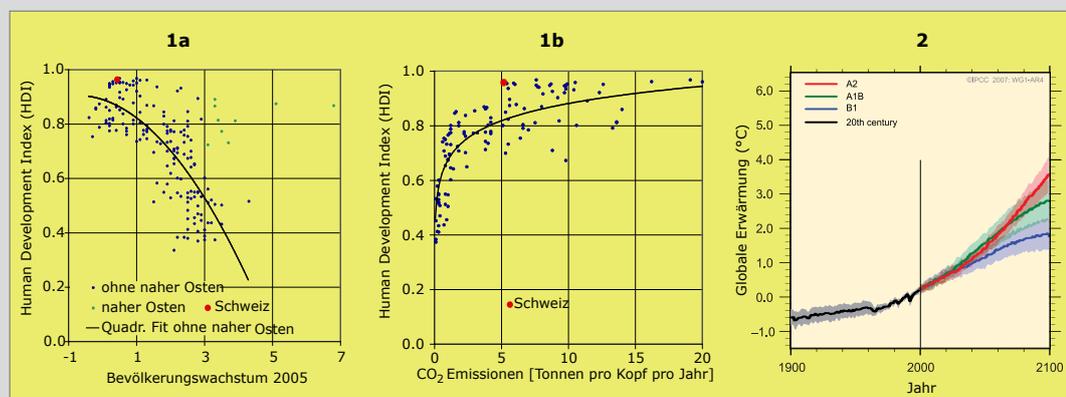
### Kasten 1: Internationale Sichtweise und die globale Verantwortung – Das Klimaproblem mit vielen Ursachen

Die Stabilisierung des Klimas erfordert in den nächsten Jahrzehnten und darüber hinaus eine andauernde Reduktion der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen von heute knapp 30 GtC auf rund 10 GtC. Langfristig müssten die Emissionen noch bedeutend weiter zurückgehen. Dies zu erreichen ist eine gewaltige Herausforderung und erfordert länderspezifische, differenzierte Ansätze:

Die Treibhausgasemissionen eines Landes sind bestimmt durch die entsprechende Bevölkerungszahl und durch die CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Person. Länder mit einer hohen Lebensqualität, das heisst einem hohen Human Development Index HDI\* weisen tendenziell ein geringeres Bevölkerungswachstum auf als solche mit geringerer Lebensqualität (Abb 1a). Zur Stabilisierung der Weltbevölkerung müsste der Wohlstand insbesondere der Entwicklungsländer rasch erhöht werden. Eine hohe Lebensqualität setzt andererseits einen minimalen Energieverbrauch voraus, welcher in der fossil dominierten heutigen Welt mindestens 2 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr verursacht (Abb. 1b). Neben der Abkehr der Industrieländer von fossilen Energiequellen müsste überdies auch den Menschen in den Entwicklungsländern genügend Energie zur Verfügung stehen.

Eine Welt mit globalisiertem Markt und Wohlstand stellt langfristig die einzige, ethisch vertretbare Möglichkeit zur Klimastabilisierung dar, weil sie ab 2050 eine rückläufige Weltbevölkerungszahl erwarten lässt (Abb. 2, Szenarienfamilien A1 und B1, vergl. Kasten 1, Kapitel 2). Eine desintegrierte Welt auf der anderen Seite würde einen grossen Teil der Weltbevölkerung weiterhin in Armut belassen (Szenarien A2 und, in der Figur nicht dargestellt, B2). Diese Menschen wären den Auswirkungen der Klimaänderung machtlos ausgesetzt. Hunger, Migration wären zu erwarten (WBGU, 2007), mit indirekten Folgen auch für die Industrieländer. Das Bevölkerungswachstum ist der primäre Grund, weshalb die globale Temperaturzunahme am Ende des Jahrhunderts bei den IPCC-Szenarienfamilien A1 und B1 abflacht und bei Szenario A2 (wie auch B2, in der Figur nicht dargestellt) rasch weiter ansteigt.

\*HDI: Der Human Development Index (HDI) ist ein standardisiertes Mass für die Lebensqualität einer Gesellschaft und wird vom 'Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen' (UNDP) für alle Länder erhoben. Der HDI ersetzt das gebräuchlichere Bruttoinlandsprodukt (BIP). Er schliesst drei weitere für die Lebensqualität wichtige Grössen ein, nämlich Lebenserwartung, Lesefähigkeit und Bildung.



**Abbildung 1:** Die hohe Lebensqualität (gemessen mit dem Human Development Index HDI) ist in den meisten Ländern (ausgenommen im nahen Osten) gekoppelt an ein geringes Bevölkerungswachstum und setzt eine minimale Energieverfügbarkeit voraus. Klimastabilisierung ist somit nur erreichbar, wenn nicht nur in den Industrieländern die Treibhausgasemissionen weitgehend eliminiert werden, sondern wenn auch in den Entwicklungsländern die Lebensqualität rasch erhöht wird (Datenquelle: Human Development Report 2006 des UNDP).

**Abbildung 2:** Beobachtete globale Erwärmung bis 2000 und ab 2000 gerechnet für verschiedene Entwicklungsszenarien. Die dargestellten Szenarien A1B und B1 nehmen eine global solidarische Welt an und A2 eine desintegrierte Welt. Auffallend ist der ungebremsbare weitere Anstieg für A2, da sich das Bevölkerungswachstum in den Entwicklungsländern nicht stabilisiert.

diesen Herausforderungen zu begegnen, sind Innovationen und Lösungen speziell in den Bereichen Energieeffizienz, Förderung erneuerbarer Energien, neue Werkstoffe und ein gesellschaftlicher Wandel hin zum sparsamen Umgang mit Energie nötig. Die Verknappung der traditionellen Energieressourcen wird

den notwendigen Wandel bei günstigen politischen Rahmenbedingungen unterstützen. Wichtig ist, dass die internationale Politik die entsprechenden Signale aussendet und deutlich macht, dass ein Ausweichen auf andere fossile Energieträger wie Kohle bei konventioneller Verbrennung nicht trag-

bar ist. Technologien, die das CO<sub>2</sub> bei der Verbrennung abscheiden und einer nicht-atmosphärischen Lagerung zuführen, werden zurzeit entwickelt und könnten zur Lösung des Problems beitragen. Trotzdem bleibt festzuhalten, dass die Verbrauchsreduktionen an fossiler Energie bis 2100 um einen Faktor sechs bei vergleichbaren Dienstleistungen die gesellschaftliche Herausforderung der kommenden Jahrzehnte darstellt. Das Ziel, bis Ende des Jahrhunderts die Emissionen

auf 1 Tonne CO<sub>2</sub> pro Person und Jahr zu senken, kann erreicht werden, wenn fossile Energieträger nur noch für die wichtigsten, am schwersten substituierbaren Nutzungen verwendet werden (zum Beispiel Flugverkehr oder die Herstellung bestimmter Materialien). Das technische Potential der erneuerbaren Energiequellen ist ausreichend zur Deckung des weltweiten Primärenergiebedarfs. Das ökonomisch realisierbare Potential ist derzeit aber noch bedeutend geringer.

## 5.5 Literatur

- BAFU, 2007: Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse) [www.bafu.admin.ch/klima/00509/00511/index.html?lang=de#sprungmarke0\\_34](http://www.bafu.admin.ch/klima/00509/00511/index.html?lang=de#sprungmarke0_34)
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- North, N., Kljun, N., Kasser, F., Heldstab, J., Maibach, M., Reutimann, J. und Guyer, M., 2007: Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Umwelt-Zustand Nr. 0728, Bundesamt für Umwelt, Bern, 77 S.
- Price, L., de la Rue du Can, S., Sinton, J., Worrell, E., Nan, Z., Sathaye, J. and Levine, M., 2006: Sectoral Trends in Global Energy Use and Greenhouse Gas Emissions. Report number: LBNL-56144, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Stern, N., 2007: The Economics of Climate Change: The Stern Review. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- WBGU, 2007: World in Transition – Climate Change as a Security Risk, German Advisory Council on Global Change, Earthscan, London, ISBN 978-1-84407-536-2



## 6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

**Autoren: Die Mitglieder des OcCC**

Die in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen wissenschaftlichen Ergebnisse der IPCC-Arbeitsgruppen zeigen klar und deutlich: Es braucht Emissionsreduktionen in grossem Umfang, damit die Treibhausgase in der Atmosphäre auf einem für Mensch und Umwelt ungefährlichen Niveau stabilisiert werden können, so wie es die auch von der Schweiz ratifizierte UN-Klimakonvention fordert. Schon heute ist klar, dass der Klimawandel in wenigen Jahrzehnten gravierende Auswirkungen in der Schweiz zeigen wird (siehe Kap. 4). Diese sind zwar wirtschaftlich verkräftbar, aber auch als Vorboten noch deutlich weitreichenderer Veränderungen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts zu verstehen. In dieser Situation gibt es zwei grundsätzliche Möglichkeiten: Entweder wir halten am traditionellen Verhalten fest. Das bringt uns ein paar Jahre, in denen wir unseren gewohnten Lebensstil fortsetzen können. Doch wir nehmen zwangsläufig eine Verschlechterung der Bedingungen für die kommenden Jahrzehnte und Generationen in Kauf. Früher oder später werden Massnahmen nötig, und diese werden, je länger wir sie hinausschieben, umso härter wirken.

Oder, und das OcCC plädiert nachdrücklich für diesen Weg, wir nehmen heute die Herausforderung an. Wir passen umgehend unsere Produktions- und Konsumgewohnheiten an die veränderten und sich weiter verändernden Bedingungen an. Wir erfinden und entwickeln kreativ neue Produkte und Dienstleistungen. Wir geben der Gesellschaft die Möglichkeit, klimaverträglich ihre Bedürfnisse zu befriedigen. Mit angepassten Angeboten kann unsere Wirtschaft auch künftig auf dem Weltmarkt bestehen. Aus der Herausforderung wird eine Chance, für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt.

Die Planung der Klimapolitik für die Zeit nach Ablauf der jetzigen Kyotoverträge im Jahre 2012 ist zwingend und dringend, sowohl auf globaler Ebene als auch in der Schweiz. Dabei müssen Instrumente und Vereinbarungen aus der ersten Kyoto-Verpflichtungsperiode übernommen oder optimiert werden, um eine effiziente und schnelle Umsetzung zu garantieren.

### 6.1 Ziele für die Schweiz

**Das OcCC empfiehlt die Reduktion der nationalen Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20 Prozent. Dieses Mindestziel hat sich die EU ebenfalls gesetzt. Die EU würde gar, falls weitere Länder sich dem Projekt anschliessen, ihre Emissionen um 30 Prozent reduzieren. Das OcCC unterstützt diese Position. Bis 2050 erachtet das OcCC eine Absenkung der Schweizer Treibhausgasemissionen um mindestens 60 Prozent gegenüber dem Wert von 1990 als nötig.**

Diese weitreichenden und ehrgeizigen Ziele sind als Beitrag unseres Landes für die langfristige Stabilisierung des atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehaltes zu verstehen. Das Ziel ist, die globale, mittlere Erwärmung gegenüber vorindustriellen Verhältnissen um nicht mehr als 2 °C ansteigen zu lassen. Dazu muss die Zunahme der globalen Emissionen in den nächsten 10 bis 15 Jahren gestoppt werden und der Absenkpfad anvisiert werden. Bis 2050 ist die Verminderung der weltweiten Emissionen um 50 bis 85 Prozent gegenüber 1990 nötig.

Die flexiblen Mechanismen des Kyotoprotokolls erlauben es, emissionsmindernde Massnahmen an jenen Orten durchzuführen, wo die Kosten am tiefsten sind. Beispielsweise die Finanzierung umweltverträglicher Stromerzeugung: Fossilthermische

Anlagen in Schwellenländern werden durch erneuerbare Energieträger ersetzt, eine kostengünstige Möglichkeit, unsere Emissionen im Ausland zu kompensieren. Diese Massnahmen können auch dazu beitragen, die aufstrebenden Schwellenländer in ein verbindliches internationales Klimaregime einzubinden und tragen, sofern sozial- und umweltverträglich ausgeführt, zum notwendigen Nord-Südausgleich und zum Technologietransfer bei.

Die Umsetzung von Massnahmen im Inland bringt eine ganze Reihe von willkommenen positiven Nebeneffekten (siehe Kasten 1). Der auf den ersten Blick höhere Preis von Emissionsminderungen in der Schweiz ist bei näherem Hinsehen in vielen Fällen auch ökonomisch sinnvoll, ein ausgewogener Mix von Massnahmen im In- und Ausland empfehlenswert.

## 6.2 Schlussfolgerungen und Fazit

Das OcCC empfiehlt den Aufbau einer nationalen Klimastrategie mit einer umfassenden Klimapolitik, in welcher die notwendigen Einzelmassnahmen in den verschiedenen Sektoren optimal aufeinander abgestimmt sind. Damit soll die Verlagerung von negativen Auswirkungen einer Massnahme auf andere Sektoren oder Regionen verhindert werden. Wichtig ist, die gesamte Umweltbilanz einer Massnahme zu prüfen, damit nicht das Klima auf Kosten anderer Umweltbelange saniert wird.

Die Bevölkerung muss frühzeitig, verständlich und nachvollziehbar informiert werden: Über die mit der Beherrschung der Klimaveränderung verbundenen Risiken, die nötigen Eingriffe, aber auch die sich daraus eröffnenden Chancen. Je eher eine breite Mehrheit motiviert werden kann, sich entschlossen der Herausforderung zu stellen, desto grösser ist die Chance, den Wandel unbeschadet und mit positiven Nebeneffekten zu bewältigen.

### - Klimarahmengesetz

Die Diskussion um ein Klimarahmengesetz, das die verschiedenen Anstrengungen im Klimabereich bündeln kann, ist frühzeitig zu lancieren. Das neue Gesetz soll auf dem bestehenden CO<sub>2</sub>-Gesetz aufbauen.

Das OcCC erachtet es als sinnvoll, sich in der Schweiz weiter primär auf die Reduktion des Treibhausgases CO<sub>2</sub> zu konzentrieren. Im Vergleich zur Emissionssituation anderer Treibhausgase (Methan, Lachgas etc.) ist die Hebelwirkung beim CO<sub>2</sub> am grössten.

### - Emissionsziele

Das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel für 2020 ist analog den EU-Mitgliedstaaten mit ähnlicher Energie- und Wirtschaftsstruktur in der Grössenordnung von mindestens 20 Prozent unter den Emissionen von 1990 festzuschreiben.

Das längerfristige Ziel ist die Reduktion um mindestens 60 Prozent bis 2050.

### - Instrumente und Normen

Die CO<sub>2</sub>-Abgabe auf Brennstoffen soll weitergeführt und auf Treibstoffe ausgeweitet werden. Das neue Instrument soll aufgrund der Praxiserfahrungen optimiert und weiterentwickelt werden. Zusätzlich ist die Teilnahme am europäischen Emissionshandelssystem zu ermöglichen.

Klimawirksame externe Kosten bei Produkten und Dienstleistungen sollen ausgewiesen und wo möglich und sinnvoll in die Preise integriert werden.

Es sind strenge, emissionsenkende Normen festzulegen. Diese sind zum Beispiel bei Bauten und Infrastrukturen wegen der langen Lebensdauer besonders nötig: Was heute falsch gemacht wird, hat über Jahrzehnte negative Auswirkungen.

Um die Ziele ohne Verlust an Lebensqualität zu erreichen, sind neue Technologien und deren Verbreitung sowie ein technologie- und innovationsfreundliches Umfeld zu fördern.

### - Energiepolitik

Eine sachliche Diskussion betreffend des zukünftigen Energiebedarfs und der Energieversorgung ist dringend. Die Steigerung der Energieeffizienz und damit die Verminderung der Nachfrage nach Energie muss erste Priorität erhalten.

Die künftige Elektrizitätsproduktion soll ohne neue CO<sub>2</sub>-Emissionen gestaltet werden. Unumgängliche Zusatzemissionen müssen durch Emissionsminderungen in anderen Bereichen oder an anderen Orten kompensiert werden.

Durch gezielte, wirksame Förderung erneuerbarer Energien können diese schneller zu konkurrenzfähigen Alternativen werden.

### - Raumordnungspolitik

Die Raumplanung ist auf kurze Arbeitswege und attraktive, zentral gelegene Naherholungs- und Einkaufsmöglichkeiten auszurichten.

### - Wirtschaft und Innovation

Der wirtschaftliche Nutzen und Mehrwert effizienter Energienutzung muss ins Zentrum gerückt werden: Ein tieferer Energieverbrauch bedeutet, dass heute weniger Kosten anfallen und in der Zukunft geringere Risiken durch eine ungewisse Energieversorgung bestehen (vergl. Kasten 1).

Die höheren Energiepreise bewirken in den Unternehmen einen Innovationsschub hin zu zukunftsfähigen Produkten und Dienstleistungen. Die Nachfrage nach effizienten Technologien wird wegen deren geringeren Betriebskosten wachsen. Die flexiblen Kyoto-Mechanismen werden die Finanzierung von klimaverträglichen Technologien in Entwicklungs- und Schwellenländern unterstützen und damit den Markt vergrössern.

Unternehmen, die entsprechende Angebote offerieren können, werden wettbewerbsfähiger und verstärken ihre Exportchancen. Die Geschwindigkeit der Einführung der Massnahmen muss die Entwicklungszyklen und Investitionsplanungen der Wirtschaft berücksichtigen. Die schrittweise Einführung von Massnahmen ermöglicht den Unternehmen, sich rechtzeitig anzupassen. Der eingeschlagene Kurs muss langfristig ausgelegt sein, damit die Unternehmen ihre Effizienzstrategien und die entsprechenden Investitionen auf ein verlässliches Ziel ausrichten können.

### Fazit

Für die Schweiz ist die Klimaänderung zunächst wirtschaftlich verkraftbar: Die zu erwartenden direkten und indirekten Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft sind bis zum Jahr 2050 relativ moderat, steigen danach aber kräftig an. Projektionen für die Zeit nach 2050 sind deutlich unsicherer. Die schweizerische Klimapolitik muss zukunftsgerichtet und international eingebettet sein, zur Verminderung der Risiken beitragen und weltweit eine Politik zur Schadensbehebung unterstützen.

Das OcCC empfiehlt daher den Aufbau einer nationalen Klimastrategie, die sowohl auf freiwilliger Basis wie auf staatlichen Rahmenbedingungen aufbaut. Diese muss bestehende und neue Initiativen – sowohl von Privaten wie auch der Regierung – konsequent auf Klimakurs bringen. Dazu braucht es einen aktiven gesellschaftlichen Dialog. Die Bevölkerung muss die verschiedenen Alternativen kennen und sich der Chancen und Risiken des Klimawandels bewusst werden. Dann wird sie sich der Herausforderung stellen und die Gelegenheit ergreifen, den Wandel möglichst sanft und mit positiven Nebeneffekten zu bewältigen.

### Ausblick

Am 20. Februar 2008 hat der Bundesrat eine Revision des CO<sub>2</sub>-Gesetzes für die Zeit nach 2012 in die Wege geleitet. Die Schweiz soll sich dabei an den Reduktionszielen der EU orientieren. Diese will bis 2020 ihre Treibhausgase im Alleingang um 20 Prozent verringern, falls andere Industriestaaten mitziehen sogar um 30 Prozent, basierend auf den Werten von 1990.

In der Vernehmlassung zur nun diskutierten Revision wird ein ganzes Set von Instrumenten präsentiert. Vorgeschlagen

## Kasten 1: Sekundäre Nutzen von Emissionsreduktionsmassnahmen

### Loslösung von der Abhängigkeit von fossilen Energieträgern

Der Ersatz fossiler durch erneuerbare Energieträger verringert die Auslandabhängigkeit in der Energieversorgung. Damit wird die Energieversorgung sicherer und gleichzeitig wird Vorsorge für die längerfristig zu erwartende Verknappung der fossilen Energieträger getroffen.

Die Massnahmen führen indirekt unter anderem zu einer Verbesserung der Verkehrsstrukturen, zu einer Verminderung der Bodenversiegelung und des Zerschneidens von Lebensräumen, zu einer nachhaltigen Waldnutzung und zu einer extensiveren Landwirtschaft und nicht zuletzt auch zu einer starken Wirtschaft.

### Reduktion der Umweltbelastung in der Schweiz

Die Bereitstellung und insbesondere die Nutzung von Energie führt neben den global wirksamen Treibhausgasemissionen zu weiteren direkten und indirekten Umweltbelastungen, wie zum Beispiel Luftschadstoffe, Lärm, Produktion von Abfällen, Unfälle, Landschaftseingriffe und Landverbrauch. Eine Reduktion der Treibhausgasemissionen führt gleichzeitig zu einer Reduktion der regionalen und lokalen Umweltbelastung, vermindert die damit verbundenen Folgen für Lebensqualität und Gesundheit und senkt die teilweise sehr hohen externen Kosten.

### Stimulation des Innovationsprozesses

Treibhausgaspolitik fördert die technische Innovation. Länder, die frühzeitig in die Entwicklung von Zukunftstechnologien investieren, gewinnen den sogenannten «first mover advantage» und sichern die Wettbewerbsfähigkeit ihrer Volkswirtschaft in einem expandierenden Zukunftsmarkt.

Das aus Lenkungsmaßnahmen resultierende Bedürfnis des Marktes nach innovativen, kostengünstigen Technologien erteilt der Forschung starke, gerichtete Impulse. Durch Forschungsinstitutionen realisierte Pilot- und Demonstrationsprojekte erlauben es der Industrie, mit Strategien zur Emissionsminderung Erfahrungen zu sammeln. In einem solchen System gemeinsamer, zielorientierter Entwicklung klimarelevanter Technologien entstehen konstruktive Rückkoppelungsmechanismen zwischen Forschung und industrieller Umsetzung.

wird etwa eine Klimaleistungsabgabe, allenfalls mit einer Teilzweckbindung, mit welcher Massnahmen in der Schweiz finanziert werden könnten. Zudem soll in der Vernehmlassung die Idee einer klimaneutralen Schweiz zur Diskussion gebracht werden. Vorgeschlagen werden aber auch technische Regulierungen. Für die Zeit bis 2012 will der Bundesrat das CO<sub>2</sub>-Reduktionsziel im Bereich Treibstoffe mit einer Neuregelung des Klimarappens erreichen. Weiter hat er Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz und zur Förderung erneuerbarer Energien beschlossen. Mit diesem Massnahmenpaket soll die Energieversorgung nachhaltig sichergestellt, der Klimawandel bekämpft und die Abhängigkeit vom Erdöl reduziert werden. Weiter hat der Bundesrat beschlossen, einen interdepartementalen Ausschuss einzusetzen, der alle Massnahmen der künftigen Klimapolitik koordinieren soll. Darin eingeschlossen sind ebenfalls die Entscheidungen, die an internationalen Konferenzen getroffen werden.

Aus Sicht des OcCC stellen die angestrebten Reduktionsziele eine Minimallösung dar. Die vorgeschlagenen Massnahmen und Instrumente weisen aber in die richtige Richtung und bieten Chancen zur Emissionsreduktion. Die internationale Staatengemeinschaft hat an der Weltklimakonferenz 2007 in Bali einen Prozess in Gang gesetzt, der bis 2009 konkrete Reduktionsschritte für die «Post-Kyoto-Zeit», also nach 2012, vorlegen soll. Wenn die Anforderungen einmal klar sein werden, müssen die konkreten Umsetzungsmassnahmen bereit stehen.

Das OcCC empfiehlt Inland- und Auslandmassnahmen sinnvoll zu kombinieren. Im Inland entstehen dadurch unter anderem Wirtschaftsvorteile durch Innovationsförderung und tiefere Energiekosten. Massnahmen im Ausland, insbesondere ein streng kontrollierter Handel mit Emissionszertifikaten, haben positive Effekte für die Entwicklungszusammenarbeit. Sie dienen dem Technologietransfer und können auf längere Frist auch das Ungleichgewicht zwischen Nord und Süd verringern.

Schon heute ist klar, dass die Klimaänderung die ärmsten Länder am meisten treffen wird. Verursacher der Klimaänderung sind aber vor allem die heutigen sowie vermehrt auch die aufstrebenden Industrieländer. Klimapolitik kann und muss einen Beitrag zu einer

«gerechteren» Welt leisten. Zudem macht das Klimaproblem deutlich: Wirtschaften nach heutiger Art kann die Möglichkeiten künftiger Generationen einschränken. Die Klimapolitik muss auch diesem Aspekt Rechnung tragen und damit mithelfen, den nachhaltigen Umgang mit den Ressourcen auf nationaler und internationaler Ebene zu fördern. Die nächsten zwei bis drei Jahre werden international und national die Richtung vorgeben, in die sich die Klimapolitik bewegen wird.

*Das OcCC fordert, dass die Entscheidungsträger den Weg zu einem nachhaltigen Umgang mit Umwelt, Klima und Ressourcen einschlagen. Dazu gibt es letztlich keine Alternative.*

## Die Mitglieder des OcCC

### Mitglieder

*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

*Kurt Seiler*, 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

*Christoph Kull*, OcCC, Bern  
*Christoph Ritz*, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, Bern



**Projektleitung und Redaktion:**  
Christoph Kull, OcCC

**Redaktionelle Mitarbeit:**  
Felix Würsten, Zürich

**Lektorat:**  
Esther Volken, OcCC

**Layout:**  
Christoph Kull, OcCC

**Druck:**  
Vögeli AG Druckzentrum, 3550 Langnau

