

OcCC

Organe consultatif sur les changements climatiques
Beratendes Organ für Fragen der Klimaänderung

Klimaziele und Emissionsreduktion Eine Analyse und politische Vision für die Schweiz



Umschlag:
Foto: C. Kull

Klimaziele und Emissionsreduktion

Eine Analyse und politische Vision für die Schweiz

Herausgeber und Vertrieb:

OcCC
Schwarztorstrasse 9
3007 Bern
Tel.: 031 328 23 23
Fax: 031 328 23 20
email: occc@scnat.ch
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).

Zitiervorschlag:

OcCC, 2012: Klimaziele und Emissionsreduktion – Eine Analyse und politische Vision für die Schweiz. OcCC – Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, 63 pp. ISBN: 978-3-907630-36-5

Inhalt

Editorial	4
Zusammenfassung und Empfehlungen	5
1 Einleitung	11
2 Hintergrund: Globale und nationale Auswirkungen der Klimaänderung	13
2.1 Einleitung	13
2.2 Eis, Schnee und Wasser	14
2.3 Ökosysteme, Land-, Forst-, Jagd- und Fischwirtschaft	15
2.4 Infrastrukturen, Industrie und Handel	17
2.5 Gesundheit	18
2.6 Fazit	18
3 Der Einfluss der Treibhausgasemissionen auf das Klima	23
3.1 Einleitung	23
3.2 Ausgangslage: Die globale Klimaerwärmung hat sich in den letzten Jahren fortgesetzt	24
3.3 Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe sind für den weitaus grössten Teil der Klimaerwärmung verantwortlich	25
3.4 Business-as-usual versus Emissionsreduktion: Wieviel Klimawandel ist vermeidbar?	28
3.5 Fazit	30
4 Klimapolitische Ziele für die Schweiz	35
4.1 Einleitung	35
4.2 Ein angemessener Beitrag an die globalen Bemühungen	37
4.3 Autonome klimapolitische Ziele	41
4.4 Festlegung eines Klimaziels	46
4.5 Fazit	48
5 Kosten und Nutzen eines ehrgeizigen Klimaziels	53
5.1 Voraussetzungen	53
5.2 Kosten von Emissionsreduktionsmassnahmen	54
5.3 Nutzen von Emissionsreduktionsmassnahmen	55
5.4 Fazit	61
Die Mitglieder des OcCC	63

Editorial

Vision Zero

Eines ist klar, die Klimaerwärmung wird über lange Zeit ein wichtige politische Herausforderung bleiben. Auch wenn die internationale Staatengemeinschaft sich bis heute nicht einig ist über die zu ergreifenden Massnahmen und Mittel, so hat sie sich an der UN-Klimakonferenz in Cancun 2010 ein Klimaziel gegeben: Die globale Erwärmung soll auf weniger als 2 Grad gegenüber dem Niveau vor Beginn der Industrialisierung begrenzt werden. Die Schweiz hat dieses Ziel im ersten Artikel des neuen CO₂-Gesetzes festgehalten. Im sogenannten Zweckartikel des Bundesgesetzes über die Reduktion der CO₂-Emissionen, welches von der Bundesversammlung im Dezember 2011 verabschiedet wurde, steht nun: «Mit diesem Gesetz sollen die Treibhausgasemissionen, insbesondere die CO₂-Emissionen, die auf die energetische Nutzung fossiler Energieträger (Brenn- und Treibstoffe) zurückzuführen sind, vermindert werden mit dem Ziel, einen Beitrag zu leisten, den globalen Temperaturanstieg auf weniger als 2 Grad Celsius zu beschränken.»

Das OcCC hat sich die Frage gestellt, was dieses Klimaziel für die Schweiz bedeutet und welche Emissionsreduktionen notwendig sind, um die fortschreitende Klimaerwärmung einzudämmen. Für die Klimaforschenden ist klar: Um die bedrohlichen Folgen der Klimaerwärmung zu begrenzen, braucht es eine drastische Senkung des CO₂-Ausstosses. Was heisst dies nun für die Schweiz? Diese Frage soll im vorliegenden Bericht, in welchem Schweizer Wissenschaftler ihre Erkenntnisse in verständlicher Form zusammengefasst haben, erläutert werden.

Der Bericht kommt zu folgenden Beurteilungen für unsere politischen Verantwortungsträger: Das CO₂-Gesetz ist ein erster Schritt, mittelfristig müssen aber weit anspruchsvollere Ziele anvisiert werden. Es braucht Mitigation, also Verminderung des CO₂-Ausstosses, aber auch Adaption an die leider unvermeidbaren Umweltveränderungen, welche durch global steigende Temperaturen entstehen. Da die Schadenskosten mit zunehmender Erwärmung massiv ansteigen und Anpassungen an einen ungebremsten Klimawandel mit technischen Lösungen nicht genügen und auch nicht machbar sind, braucht es eine konsequente und kontinuierliche Absenkung des Treibhausgasausstosses. Als politische Zielsetzung muss Emission Null zur Vision werden. Das heisst, dass für eine postmoderne Gesellschaft der CO₂-Ausstoss Richtung Null gehen muss. Keine Netto-Emissionen von Treibhausgasen bis 2050 hat sich beispielsweise das Land Schweden als ehrgeiziges Ziel gesetzt. Die «Vision Zero» soll auch für uns die Basis für einen mutigen, langfristigen Planungshorizont bilden.

Wir stehen vor der grossen Herausforderung, einen gesellschaftlichen Wandel hin zu einer nachhaltigen CO₂-neutralen Lebensweise zu vollziehen. Dazu müssen Klima-, Energie- und Ressourcenfragen zusammen mit zukünftigen Raumnutzungs- und Verkehrskonzepten nachhaltig und langfristig geplant werden. Vision Zero CO₂, dies ist die gewaltige Herausforderung, vor der unsere Gesellschaft steht. Um dieses Ziel zu erreichen, brauchen wir marktwirtschaftliche Instrumente, aber auch gewisse Vorschriften und Normen und vor allem die Förderung neuer Technologien, welche Effizienz und Innovation ermöglichen.

Mein Dank geht an die Wissenschaftsgemeinschaft, die zu diesem wertvollen und fundierten Bericht beigetragen hat.



Kathy Riklin, Präsidentin OcCC

Zusammenfassung und Empfehlungen

Autorenschaft

Das OcCC unter Federführung von G. Hildesheimer, R. Knutti, K. Seiler und A. Spiegel

Das Wichtigste in Kürze

Die Erwärmung der Erdatmosphäre ist offensichtlich. Sie ist zum überwiegenden Teil durch den menschgemachten CO₂-Ausstoss verursacht. Die internationale Staatengemeinschaft hat sich darauf geeinigt, die Treibhausgase in der Atmosphäre zu stabilisieren und möchte die globale Erwärmung auf weniger als plus 2 °C (im Vergleich zu vorindustriellen Zeiten), begrenzen. Auch für weniger ehrgeizige Erwärmungsziele müssen die CO₂-Emissionen in den nächsten Jahrzehnten sinken. Dazu muss die Zunahme der Emissionen bis spätestens Ende dieses Jahrzehnts gestoppt und anschliessend drastisch gesenkt werden. Der Wille für ein globales Abkommen zum Klimaschutz ist positiv zu werten, aber der vorgeschlagene Zeitplan wird der Dringlichkeit des Klimaschutzes nicht gerecht. Daraus ergeben sich zwei Konsequenzen: Erstens ist der zusätzliche Fokus auf Anpassung an den Klimawandel wichtiger denn je. Zweitens gilt es die Emissionsreduktionen gezielt voranzutreiben. Anpassung darf nicht von der Notwendigkeit weiterer, massiver Emissionsreduktionen ablenken, da der Anpassung an ein hohes Ausmass der Erwärmung vielerlei Grenzen, nicht zuletzt ökonomische, gesetzt sind.

Das Ziel die Erwärmung zu begrenzen, kann mit den bestehenden internationalen Zusagen zur Emissionsreduktion nicht erreicht werden. Im Hinblick auf eine gerechte Lastenverteilung besteht eine gemeinsame, aber unterschiedliche Verantwortung der einzelnen Staaten zur Emissionsreduktion. Die Schweiz liegt mit ihren Emissionen von ca. 6 Tonnen CO₂ (direkt in der Schweiz emittiert) oder ca. 10 Tonnen CO₂ (inkl. den grauen Emissionen im Ausland) pro Kopf und Jahr deutlich über dem globalen Durchschnitt von rund 5 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr. Mit der CO₂-Gesetzesrevision hat die Schweiz einen ersten Schritt in die richtige Richtung unternommen und zeigt auf, dass ein 20 Prozent Reduktionsziel bis 2020 erreicht werden kann. Dieser erste Schritt erfüllt aber die Anforderungen an einen langfristig verantwortungsvollen, nachhaltigen Weg noch nicht und ist mit dem globalen Schutzziel von maximal 2 °C Erwärmung nicht kompa-

tibel. Weit stärkere Reduktionen sind hierzu notwendig: Mittelfristig, bis 2050, müssen die Emissionen in der Grössenordnung von 80 bis 95 Prozent sinken (verglichen mit 1990) und langfristig – gegen Ende des 21. Jahrhunderts – gegen Null gehen, auch auf globaler Ebene. Dies kann allenfalls auch die Speicherung von anfallendem CO₂ erfordern, da einzelne Industriezweige weiterhin auf die Verwendung fossilen Kohlenstoffs angewiesen sind.

Die Schweiz hat das technische und finanzielle Potenzial, eine ambitionierte Klimapolitik erfolgreich zu betreiben. Die durch eine solche Klimaschutzpolitik zu erwartenden Veränderungen in Produktion, Handel und Verbrauch entsprechen Einkommensverlusten im bescheidenen Bereich von 0.36 bis 2.5 Prozent, verglichen mit einem Referenzszenario ohne Massnahmen. Zu beachten gilt es zudem, dass bei fortschreitendem Klimawandel zusätzlich Schadenskosten anfallen. Auch Sekundärnutzen einer ambitionierten Klimapolitik (z.B. Luftreinhaltung) sind nicht zu vernachlässigen.

Das OcCC empfiehlt eine Kombination von marktwirtschaftlichen Instrumenten, Vorschriften und Technologieförderungen, um den strategischen Herausforderungen für die Schweiz im Bereich Klimaanpassung, Energie, Wirtschaftspolitik und internationale Zusammenarbeit zu begegnen. Die Schweiz kann die Herausforderungen der Klimaveränderung aufgrund ihrer ökonomischen Situation besser meistern als viele andere Länder. Allerdings gilt es zu beachten, dass die Klimaveränderung eng verknüpft ist mit verschiedenen Makrotrends wie globales Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum in Schwellenländern, steigende Energieproduktionskosten mit gleichzeitig global steigendem Energiebedarf und den daraus entstehenden Konflikten um Ressourcen. Da die Schweiz wirtschaftlich international stark vernetzt ist, und daher auch von den indirekten Auswirkungen der Klimaveränderung betroffen ist, empfiehlt das OcCC für die Schweiz das hierzu passende Engagement in der nationalen wie auch internationalen Klimapolitik voranzutreiben.

Herausforderungen

Aus Sicht der Wissenschaft lassen sich die anstehenden Herausforderungen meistern. Sie erfordern aber eine Abkehr von gängigen Denkmustern und Lösungsansätzen, die aufgrund der günstig verfügbaren fossilen Energie die wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklung der Schweiz im 20. Jahrhundert prägten. Für eine erfolgreiche Umsetzung einer zukunftsgerichteten Klimapolitik sind insbesondere auch die Schnittstellen mit der Energie-, Verkehrs-, Raumordnungs-, Land- und Forstwirtschaftspolitik zu beachten.

Die Schweiz hat viele Möglichkeiten, ihre Emissionen zu moderaten Kosten zu reduzieren und ihre Wirtschaft in Richtung Energie- und Ressourceneffizienz zu entwickeln. Die Klimaänderung spielt sich global und in einer wirtschaftlich globalisierten Welt ab. Die Auswirkungen des Klimawandels werden mittelfristig auch die Weltwirtschaft negativ beeinflussen. Aufgrund der starken internationalen Vernetzung der schweizerischen Wirtschaft handelt die Schweiz somit in ihrem eigenen Interesse, wenn sie auf internationaler Ebene mithilft, eine ambitionierte, zukunftsgerichtete Entwicklung möglichst umgehend einzuleiten und national selbst zügig aktiv wird.

Das OcCC weist darauf hin, dass die Schweiz ungeachtet ihrer Grösse ihren Beitrag zu leisten hat. Die notwendigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Umstellungen sind auch als Chance im Hinblick auf eine zukunftsträchtige, nachhaltige Entwicklung zu verstehen.

Für eine langfristige Klimapolitik stehen die folgenden Aspekte im Zentrum:

- **Dekarbonisierung der Wirtschaft:** Die Entkopplung von Wachstum und Ressourcenverbrauch erfordert einen Strukturwandel in der Wirtschaft. Die Wirtschaft muss Bereiche erschliessen, die auf Langlebigkeit, Reparaturfähigkeit, auf gemeinsamer Nutzung von Gütern basieren. Die Politik ist gefordert, ehrgeizige Ziele im Emissions- und Effizienzbereich zu setzen und strategische Handlungsfelder zu definieren, damit die Unternehmen innerhalb dieses Regelwerks die entsprechenden Geschäftsmodelle entwickeln können.
- **Energie- und Klimapolitik:** Die Schweiz muss sich auf ihre spezifischen Stärken konzentrieren. Das Gleichziehen mit den EU-Klimazielen oder mit dem Umbau

des Energiesystems in der EU kann unter Umständen zu defensiv sein und dem wirtschaftlichen Potenzial unseres Landes nicht gerecht werden. Für die Schweiz kann es bessere, autonome Optionen geben, die künftigen Herausforderungen zu unserem Vorteil zu gestalten. Hohe Energiepreise können dabei eine entscheidende Rolle spielen. Stufenweise, planbare Erhöhungen bilden einen Motor für Effizienzinnovationen. Der Schutz einzelner Sektoren durch tiefe Energiekosten, z.B. inländischer energieintensiver Unternehmen, ist kontraproduktiv und langfristig ohnehin nicht durchsetzbar.

- **Anpassung an den Klimawandel:** Der Klimawandel hat, auch bei einer erfolgreichen Beschränkung der globalen Erwärmung auf 2 °C immer noch direkte Auswirkungen auf Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft in der Schweiz und weltweit. Einige Massnahmen zur Anpassung im Inland sind bereits eingeleitet. Die Schweiz wird als wohlhabendes industrialisiertes Land aus vielerlei Gründen, z.B. der Menge vergangener Emissionen, Beiträge zur Unterstützung der Ärmsten weltweit zu leisten haben. Zusätzlich zum globalen Klimaschutz helfen Anpassungsmassnahmen vor Ort mit, die zu erwartende Migration aufgrund der Auswirkungen des Klimawandels zu reduzieren.
- **Gesellschaftlicher Wandel:** Die anstehenden Probleme lassen sich nicht allein mit technischen Massnahmen lösen. Vielmehr ist schon jetzt klar, dass ein grundsätzlicher gesellschaftlicher Wandel hin zu einem nachhaltigeren Lebensstil notwendig ist, um die Herausforderungen zu meistern. Diesen Wandel einzuleiten erfordert einen breiten gesellschaftlichen Dialog mit Einbezug aller involvierten Akteure.

OcCC-Empfehlungen zu Zielen und Massnahmen

Politik gestalten

Mit der Revision des CO₂-Gesetzes sind die Rahmenbedingungen für die schweizerische Klimapolitik bis 2020 gesetzt worden. Um die anstehenden Herausforderungen zu meistern, reichen die Massnahmen aber nicht aus. Zum Erreichen der Klimaziele ist eine langfristig ausgelegte, kohärente und ambitioniertere Politik zu entwickeln. Damit sie umgesetzt werden kann, müssen Politik und Massnahmen von der Schweizer Bevölkerung mitgetragen werden.

Was zu tun ist

- Ziele: Die Reduktionsziele sind dem wirtschaftlichen Potenzial und der Struktur unseres Landes anzupassen. Der Nachvollzug von EU-Regelungen ist nicht unbedingt die beste Lösung. Eine autonome zukunftsgerichtete Klimapolitik kann für uns vorteilhaft sein. Das OcCC empfiehlt, ein schweizerisches CO₂-Emissionsziel bis 2050 von mindestens minus 80 Prozent gegenüber 1990 zu etablieren. Als Vision ist ein Null-Emissionsziel bis Ende Jahrhundert bereits in die Diskussion einzubeziehen. Die Schweiz hat in der Vergangenheit ihre energie- und klimapolitischen Ziele unabhängig vom Gang der internationalen Verhandlungen festgelegt und kann dies auch in Zukunft tun. Leicht kommunizierbare Ziele wie 2000-Watt-Gesellschaft, 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft und Klimaneutralität sind dabei aus politischer Sicht sinnvoll.
- Energetischer Strukturwandel: Das OcCC empfiehlt, die Energiewende möglichst rasch zu vollziehen und dabei Energieeffizienz und neue erneuerbare Energieformen ins Zentrum zu stellen. Die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen sind so zu setzen, dass das effizienteste und ökologischste Energiesystem bevorteilt wird.
- Koordination, Information und Partizipation: Die Interessen von Gesellschaft, Politik und Wirtschaft sind auf den verschiedenen Stufen gesamtheitlich zu berücksichtigen, ohne dabei eine rasche und effektive Umsetzung der Ziele aus den Augen zu verlieren. Mittel- und langfristig sind verschiedene Sektoren durch die Klimaänderung

betroffen. Nur Wenige profitieren wirklich vom Erhalt des Status quo. Eine ungenügende Antwort der Politik auf die Herausforderungen kann zu systeminhärenten Risiken führen. Viele werden dadurch zu Verlierern. Eine Allianz für eine klimaverträgliche Langfristpolitik kann die notwendigen Veränderungen erfolgreich vertreten.

- Priorisierung von Massnahmen: Bereiche mit langen Investitionszyklen, wie z.B. Gebäude und Infrastrukturen, sind auf ihre Verträglichkeit mit den Langfristzielen zu prüfen. Entsprechende Regulierungen sind anzupassen.
- Anpassung: Selbst beim Einhalten des 2 °C-Ziels werden in der Schweiz die Auswirkungen der Klimaerwärmung die heute beobachteten Veränderungen weit übersteigen. Eine Strategie für die Gestaltung der entsprechenden Anpassungsmassnahmen ist zu fördern und umzusetzen.

Massnahmen auf drei Ebenen

- Marktwirtschaftliche Instrumente: Die Lenkung durch Preissignale steht im Zentrum der Massnahmen. Die Verteuerung kohlenstoffhaltiger Rohstoffe und Energieformen ist durch die Internalisierung der externen Kosten der Klimaerwärmung begründet. Die Verteuerung kann auch mithelfen, das Risiko des «Reboundeffektes» zu vermindern, damit über Effizienzgewinne erzielte Kosteneinsparungen nicht zu einem Mehrverbrauch fossiler Rohstoffe führen.
- Vorschriften: Ist kein hinreichend effektives Anreizsystem möglich, sind strenge Vorschriften im Emissions- und Effizienzbereich festzulegen.
- Technologieförderung: Es ist ein technologie- und innovationsfreundliches Umfeld zu schaffen bzw. weiterzubetreiben, welches zur Entwicklung und Verbreitung neuer Lösungen im Bereich der Emissionsreduktion motiviert und diese mit geeigneten Massnahmen fördert.

Fakten und Hintergrund

- Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zeigen, dass der menschengemachte Klimawandel bereits begonnen hat die Welt und damit auch die Schweiz zu verändern (Erwärmung seit vorindustriellem Klima weltweit 0.8 °C, Schweiz 1.6 °C). Er wird sich fortsetzen und ohne Gegenmassnahmen beschleunigen. Veränderungen im Wasserkreislauf, Schmelzen von Meereis und Gletschern, der Anstieg des Meeresspiegels und weitere Auswirkungen wie Veränderungen in Niederschlagsregimen sind konsistent mit der beobachteten Erwärmung und menschengemachten Zunahme von Treibhausgasen in der Atmosphäre. Simulationen mit Klimamodellen zeigen, dass der grösste Teil der Erwärmung mit über 90 Prozent Wahrscheinlichkeit menschengemacht ist.
- Die Auswirkungen des Klimawandels sind vielfältig und unterscheiden sich je nach Region und Sektor. Sie hängen auch stark von den zukünftigen Emissionen von CO₂ und anderen Gasen ab. Eine umfassende Beurteilung der Auswirkungen muss alle Sektoren und auch indirekte Auswirkungen in anderen Ländern einbeziehen. Die Irreversibilität einmal eingetretener Klimaänderungen, Unsicherheiten betreffend den zukünftigen Auswirkungen oder die Unbewertbarkeiten vieler betroffener Werte (z.B. Biodiversität) lassen keine einfachen Kosten-Nutzen-Abschätzungen zu. Eine Bewertung von Temperatur-Stabilisierungszielen kann damit nicht allein durch wissenschaftliche Argumente bestimmt werden, sondern erfordert im Minimum Annahmen auch darüber, wie kurzfristige Nutzen von günstiger fossiler Energie gegenüber langfristigen Schäden und Anpassungskosten bzw. -Verlusten zu bewerten sind.
- Die Erwärmung wird von CO₂-Emissionen durch die Verbrennung von Erdöl, Kohle und Gas dominiert. Doch auch Landnutzungsänderungen können nicht vernachlässigt werden und bedürfen auch der entsprechenden Aufmerksamkeit, um das Schutzziel einhalten zu können. CO₂-Emissionen verändern das Klima und die Zusammensetzung der Atmosphäre und des Ozeans über sehr lange Zeiträume. Für eine Stabilisierung der Klimaerwärmung, egal auf welcher Temperatur, ist damit die totale CO₂-Emission über die gesamte Zeitspanne massgebend. Langfristig müssen die Emissionen daher zwingend nahe bei Null sein, um das Klima zu stabilisieren. Ohne Reduktion des CO₂-Ausstosses aus fossilen Quellen verpuffen Anstrengungen zur Reduktion weiterer Treibhausgase wirkungslos. Die Förderung von biologischen CO₂-Senken alleine kann die Klimaerwärmung nicht stoppen.
- Die im Jahr 2011 weltweit zugesicherten Emissionsreduktionen für 2020 bilden erst einen kleinen Teil der notwendigen Emissionsreduktionen. Soll das von der Staatengemeinschaft festgesetzte 2 °C-Ziel auf einem aus heutiger Sicht optimalen Pfad erreicht werden, müssen die verbleibenden Emissionsreduktionen durch zusätzliche Massnahmen erreicht werden. Selbst eine Stabilisierung auf 2.5 °C oder 3 °C Erwärmung gegenüber etwa 1900 erfordert deutliche Emissionsreduktionen bis Ende des Jahrhunderts. Stabilisierungsziele unter 2 °C sind wahrscheinlich nur mit einem temporären Überschreiten des Temperaturzielwertes und den kumulierten Emissionen und anschliessender sehr rascher Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre erreichbar.
- Um Emissionen für 2020 und 2050 zu bestimmen, sind Annahmen zu Wirtschaft, Gesellschaft und Technologie (z.B. mögliche Reduktionsraten) nötig, aber auch Urteile zu einer fairen Lastenverteilung zwischen Ländern und Generationen. Höhere Emissionen in den nächsten Dekaden erfordern stärkere Reduktionen später und verringern den zukünftigen Handlungsspielraum. Höhere Emissionen in einem Land müssen durch stärkere Reduktionen anderswo kompensiert werden. Typische, erforderliche Ziele für Industriestaaten betragen 25–40 Prozent für 2020 (gegenüber 1990) und 80–95 Prozent bis 2050.
- Ein ehrgeiziges Klimaziel kann sich aus ökonomischer Sicht bei Ausserachtlassung der Klimawandelfolgen sowohl positiv als auch negativ auswirken. Welcher Effekt überwiegt, kann nur schwer abgeschätzt werden. Den netto doch eher negativen Effekten als Folge erhöhter Energiepreise, trotz verstärkter Innovationen bei energieeffizienten Technologien, stehen möglicherweise positive Wirkungen im Steuersystem, in der

Produktivität und bei der Umweltbelastung gegenüber. Dies umso eher, als das Klimaziel mit den richtigen Instrumenten umgesetzt wird. Die Ergebnisse diverser Studien zeigen, dass ein ambitionierter, mit dem 2 °C-Ziel kompatibler Absenkpfad für die Schweiz machbar und ökonomisch gesehen durchaus verkraftbar ist.

1 Einleitung

Die meteorologischen Datenreihen aus aller Welt zeigen es deutlich: Die Erwärmung der Erdatmosphäre schreitet unaufhaltsam voran. Auf globaler Ebene stiegen die Landtemperaturen in Bodennähe seit 1850 um rund 1 °C (IPCC, 2007). Auf regionaler Ebene zeigt sich die Klimaerwärmung auch im Alpenraum deutlich. Seit dem ausgehenden 19. Jahrhundert sind die Temperaturen um fast 1.7 °C gestiegen und der Trend hält an. Die Erwärmung beträgt 0.38 °C pro Dekade (MeteoSchweiz). Auf globaler Ebene hat das IPCC mit seinen Sachstandberichten 2007 und dem kommenden Bericht 2013/14 die wissenschaftlichen Fakten zum Klimawandel zusammengetragen. Für die Schweiz fassen die Arbeiten von OcCC/ProClim 2007 (Klimaänderung und die Schweiz 2050) sowie OcCC 2008 (Das Klima ändert, was nun?) die Faktenlage zusammen. Sie zeigen auf, welche Veränderungen im Laufe des 21. Jahrhunderts zu erwarten sind. 2011 wurden zudem die neuen Klimaszenarien für die Schweiz veröffentlicht (Swiss Climate Change Scenarios CH2011). Diese bestätigen die früher veröffentlichten Trends und zeigen auf, dass insbesondere in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts mit deutlichen Veränderungen gerechnet werden muss. Für kleinere Gebiete wie die Schweiz gilt, dass die internationale Politik mit ihren Entscheiden zu den globalen zukünftigen Treibhausgasemissionen mitbestimmt, wie stark und mit welchen Auswirkungen sich der Klimawandel im 21. Jahrhundert bemerkbar machen wird.

Die internationale Gemeinschaft hat sich an der UNFCCC-Konferenz 2010 in Cancun, Mexiko, dem 2 °C-Ziel verpflichtet, das die mittlere globale Temperaturerhöhung gegenüber vorindustriellen Werten auf 2 °C beschränken will. Die Wissenschaft hat bereits im IPCC-Bericht von 2007 mit ersten Ergebnissen gezeigt, welche Emissionspfade global notwendig sind, um dieses Ziel zu erreichen. In erster Linie sind die Industrieländer und zunehmend auch die Schwellenländer mit Reduktionsmassnahmen gefordert. Somit ist klar: Auch die Schweiz muss ihren Beitrag leisten.

Das von den eidgenössischen Räten im Dezember 2011 verabschiedete neue CO₂-Gesetz zeigt den Rahmen für die nationalen Reduktionsverpflichtungen bis 2020. Ziel ist, die CO₂-Emissionen um 20 Prozent zu

reduzieren (verglichen mit 1990), und zwar durch Massnahmen im Inland. Falls internationale Vereinbarungen mit höheren Reduktionsverpflichtungen getroffen werden, kann das Reduktionsziel auf 40 Prozent erhöht werden, wobei von den zusätzlichen 20 Prozent maximal drei Viertel im Ausland kompensiert werden können.

Damit stellen sich neue Fragen: Welche Emissionsreduktionsziele müssen auf globaler Ebene angepeilt werden, um das 2 °C-Ziel zu erreichen? Welches sind die dazu passenden Ziele für die Schweiz? Welche klima- und energiepolitischen Ziele gibt es und welche sind realisierbar? Sind die notwendigen Reduktionsmassnahmen für die Schweiz auch aus ökonomischer Sicht vertretbar?

Diese Fragen werden im vorliegenden Bericht des OcCC vertieft behandelt. Im Kapitel 2 werden die zu erwartenden Auswirkungen verschiedener Klimaänderungsszenarien diskutiert. Das globale 2 °C-Klimastabilisierungsziel wird dabei mit der Entwicklung verglichen, die bei einem weitgehenden Scheitern von globalen Reduktionsmassnahmen erwartet werden muss. Kapitel 3 beschäftigt sich mit den naturwissenschaftlichen Grundlagen des Klimawandels und dem Abschätzen der zur Zielerreichung notwendigen Reduktionsmassnahmen. In Kapitel 4 werden die in der Schweiz bekannten Reduktionsziele dargelegt und im Hinblick auf ihre Tauglichkeit für die Zukunft bewertet. Kapitel 5 zeigt schliesslich auf, dass die vorgängig dargelegten Emissionsreduktionsmassnahmen aus ökonomischer Sicht vertretbar und machbar sind.

2 Hintergrund: Globale und nationale Auswirkungen der Klimaänderung

Andreas Fischlin

Systems Ecology, Institute of Integrative Biology: Ecology, Evolution, and Disease, ETH Zürich, Universitätstr. 16, 8092 Zürich, andreas.fischlin@env.ethz.ch

- Die direkten und in einer globalisierten Welt nicht zu unterschätzenden indirekten Folgen des Klimawandels wirken sich je nach Szenario, Region und Sektor unterschiedlich auf die Schweiz aus. Je ausgeprägter der Klimawandel sein wird, desto negativer sind sie zu bewerten.
- Die Schweiz ist aufgrund ihres hohen Gebirgsanteils teilweise besonders empfindlich und wäre von einem ungebremsten Klimawandel direkt und indirekt stark betroffen.
- Rechtzeitige und wirksame Klimaschutzanstrengungen zur Vermeidung eines ausgeprägten zukünftigen Klimawandels sowie Anpassungen an den schon unvermeidbar gewordenen Klimawandel können die positiven Auswirkungen nutzen und die negativen entscheidend mildern.

2.1 Einleitung

Die wissenschaftlichen Erkenntnisse zeigen, dass der menschengemachte Klimawandel bereits begonnen hat, die Welt und damit auch die Schweiz zu verändern. Der Klimawandel wird sich fortsetzen und sich ohne Gegenmassnahmen sogar sehr wahrscheinlich beschleunigen. Weltweit sind die Temperaturen seit dem 19. Jahrhundert um durchschnittlich 0.74°C gestiegen, in der Schweiz um fast 1.7°C (CH2011, 2011), da die Temperaturen über den Kontinenten im Vergleich zu den Ozeanen generell schneller ansteigen (z.B. Ceppi et al., 2010).

Höhere Temperaturen wiederum verstärken die Verdunstung über den Wasser- und Landflächen. Zudem erhöht sich die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf zu speichern um 7 Prozent pro Grad Erwärmung (Trenberth et al., 2007). Änderungen der Temperatur können daher die globale Zirkulation und damit den globalen Wasserkreislauf samt regionalen Niederschlagsmustern beeinflussen. Subtropische Regionen und angrenzende Gebiete wie der europäische Mittelmeerraum verzeichnen einen Rückgang der Sommerniederschläge. In höheren Breiten andererseits haben die winterlichen Regenmengen zugenommen (Trenberth et al., 2007). Ebenfalls gestiegen ist die Anzahl extremer Witterungsereignisse wie Starkniederschläge (Trenberth et al., 2007). In der Schweiz haben die Starkniederschläge im Winter im letzten Jahrhundert je nach Region zwischen 20 und 80 Prozent zugenommen. (Schmidli & Frei, 2005).

Mit welchen weiteren Entwicklungen ist zu rechnen? Laut den aktuellen Szenarien ist ohne direkte klimapolitische Massnahmen (rotes Szenarienband, Abbildung 3, Kapitel 3) bis 2100 mit einer Erwärmung in der Schweiz in der Grössenordnung von 5°C gegenüber dem vorindustriellen Klima zu rechnen (CH2011, 2011). Eine drastische Abkehr vom bisherigen Trend, die insbesondere eine massive Reduktion der Emissionen beinhalten würde, könnte die globale Erwärmung jedoch auf 2°C gegenüber vorindustriellen Werten reduzieren. Für die Schweiz könnte die Erwärmung damit auf ca. 3°C beschränkt werden (blaues Szenarienband, unterer Bereich, Abbildung 3, Kapitel 3). Die erwarteten Auswirkungen würden dadurch ebenfalls anders ausfallen. Um die Bedeutung des Klimawandels umfassend beurteilen zu können, müssen daher verschiedene Szenarien einander gegenüber gestellt werden (rotes vs. blaues Szenarienband, Abbildung 3, Kapitel 3).

Wie werden sich die bisherige und die erwartete zukünftige Erwärmung auswirken? Grundsätzlich wirkt sich der Klimawandel weltweit überall unterschiedlich aus. Um den potenziellen Nutzen von Klimaschutzmassnahmen zu beurteilen, müssen daher alle Auswirkungen berücksichtigt werden. Die Schweiz ist indirekt durch Folgen in anderen Ländern und direkt im Land selbst betroffen. So kann die Nachfrage nach Schweizer Produkten infolge der Auswirkungen auf ausländische Volkswirtschaften sinken. Schlechtere klimati-

sche Bedingungen in fernen Ländern können zu einer steigenden Zahl von Menschen führen, die eine neue Heimat suchen müssen, was sich auch auf die Schweiz auswirken könnte. Das Bild bliebe äusserst unvollständig, wenn bloss die direkten Auswirkungen des Klimawandels auf die Schweiz berücksichtigt würden.

Vom Klimawandel direkt betroffen sind die Bereiche Eis und Schnee, Wasser, Ökosysteme, Land-, Forst-, Jagd- und Fischwirtschaft, Infrastrukturen, Industrie und Handel, Tourismus sowie die menschliche Gesundheit. Das gilt global wie auch für die Schweiz, wobei das Ausmass der Auswirkungen unterschiedlich ist. Wichtig in diesem Zusammenhang ist die zeitliche Verzögerung, mit der das Klima auf den Anstieg der Treibhausgase reagiert: Es braucht Zeit, die Weltmeere aufzuheizen, und die Gletscher und Eisschilder schmelzen sehr langsam. Auch viele Auswirkungen verzögern sich und können für ihre Entfaltung nochmals Jahrzehnte bis Jahrhunderte beanspruchen, beispielsweise im Falle der Wälder oder instabiler werdender Berghänge durch auftauenden Permafrost. Bei der Bodenbildung können sich die Anpassungsprozesse sogar auf Jahrtausende erstrecken, wie Studien über vergangene Klimaänderungen für den Alpenraum zeigen (z.B. Henne et al., 2011). Die Dringlichkeit zur Stabilisierung der Treibhausgase sollte daher

nicht bloss aus der bisherigen Erfahrung heraus beurteilt werden, sondern auch mögliche oder absehbare langfristige Folgen berücksichtigen (z.B. Halsnæs et al., 2007). Ebenso sollte abgeklärt werden, welche Auswirkungen unumkehrbar sind.

2.2 Eis, Schnee und Wasser

Neue Studien bestätigen in Übereinstimmung mit bisherigen Erkenntnissen, dass die Gletscher nicht nur in der Schweiz (z.B. Huggel et al., 2010; Huss et al., 2010; Paul et al., 2011) (Abbildung 1), sondern weltweit mit wenigen Ausnahmen in zunehmendem Masse abschmelzen (Lemke et al., 2007). Das arktische Packeis zeigt in den letzten Jahren eine im Vergleich zu den Modellrechnungen beschleunigte Abnahme (Stroeve et al., 2007; Kwok et al., 2009; Rampal et al., 2011). Auch der grönländische Eisschild hat in den letzten Jahren in substanziellem Ausmass Eis verloren (z.B. Arndt et al., 2011; Rignot et al., 2011).

Ebenfalls betroffen von dieser Entwicklung sind der Permafrost und die Schneebedeckung. Trotz der grossen Variabilität zwischen den Jahren wird sichtbar, dass die Schneesicherheit in den Schweizer Alpen in den letzten 50 Jahren abgenommen hat (z.B. Beniston et al., 2011b). Die Veränderungen bei Eis, Schnee und Perma-

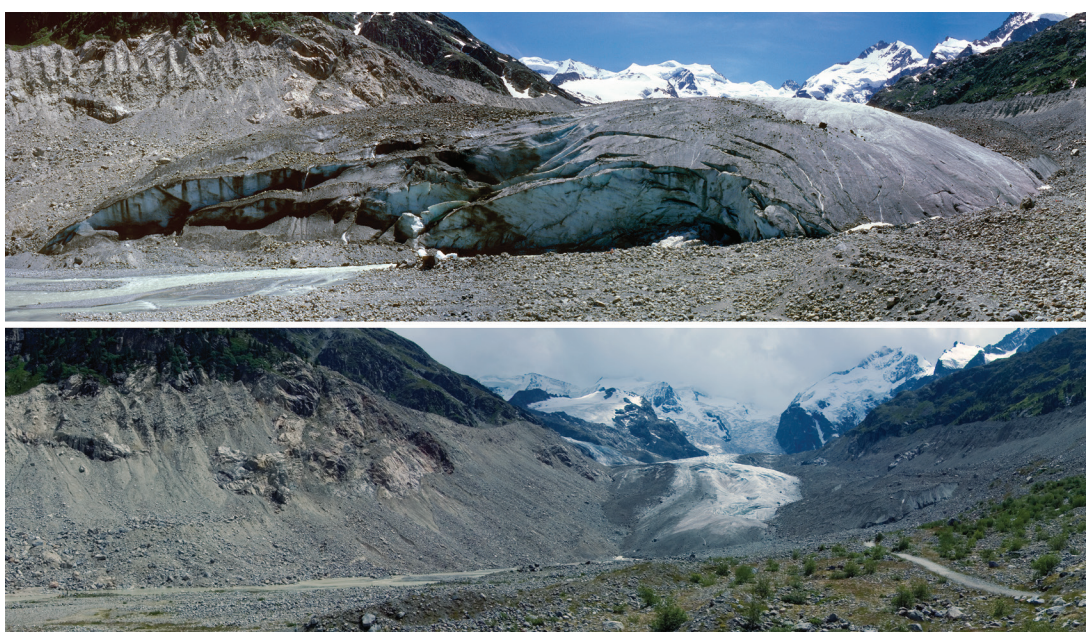


Abbildung 1: Front des Vadret da Morteratsch 1982 (oben) und 2007: Die Gletscherzunge hat sich dramatisch zurückgebildet. Der Längenverlust innerhalb dieser 25 Jahre betrug 412 Meter und illustriert den weltweiten Gletscherschwund aufgrund der bisherigen Erwärmung (global +0.74 °C, Schweiz +1.7 °C; IPCC, 2007c; CH2011, 2011). Die heutigen Modellrechnungen gehen bei einem Szenario mit hohen Treibhausgasemissionen davon aus, dass im schweizerischen Alpenraum die meisten Gletscher in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts fast gänzlich abgeschmolzen sein werden. (Quelle: Jürg Alean, Eglisau, <http://swisseduc.ch>)

frost werden sich auf andere Bereiche auswirken, z.B. den Meeresspiegel, den Wasserhaushalt und auf die in Permafrostgebieten errichteten Infrastrukturen.

Die Veränderungen im Wasserhaushalt sind vielfältig und hängen stark von der Jahreszeit ab. Auf den ersten Blick mag gar innerhalb ein und derselben Jahreszeit ein widersprüchlicher Eindruck entstehen. Einerseits zeigen die Modellrechnungen klar verringerte Sommerniederschläge und eine deutliche Verlängerung der Phasen mit ausgeprägter Sommertrockenheit (CH2011, 2011). Andererseits zeigen einige Szenarien, dass nördlich der Alpen extreme Sommerhochwasser zunehmen werden (z.B. Christensen & Christensen, 2003), ähnlich wie wir sie in der Vergangenheit mehrmals in der Schweiz erlebt haben (z.B. die Unwetter von 1987 mit den sintflutartigen Regenfällen im Juli und August sowie dem Alpenjahrhunderthochwasser vom August 2005 oder den Hochwassern Anfang August 2007).

Für die Winterniederschläge ergibt sich ein anderes Bild: Während das vergangene Jahrhundert klar einen Trend zunehmender Niederschlagssummen aufweist, zeigen die Szenarienrechnungen nur eine unmerkliche Fortsetzung dieser Trends im Verlaufe dieses Jahrhunderts (CH2011, 2011). Bei den extremen Niederschlagsereignissen hingegen zeigen die meisten Modelle im Winter für weite Teile Europas, dass die Häufigkeit von Starkniederschlägen deutlich zunimmt (Frei et al., 2006; CH2011, 2011), je nach Temperatur ebenso die zugehörigen Überschwemmungsrisiken (KOHS, 2007). Allein durch den Anstieg der Schneegrenze ist ein intensiverer Anfall an Schmelzwasser zu erwarten, was bei zusätzlich wechselhaftem Wetter insbesondere in den Übergangsjahreszeiten zu erhöhten Überschwemmungsrisiken führt, vergleichbar mit dem Ereignis vom 10./11. Oktober 2011 (CH2011, 2011). Ähnliches gilt auch für den Frühling, da infolge intensiverer Schmelzwasserabflüsse mit erhöhtem Hochwasserrisiko zu rechnen ist. Insgesamt empfiehlt sich also als Anpassung an den Klimawandel, wie immer er ausfallen wird, den Hochwasserschutz in der Schweiz zu verstärken (z.B. KOHS, 2007).

2.3 Ökosysteme, Land-, Forst-, Jagd- und Fischwirtschaft

In den Ökosystemen verändert sich als Folge des Klimawandels zunächst die Arten-

zusammensetzung. Derartige Veränderungen werden oft erst deutlich, wenn sie einen bestimmten Schwellenwert übersteigen und ganze Ökosysteme ihren Grundcharakter ändern, z.B. indem ein Wald so stark auslichtet, dass bloss noch eine Strauchlandschaft übrig bleibt, oder indem eine Alpwiese einem Wald Platz macht.

Unzählige Pflanzen und Tiere haben bereits begonnen, sich an den Klimawandel anzupassen (IPCC, 2007d; Rosenzweig et al., 2007; Rosenzweig et al., 2008). Zugvögel kommen früher bei uns an oder verlassen uns im Herbst später. Einige Zugvogelarten sind gar sesshaft geworden oder ziehen weniger weit in den Süden, da die milden Winter in Südeuropa ihnen ein Überwintern ermöglichen. Viele Pflanzen blühen früher (z.B. Defila, 2010) oder man findet sie um bis zu 100 Kilometer weiter nordwärts (z.B. Hickling et al., 2006) oder im Gebirge in höheren Lagen (z.B. Frei et al., 2010; Maggini et al., 2011). Neue Arten sind eingewandert, die zum Teil zur biologischen Vielfalt beitragen, zum Teil jedoch auch als erhebliche Schädlinge auffallen. So ist z.B. der Bergkiefernkäfer aus dem Süden in die kanadische Provinz British Columbia eingewandert und hat dort in den letzten Jahren 374 000 km² an Kieferwäldern gänzlich entnadeln und die Mehrheit der Bäume zum Absterben gebracht. Die Schäden sind nicht nur für die Forstwirtschaft beträchtlich, sondern setzen zudem grosse Mengen an CO₂ frei (Kurz et al., 2008). Die Bergkette der Rocky Mountains hat jedoch bislang dem weiteren Vordringen dieses Borkenkäfers ins kontinentale Kanada Einhalt geboten. Das Vordringen neuartiger Schädlinge oder Krankheiten bei Tieren und Pflanzen ist auch in der Schweiz möglich.

Langlebige Pflanzen und Tiere reagieren meist zeitversetzt auf klimatische Veränderungen. Insbesondere bei den Wäldern ist das Ausmass des Wandels noch nicht sichtbar, und es kann noch Jahrhunderte dauern, bis sich wieder ein neues Gleichgewicht zwischen Klima und Vegetation einstellt (z.B. Fuhrer et al., 2006; Jones et al., 2009).

Klimawandel bedeutet nicht nur eine Veränderung der mittleren Temperatur bzw. der durchschnittlichen Niederschlagsmengen, an die sich Ökosysteme allmählich anpassen müssen. Auch die Zahl und das Ausmass extremer Wetterereignisse (z.B. Dürren, Starkniederschläge, Überschwemmungen, Stürme) können sich verändern und rasch zu einschneidenden Konsequenzen für Ökosysteme füh-



Abbildung 2: Satellitenbild (NASA) vom 25. August 2007 mit Rauchfahnen über Südgriechenland. Ausgelöst durch extreme Trockenheit brannte zwischen dem 28. Juni und dem 3. September eine Fläche von 2711 km² ab.

ren. So schaffen längere Dürreperioden die Voraussetzungen für grossflächige Feuer und Waldbrände, wie sie in den letzten Jahren in allen Erdteilen gehäuft auftraten (Abbildung 2). Bei ungebremstem Klimawandel ist auch nördlich der Alpen mit einem signifikant höheren Feuerrisiko zu rechnen.

Höhere Temperaturen in Kombination mit ausreichenden Niederschlägen steigern hingegen in hohen Breitengraden die Produktivität von wichtigen Kulturpflanzen wie Weizen, Mais und Reis. Auch der Rebbau dürfte bei einer genügenden Wasserversorgung dank der Steigerung der Weinqualität in nördlicheren Regionen heutiger Anbaugelände Auftrieb erhalten. In all diesen Fällen wirkt sich der Klimawandel – zumindest vorübergehend – positiv aus. Oberhalb einer bestimmten Temperatur ist hingegen das Wachstum von Weizen, Mais, Soja, Baumwolle und Reis nicht mehr optimal, was zu erheblichen Produktivitätseinbußen führt. Die Schwellenwerte liegen beispielsweise beim Mais bei 28 °C, bei Soja bei 29 °C und bei Baumwolle bei 32 °C. Diese Werte werden in einigen Regionen, wie im Süden der USA, Afrikas und Asiens, während der warmen Jahreszeiten schon heute erreicht, was weltweit bislang zu einer jährlichen Minderung der Erträge um 40 Millionen Tonnen geführt hat. Dies entspricht fast der jährlichen Maisproduktion in ganz Brasilien.

Die Szenarien eines ungebremsten Klimawandels zeigen häufigere Sommertrockenheit (rotes Szenarienband, Abbildung 3, Kapitel 3). Eine weitere Erwärmung im Verlaufe dieses Jahrhunderts hätte demnach erhebliche Ertragsminderungen zur Folge (z.B. Lobell et al., 2011), die nur mit Hilfe von zum Teil teuren Gegenmassnahmen vermindert werden könnten, beispielsweise durch künstliche Bewässerung, das Umstellen auf trockenheitsresistentere Sorten oder gar auf ganz andere Kulturpflanzen (z.B. Finger et al., 2011).

Für die schweizerische Forstwirtschaft stellen Stürme, wie z.B. der Wintersturm «Lothar» vom 26. Dezember 1999, die wichtigsten witterungsverursachten Störungen dar (z.B. Thürig et al., 2005). Obwohl gesamteuropäische Trendanalysen für die zweite Hälfte des letzten Jahrhunderts eine Zunahme der forstlichen Sturmschäden zeigen (Schelhaas et al., 2003) und Szenarienrechnungen bei ungebremstem Klimawandel (rotes Szenarienband, Abbildung 3, Kapitel 3) gegen Ende dieses Jahrhunderts auf eine leichte Zunahme extremer Stürme hindeuten (Fuhrer et al., 2006) bestehen infolge der gegensätzlichen Trends nördlich und südlich der Alpen immer noch erhebliche Unsicherheiten (CH2011, 2011). Da möglicherweise weniger Winterstürme, dafür solche mit höheren Windspitzen denkbar sind (Catto et al., 2011), lässt sich beim heutigen Stand der Forschung

für die Forstwirtschaft keine Veränderung bei den Sturmrisiken feststellen.

Veränderte klimatische Bedingungen haben nicht nur Folgen für einzelne Tier- und Pflanzenarten, sondern verändern auch die Biodiversität, den Grundpfeiler für die Dienstleistungen der Ökosysteme. Auf globaler Ebene wird laut heutigem Wissensstand der Klimawandel bei höheren Pflanzen- und Tierarten zu einem erheblich erhöhten Aussterberisiko führen (z.B. Fischlin et al., 2007; IPCC, 2007b; Anonymous, 2011; Warren et al., 2011). Auch in der Schweiz verändert sich die Biodiversität, allerdings sterben Arten nicht über Nacht aus. Aktuell erhöht sich lokal die Diversität in höheren Lagen, weil Arten aufgrund der höheren Temperaturen umsiedeln (z.B. Frei et al., 2010). Dies zeigt, dass gewisse Pflanzen und Tiere schon begonnen haben, sich den veränderten klimatischen Bedingungen anzupassen, indem sie in höhere Lagen vordringen (z.B. Holzinger et al., 2008). Andererseits findet diese Art der Anpassung ein abruptes Ende, wenn keine höheren Lagen mehr zur Verfügung stehen. Der Verlust von Arten ist nicht nur für das betroffene Ökosystem bedeutungsvoll; er kann sich auch auf die Land- und Forstwirtschaft sowie die Medizin auswirken, indem wilde Arten für die Züchtung neuer Anbausorten oder die Herstellung neuer Medikamente fehlen.

2.4 Infrastrukturen, Industrie und Handel

Bei den Infrastrukturen sind Städte, Siedlungen und sonstige Bauten in Meeresnähe aufgrund des steigenden Meeresspiegels direkt vom Klimawandel betroffen (IPCC, 2007a). Bei ungebremstem Klimawandel könnte gegen Ende dieses Jahrhunderts der Meeresspiegel um über 40 Zentimeter ansteigen und dann jährlich über 100 Millionen Küstenanwohner zur Umsiedlung zwingen, sofern keine Gegenmassnahmen getroffen werden (Nicholls et al., 2007).

Die Klimaerwärmung wird sich auch dort auswirken, wo Bauten auf Permafrostböden stehen oder sich auf einem Untergrund befinden, der zurzeit noch durch Permafrost bzw. Gletscher stabilisiert wird. Etwa ein Viertel der Landfläche der nördlichen Hemisphäre ist Permafrostgebiet, also rund 23 Millionen km². Taut der Permafrost auf, kann dies zu massiven Schäden an Bauten, Strassen und Pipelines füh-

ren. Die sogenannte aktive Bodenschicht, die über dem darunterliegenden Permafrost saisonal einen Tau- und Gefrierzyklus durchläuft, ist heute doppelt so tief wie zu Beginn des letzten Jahrhunderts (Anisimov et al., 2007). Das saisonale Auftauen kann zum Unterbruch jeglicher Verkehrsverbindungen in abgelegene Regionen führen. Im hohen Norden sind viele Strassen schon heute aufgrund des auftauenden Permafrosts während 40 Prozent des Jahres nicht mehr benutzbar.

In der Schweiz sind 15 Prozent der Bergbahnen auf Permafrost gebaut (z.B. Noetzi & Vonder Muehl, 2010). Deren Stabilität ist damit möglicherweise gefährdet, was teure Anpassungsmassnahmen zur Folge haben kann. Zudem ist mit dem Auftauen des Permafrosts und der Gletscherschmelze vermehrt mit Steinschlag, Erdbeben, Murgängen und Überschwemmungen zu rechnen.

Auch vermehrte Hitzewellen werden sich ungünstig auswirken. So kommen beispielsweise die Klimaanlagen in den Zügen in solchen Perioden an ihre Leistungsgrenze. Durch die hohen Temperaturen kann es auch vermehrt zu Verwerfungen kommen, d.h. seitlichen Verschiebungen der Geleise, wodurch sich die Gefahr von Entgleisungen erhöht. Während des Hitzesommers 2003 verzeichneten die Bahnunternehmen rund 50 Prozent mehr Verwerfungen als in durchschnittlichen Sommern. Durch bauliche Massnahmen lassen sich die Schienen so anpassen, dass sie die höheren Temperaturen schadlos überstehen. Dies ist jedoch mit einem entsprechenden Mehraufwand verbunden.

Auch bei der Wasserversorgung ist mit Veränderungen zu rechnen: Gemäss den Klimaszenarien werden die Gletscher in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts stark abgeschmolzen sein (z.B. Juvet et al., 2011a; Juvet et al., 2011b). Dies wirkt sich auf die Wasserführung der Flüsse und damit auch auf die Grundwasserspeisung aus (z.B. Vanham et al., 2009). Die neuesten Szenarien CH2011 zeigen für das A2-Szenario bis Ende dieses Jahrhunderts eine durchschnittliche Abnahme der Sommerniederschläge um 21 bis 28 Prozent gegenüber heutigen Verhältnissen (CH2011, 2011) und infolge des Abschmelzens der Gletscher sowie der erhöhten Verdunstung einen um 23 Prozent verminderten jährlichen Wasserabfluss (Huss et al., 2010).

In zukünftigen Trockenperioden ist deshalb mit Wasserknappheit und sich konkurrenzierenden Ansprüchen zu rechnen. Die Landwirtschaft beansprucht in Europa

42 Prozent des Frischwassers, aber auch die Stromwirtschaft ist z.B. für die Stromproduktion in Flusskraftwerken und die Wasserkühlung der Kernkraftwerke auf eine ausreichende Wasserführung angewiesen. Im Hitzesommer 2003 mussten in Europa sechs Kernkraftwerke ganz abgestellt werden; in vielen anderen Kraftwerken führte das geringere Wasserangebot zu spürbaren Einbussen bei der Stromproduktion (Alcamo et al., 2007; Ruebelke & Voegelé, 2011).

Neue Untersuchungen (Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und Hydrologische Kommission, 2011) zeigen zwar, dass die erhöhten Winterniederschläge den Rückgang der Sommerniederschläge bei der Stromproduktion teilweise kompensieren, sofern die Treibhausgasemissionen gemäss dem mittleren Szenario A1B (dicke Linie im roten Szenarienband, Abbildung 3, Kapitel 3) verlaufen. Sollten die Emissionen jedoch den bisherigen Trends folgen (oberes rotes Szenarienband, Abbildung 3, Kapitel 3) ist nicht auszuschliessen, dass die Kompensation durch die Winterniederschläge ungenügend ausfällt und vermehrt saisonale Wasserknappheiten auftreten (Beniston et al., 2011a; Huss, 2011). Dies würde Anpassungsmassnahmen erfordern, etwa erhebliche Investitionen in zusätzliche Stauseen und Pumpspeicherkraftwerke.

2.5 Gesundheit

Der Hitzesommer 2003 war ein Extremereignis, das europaweit rund 70 000 Todesopfer forderte (Robine et al., 2008). Obwohl die Mehrheit der Todesopfer ältere Menschen waren, zeigten Untersuchungen, dass diese Todesfälle zusätzlich anfielen und deshalb dem Hitzesommer zuzuschreiben sind. Durch eine bessere Vorsorge und eine entsprechend verstärkte Betreuung hätten sich zwar vermutlich viele Todesfälle vermeiden lassen; doch die Hitzewelle hat die empfindlichsten Menschen derart stark betroffen, dass sich nicht alle Todesfälle hätten vermeiden lassen. Sollte sich das Klima gemäss dem Szenario A2 entwickeln (oberes rotes Szenarioband, Abbildung 3, Kapitel 3), müsste gegen Ende des Jahrhunderts (z.B. Jouvét et al., 2011a; Jouvét et al., 2011b; Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und Hydrologische Kommission, 2011) im Durchschnitt mit gleich heissen Sommertemperaturen gerechnet werden wie im Rekordsommer 2003 (Schär et al., 2004). Je nach Umfang der vorsorglichen Massnahmen ist mit

mehr oder weniger starken negativen Folgen für Mensch und Tier zu rechnen. (D'Ippoliti et al., 2010; Hayhoe et al., 2010).

Neue Studien, die nebst der Temperatur auch die Luftfeuchtigkeit berücksichtigen (Fischer & Schär, 2010), zeigen, dass das gesundheitliche Risiko für Menschen bei gleicher Temperatur mit der relativen Luftfeuchtigkeit ansteigt. MeteoSchweiz warnt daher nicht nur dann vor Hitze, wenn die Temperaturen bestimmte Schwellenwerte zu übersteigen drohen, sondern insbesondere auch, wenn mit einer hohen relativen Luftfeuchtigkeit gerechnet werden muss.

Die Zahl der Tage, an denen der Schwellenwert für eine Hitzewarnung überschritten wird, erhöht sich für das Erwärmungsszenario A1B in weiten Teilen Europas (dicke Linie im roten Szenarienband, Abbildung 3, Kapitel 3) von bisher selten (0 bis 2 Tage pro Sommer) auf 30 Tage pro Sommer. Dies trifft insbesondere auch für viele grössere Städte zu, wie z.B. Lissabon, Marseille, Rom, Budapest und Athen (z.B. Fischer & Schär, 2010). Setzt sich der Klimawandel ungebremsst fort (rotes Szenarioband, Abbildung 3, Kapitel 3), ist zu erwarten, dass sich die gesundheitlichen Risiken nochmals signifikant erhöhen werden. Bei längeren Hitzewellen müsste deshalb trotz intensivster Anpassungsmassnahmen immer noch mit zahlreichen Hitzetoten gerechnet werden (Confalonieri et al., 2007).

2.6 Fazit

Die Schweiz reagiert aufgrund ihres hohen Gebirgsanteils teilweise besonders empfindlich auf den Klimawandel. Die direkten und indirekten Folgen wirken sich je nach Sektor unterschiedlich aus. Sie sind umso negativer zu bewerten, je ausgeprägter der Klimawandel ist. Eine ganzheitliche Klimapolitik der Schweiz sollte daher sowohl Aspekte der Anpassung als auch des Klimaschutzes berücksichtigen. Eine Einbettung in den internationalen Klimaschutz ist grundsätzlich zu empfehlen; die Bemühungen um ein internationales Abkommen sind zu verstärken, sofern das international vereinbarte Schutzziel von 2°C eingehalten werden soll. Allerdings gilt es zu beachten, dass selbst bei Erreichen des 2°C-Ziels Anpassungsmassnahmen aufgrund des bereits erfolgten bzw. nicht mehr abwendbaren Klimawandels erforderlich sind. Entsprechende Klimaschutzanstrengungen können jedoch die negativen Auswirkungen entscheidend mildern.

Literatur

- Alcamo, J., Moreno, J.M., Nováky, B., Bindi, M., Corobov, R., Devoy, R.J.N., Giannakopoulos, C., Martin, E., Olesen, J.E. & 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.
- Anisimov, O.A., Vaughan, D.G., Callaghan, T.V., Furgal, C., Marchant, H., Prowse, T.D., Vilhjálmsson, H. & Walsh, J.E., 2007. Polar regions (Arctic and Antarctic). 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. 653–685.
- Anonymous, 2011. Biodiversity on the brink. *Nature Clim. Change*, 1(6): 275–275. doi: 10.1038/nclimate1223 (<http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1223>)
- Arndt, D.S., Blunden, J. & Baringer, M.O., 2011. State of the climate in 2010. *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 92(6): S1–S266. doi: <http://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate/2010.php> (<http://dx.doi.org/http://www.ncdc.noaa.gov/bams-state-of-the-climate/2010.php>)
- Beniston, M., Stoffel, M. & Hill, M., 2011a. Impacts of climatic change on water and natural hazards in the Alps: Can current water governance cope with future challenges? Examples from the European «ACQWA» project. *ELSEVIER SCI LTD*, 14(7): 734–743. doi: 10.1016/j.envsci.2010.12.009 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2010.12.009>)
- Beniston, M., Uhlmann, B., Goyettea, S. & Ignacio Lopez-Moreno, J., 2011b. Will snow-abundant winters still exist in the Swiss Alps in an enhanced greenhouse climate? *Int. J. Climatol.*, 31(9): 1257–1263. doi: 10.1002/joc.2151 (<http://dx.doi.org/10.1002/joc.2151>)
- Catto, J.L., Shaffrey, L.C. & Hodges, K.I., 2011. Northern Hemisphere extratropical cyclones in a warming climate in the HiGEM high-resolution climate model. *J. Clim.*, 24(20): 5336–5352. doi: 10.1175/2011jcli4181.1 (<http://dx.doi.org/10.1175/2011jcli4181.1>)
- Ceppi, P., Scherrer, S.C., Fischer, A.M. & Appenzeller, C., 2010. Revisiting Swiss temperature trends 1959–2008. *Int. J. Climatol.*: n/a-n/a. doi: 10.1002/joc.2260 (<http://dx.doi.org/10.1002/joc.2260>)
- CH2011, 2011. *Swiss Climate Change Scenarios CH2011*. ISBN 978-3-033-03065-7, published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC, Zurich, Switzerland, 88 pp.
- Christensen, J.H. & Christensen, O.B., 2003. Climate modelling: severe summertime flooding in Europe. *Nature*, 421(6925): 805–806. doi: 10.1038/421805a (<http://dx.doi.org/10.1038/421805a>)
- Confalonieri, U., Menne, B., Akhtar, R., Ebi, K.L., Hauengue, M., Kovats, R.S., Revich, B. & 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.
- D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., De'donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K., Kirchmayer, U., Analitis, A., Medina-Ramon, M., Paldy, A., Atkinson, R., Kovats, S., Bisanti, L., Schneider, A., Lefranc, A., Iniguez, C. & Perucci, C.A., 2010. The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project. *Environ. Health*, 9: 37. doi: 10.1186/1476-069x-9-37 (<http://dx.doi.org/10.1186/1476-069x-9-37>)
- Defila, C., 2010. Phenological retrospective 2009. *Agrarforsch. Schweiz*, 1(7-8): 266–271
- Finger, R., Hediger, W. & Schmid, S., 2011. Irrigation as adaptation strategy to climate change – a biophysical and economic appraisal for Swiss maize production. *Clim. Chang.*, 105(3-4): 509–528. doi: 10.1007/s10584-010-9931-5 (<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-010-9931-5>)
- Fischer, E.M. & Schär, C., 2010. Consistent geographical patterns of changes in high-impact European heatwaves. *Nature Geosci.*, 2010(3): 398–403. doi: 10.1038/ngeo866 (<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo866>)
- Fischlin, A., Midgley, G.F., Price, J.T., Leemans, R., Gopal, B., Turley, C., Rounsevell, M.D.A., Dube, O.P., Tarazona, J. & 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.
- Frei, C., Scholl, R., Fukutome, S., Schmidli, R. & Vidale, P.L., 2006. Future change of precipitation extremes in Europe: Intercomparison of scenarios from regional climate models. *J. Geophys. Res. D*, 111(D6): D06105. doi: 10.1029/2005jd005965 (<http://dx.doi.org/10.1029/2005jd005965>)

- Frei, E., Bodin, J. & Walther, G.R., 2010. Plant species' range shifts in mountainous areas-all uphill from here? *Bot. Helv.*, 120(2): 117–128. doi: 10.1007/s00035-010-0076-y (<http://dx.doi.org/10.1007/s00035-010-0076-y>)
- Fuhrer, J., Beniston, M., Fischlin, A., Frei, C., Goyette, S., Jasper, K. & Pfister, C., 2006. Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland. *Clim. Change*, 79(1-2): 79–102. doi: 10.1007/s10584-006-9106-6 (<http://dx.doi.org/10.1007/s10584-006-9106-6>)
- Halsnæs, K., Shukla, P., Ahuja, D., Akumu, G., Beale, R., Edmonds, J., Gollier, C., Grübler, A., Duong, M.H., Markandya, A., McFarland, M., Nikitina, E., Sugiyama, T., Villavicencio, A. & Zou, J., 2007. Framing issues. In: Metz, B., Davidson, O.R., Bosch, P.R., Dave, R. & Meyer, L.A. (eds.), *Climate change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 117–167.
- Hayhoe, K., Sheridan, S., Kalkstein, L. & Greene, S., 2010. Climate change, heat waves, and mortality projections for Chicago. *J. Great Lakes Res.*, 36(Suppl 2): 65–73. doi: 10.1016/j.jglr.2009.12.009 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.jglr.2009.12.009>)
- Henne, P.D., Elkin, C.M., Reineking, B., Bugmann, H. & Tinner, W., 2011. Did soil development limit spruce (*Picea abies*) expansion in the Central Alps during the Holocene? Testing a palaeobotanical hypothesis with a dynamic landscape model. *J. Biogeogr.*, 38(5): 933–949. doi: 10.1111/j.1365-2699.2010.02460.x (<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02460.x>)
- Hickling, R., Roy, D., Hill, J., Fox, R. & Thomas, C., 2006. The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Glob. Chang. Biol.*, 12(3): 450–455. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01116.x (<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01116.x>)
- Holzinger, B., Huelber, K., Camenisch, M. & Grabherr, G., 2008. Changes in plant species richness over the last century in the eastern Swiss Alps: elevational gradient, bedrock effects and migration rates. *Plant Ecol.*, 195(2): 179–196. doi: 10.1007/s11258-007-9314-9 (<http://dx.doi.org/10.1007/s11258-007-9314-9>)
- Huggel, C., Salzmann, N., Allen, S., Caplan-Auerbach, J., Fischer, L., Haeberli, W., Larsen, C., Schneider, D. & Wessels, R., 2010. Recent and future warm extreme events and high-mountain slope stability. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 368(1919): 2435–2459. doi: 10.1098/rsta.2010.0078 (<http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2010.0078>)
- Huss, M., 2011. Present and future contribution of glacier storage change to runoff from macro-scale drainage basins in Europe. *Water Resour. Res.*, 47: W07511. doi: 10.1029/2010wr010299 (<http://dx.doi.org/10.1029/2010wr010299>)
- Huss, M., Usselman, S., Farinotti, D. & Bauder, A., 2010. Glacier mass balance in the south-eastern Swiss Alps since 1900 and perspectives for the future. *Erdkunde*, 64(2): 119–140. doi: 10.3112/erdkunde.2010.02.02 (<http://dx.doi.org/10.3112/erdkunde.2010.02.02>)
- IPCC, 2007a. Summary for policymakers. 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, UK and New York, NY, USA, pp. 1–18.
- 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. Summary for Policymakers of the Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report. In: *Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1–22.
- IPCC, 2007d. Technical summary. 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. 23–78.
- Jones, C., Lowe, J., Liddicoat, S. & Betts, R., 2009. Committed terrestrial ecosystem changes due to climate change. *Nature Geosci.*, 2(7): 484–487. doi: 10.1038/ngeo555 (<http://dx.doi.org/10.1038/ngeo555>)
- Jouvet, G., Huss, M., Funk, M. & Blatter, H., 2011a. Modelling the retreat of Grosser Aletschgletscher, Switzerland, in a changing climate. *INT GLACIOL SOC*, 57(206): 1033–1045. doi: 10.3189/002214311798843359 (<http://dx.doi.org/10.3189/002214311798843359>)
- Jouvet, G., Picasso, M., Rappaz, J., Huss, M. & Funk, M., 2011b. Modelling and numerical simulation of the dynamics of glaciers including local damage effects. *Math. Model. Nat. Phenomena*, 6(5): 263–280. doi: 10.1051/mmnp/20116510 (<http://dx.doi.org/10.1051/mmnp/20116510>)
- KOHS, 2007. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Ein Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS). 99(1): 55–57. doi: http://www.swv.ch/Dokumente/Fachartikel-SWV-28Download-Ordner29/Klima-und-Hochwasserschutz_WEL-1-2007.pdf (http://dx.doi.org/http://www.swv.ch/Dokumente/Fachartikel-SWV-28Download-Ordner29/Klima-und-Hochwasserschutz_WEL-1-2007.pdf)

- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T. & Safranyik, L., 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. *Nature*, 452(7190): 987–990. doi: 10.1038/nature06777 (<http://dx.doi.org/10.1038/nature06777>)
- Kwok, R., Cunningham, G.F., Wensnahan, M., Rigor, I. & Zwally, H.J.Y.D., 2009. Thinning and volume loss of the Arctic Ocean sea ice cover: 2003–2008. *J. Geophys. Res. C*, 114: C07005. doi: 10.1029/2009jc005312 (<http://dx.doi.org/10.1029/2009jc005312>)
- Lemke, P., Ren, J., Alley, R.B., Allison, I., Carrasco, J., Flato, G., Fujii, Y., Kaser, G., Mote, P., Thomas, R.H. & 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, UK and New York, NY, USA, pp. 337–383.
- Lobell, D.B., Bänziger, M., Magorokosho, C. & Vivek, B., 2011. Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Rep. Clim. Change* (Published online: 13 March 2011): 1–4. doi: 10.1038/nclimate1043 (<http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1043>)
- Maggini, R., Lehmann, A., Kery, M., Schmid, H., Beniston, M., Jenni, L. & Zbinden, N., 2011. Are Swiss birds tracking climate change? Detecting elevational shifts using response curve shapes. *Ecol. Model.*, 222(1): 21–32. doi: 10.1016/j.ecolmodel.2010.09.010 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.09.010>)
- Nicholls, R.J., Wong, P.P., Burkett, V., Codignotto, J., Hay, J., McLean, R., Ragoonaden, S. & Woodroffe, C.D., 2007. Coastal systems and low-lying areas. 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 a.o., pp. 315–357.
- Noetzli, J. & Vonder Muehll, D. (eds.), 2010. PERMOS 2010: Permafrost in Switzerland 2006/2007 and 2007/2008. *Glaciological Report Permafrost No. 8/9*, Cryospheric Commission of the Swiss Academy of Sciences c/o University of Fribourg, Fribourg, Switzerland, 68 pp.
- Paul, F., Bauder, A., Marty, C. & Nötzli, J., 2011. Schnee, Gletscher und Permafrost 2009/10 – Kryosphärenbericht der Schweizer Alpen. *Die Alpen*, 87(7): 46–52. doi: http://alpen.sac-cas.ch/de/archiv/2011/201107/ad_2011_07_09.pdf (http://dx.doi.org/http://alpen.sac-cas.ch/de/archiv/2011/201107/ad_2011_07_09.pdf)
- Rampal, P., Weiss, J., Dubois, C. & Campin, J.M., 2011. IPCC climate models do not capture Arctic sea ice drift acceleration: Consequences in terms of projected sea ice thinning and depar. *J. Geophys. Res. C*, 116: C00D07. doi: 10.1029/2011jc007110 (<http://dx.doi.org/10.1029/2011jc007110>)
- Rignot, E., Velicogna, I., van den Broeke, M.R., Monaghan, A. & Lenaerts, J., 2011. Acceleration of the contribution of the Greenland and Antarctic ice sheets to sea level rise. *Geophys. Res. Lett.*, 38: L05503. doi: 10.1029/2011gl046583 (<http://dx.doi.org/10.1029/2011gl046583>)
- Robine, J.M., Cheung, S.L.K., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.P. & Herrmann, F.R., 2008. Death toll exceeded 70 000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biol.*, 331(2): 171–U5. doi: 10.1016/j.crvi.2007.12.001 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.crvi.2007.12.001>)
- Rosenzweig, C., Casassa, G., Karoly, D.J., Imeson, A., Liu, C., Menzel, A., Rawlins, S., Root, T.L., Seguin, B. & 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.
- Rosenzweig, C., Karoly, D., Vicarelli, M., Neofotis, P., Wu, Q.G., Casassa, G., Menzel, A., Root, T.L., Estrella, N., Seguin, B., Tryjanowski, P., Liu, C.Z., Rawlins, S. & Imeson, A., 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature*, 453(7193): 353–U20. doi: 10.1038/nature06937 (<http://dx.doi.org/10.1038/nature06937>)
- Ruebelke, D. & Voegelé, S., 2011. Impacts of climate change on European critical infrastructures: The case of the power sector. *Environ. Sci. Pol.*, 14(1): 53–63. doi: 10.1016/j.envsci.2010.10.007 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.envsci.2010.10.007>)
- Schär, C., Vidale, P.L., Lüthi, D., Frei, C., Häberli, C., Liniger, M.A. & Appenzeller, C., 2004. The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427(6972): 332–336. doi: 10.1038/nature02300 (<http://dx.doi.org/10.1038/nature02300>)
- Schelhaas, M.J., Nabuurs, G.J. & Schuck, A., 2003. Natural disturbances in the European forests in the 19th and 20th centuries. *Global Change Biol.*, 9(11): 1620–1633. doi: 10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x (<http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00684.x>)
- Schmidli, J. & Frei, C., 2005. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century. *Int. J. Climatol.*, 25(6): 753–771. doi: 10.1002/joc.1179 (<http://dx.doi.org/10.1002/joc.1179>)

- Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und Hydrologische Kommission, 2011. Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserkraftnutzung – Synthesebericht. In: Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie und Hydrologische Kommission (ed.), Beitr. Hydrol. Schweiz. Universität Bern, Bern, Switzerland, p. 28.
- Stroeve, J., Holland, M.M., Meier, W., Scambos, T. & Serreze, M.C., 2007. Arctic sea ice decline: Faster than forecast. *Geophys. Res. Lett.*, 34: L09501, doi:10.1029/2007GL029703. doi: 10.1029/2007gl029703 (<http://dx.doi.org/10.1029/2007gl029703>)
- Thürig, E., Palosuo, T., Bucher, J. & Kaufmann, E., 2005. The impact of windthrow on carbon sequestration in Switzerland: a model-based assessment. *For. Ecol. Manage.*, 210(1-3): 337–350. doi: 10.1016/j.foreco.2005.02.030 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2005.02.030>)
- Trenberth, K.E., Jones, P.D., Ambenje, P., Bojariu, R., Easterling, D., Klein Tank, A., Parker, D., Rahimzadeh, F., Renwick, J.A., Rusticucci, M., Soden, B. & Zhai, P., 2007. Observations: surface and atmospheric climate change. 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, UK and New York, NY, USA, pp. 235–336.
- Vanham, D., Fleischhacker, E. & Rauch, W., 2009. Impact of an extreme dry and hot summer on water supply security in an alpine region. *Water Sci. Technol.*, 59(3): 469–477. doi: 10.2166/wst.2009.887 (<http://dx.doi.org/10.2166/wst.2009.887>)
- Warren, R., Price, J., Fischlin, A., Midgley, G. & Santiago de la Nava, S., 2011. Increasing impacts of climate change upon ecosystems with increasing global mean temperature rise. 106: 141–177

3 Der Einfluss der Treibhausgasemissionen auf das Klima

Fortunat Joos

Klima- und Umweltphysik, Physikalisches Institut und Oeschger Zentrum für Klimaforschung, Universität Bern, Sidlerstrasse 5, 3012 Bern, fortunat.joos@oeschger.unibe.ch

Reto Knutti

Institute for Atmospheric and Climate Science, ETH Zürich, Universitätstrasse 16, 8092 Zürich, reto.knutti@env.ethz.ch

- Die globale mittlere Oberflächentemperatur ist ein allgemeiner Klimaindikator. Je nach Region verändern sich Temperatur, Niederschlag und Wind sowie die Häufigkeit und Schwere von Hitzewellen, Dürren, Starkniederschlägen und Überschwemmungen unterschiedlich stark.
- Die jährliche Zunahme der Treibhausgasemissionen liegt deutlich über dem Pfad, der mit dem oft erwähnten Ziel einer globalen Erwärmung von höchstens 2 °C verträglich ist.
- CO₂-Emissionen aus fossilen Brennstoffen dominieren die jetzige Klimaerwärmung, im Vergleich zu anderen CO₂-Quellen, anderen Treibhausgasen und natürlichen Faktoren. Es wird erwartet, dass fossile Quellen auch in Zukunft eine dominante Rolle spielen werden.
- Die CO₂-Emissionen, welche durch die Nutzung von Erdöl, Gas und Kohle entstehen, sammeln sich im Klimasystem an und beeinflussen das Klima und die Zusammensetzung der Atmosphäre und Ozeane irreversibel über die nächsten Jahrtausende.
- Die weltweiten CO₂-Emissionen müssen fallen und langfristig gegen Null sinken, um eine Stabilisierung der Temperatur auf der Erdoberfläche zu erreichen.
- Ohne Reduktion des CO₂-Ausstosses aus fossilen Quellen verpuffen Anstrengungen zur Reduktion weiterer Treibhausgase wirkungslos. Die Förderung von biologischen CO₂-Senken alleine kann die Klimaerwärmung nicht stoppen.
- Je eher es gelingt, effektive Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen umzusetzen, desto wahrscheinlicher ist es, dass die Klimaerwärmung verlangsamt und beschränkt werden kann. Die lange Aufenthaltszeit von CO₂ in der Luft, die Trägheit des Klimasystems und des ökonomischen Systems erfordern rasche Entscheide, damit spezifische Klimaziele erreicht werden können.
- Je früher Massnahmen ergriffen werden, desto mehr Handlungsspielraum bleibt für die Zukunft.

3.1 Einleitung

Die menschengemachte Klimaerwärmung wird durch die Emissionen von Kohlendioxid (CO₂), weiteren Treibhausgasen und Aerosolen bestimmt. Mit Hilfe von Modellen des Erdsystems können mögliche Entwicklungen des Klimas für verschiedene Emissionsszenarien berechnet und folgende Fragen beantwortet werden (Siegenthaler, 1978; Schimel, 1997):

Wie kann eine langfristige Stabilisierung der menschengemachten Klimaerwärmung erreicht werden? Wieviel CO₂ und andere

Gase dürfen emittiert werden, wenn das Klima stabilisiert werden soll? Inwieweit ist die weitere zukünftige Klimaerwärmung noch vermeidbar? Welche Änderungen sind aufgrund der Trägheit im Energie- und im Klimasystem in den nächsten Jahrzehnten unvermeidlich?

Einige der berechneten Szenarien sehen wirksame und ausserordentlich grosse Anstrengungen zur Vermeidung zukünftiger Emissionen vor. Werden diese mit Szenarien verglichen, welche keine solchen Anstren-

gungen vorsehen, lässt sich abschätzen, welche Effekte vermiedene Emissionen haben werden.

Die globale mittlere Oberflächentemperatur ist einer der besten globalen Indikatoren, um verschiedene Szenarien zu vergleichen. Veränderungen dieses Klimaindikatoren sind mit regional unterschiedlichen Veränderungen von Temperatur, Niederschlag, Wind, Häufigkeit und Schwere von Hitzewellen und Dürren, Starkniederschlägen und Überschwemmungen verknüpft.

3.2 Ausgangslage: Die globale Klimaerwärmung hat sich in den letzten Jahren fortgesetzt

Die physikalischen Auswirkungen der menschgemachten Störung des Klimas sind durch Beobachtungen sehr gut dokumentiert (IPCC, 2007a, CH-2050, Übersetzung des SPM AR4). CO₂-Emissionen aus menschlichen Aktivitäten verändern die Zusammensetzung der Atmos-

phäre und den geochemischen Zustand der Ozeane in einem Ausmass, das wahrscheinlich ausserhalb der natürlichen Bandbreite der letzten Million Jahre liegt. Die gegenwärtige atmosphärische CO₂-Konzentration von 390 ppm liegt weit über der natürlichen Bandbreite von 172 bis 300 ppm, die in Eisbohrkernen für die letzten 800 000 Jahre dokumentiert ist (Lüthi et al., 2008). Die Veränderung der CO₂-Konzentration erfolgt mit vergleichsweise hoher Geschwindigkeit. Die Rate des CO₂-Anstiegs und die Störung der Energiebilanz der Erdatmosphäre durch die Treibhausgase CO₂, Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) in der industriellen Periode übersteigen die natürlichen Raten mindestens der letzten 16 000 Jahre (Joos and Spahni, 2008). Die CO₂-Emissionen führen zu einem Ansteigen des Säuregehalts in den Ozeanen. Dieser Prozess wird als Ozeanversauerung bezeichnet (Steinacher, 2009; Caldeira, 2003; Doney, 2009).

Die Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig: Beobachtungen dokumentieren den

Box 3.1: CO₂-Emissionen der Schweiz

46 Millionen Tonnen CO₂ wurden 2010 direkt in der Schweiz freigesetzt.^a Von diesen inländischen CO₂-Emissionen entfallen rund 38 Prozent auf Treibstoffe, 48 Prozent auf Brennstoffe und die verbleibenden 14 Prozent auf diverse andere Quellen. Über den Zeitraum zwischen 1990 und 2010 haben die CO₂-Emissionen aus Treibstoffen um rund 13 Prozent zugelegt. Dem steht eine Abnahme um 12 Prozent bei den Brennstoffen gegenüber. Diese Abnahme ist zur Hälfte auf die warme Witterung im Bezugszeitraum und dem damit verbundenen geringeren Heizenergieverbrauch zurückzuführen. Ein wesentlicher Teil der durch die Schweiz mitverursachten CO₂-Emissionen, die so genannten «grauen» CO₂-Emissionen, sind mit dem Import und Export von Gütern und Dienstleistungen verbunden. Jungbluth N. (2007) schätzt diesen Anteil auf 78 Prozent der inländischen Emissionen.

Die Schweiz ist mit einem Weltbevölkerungsanteil von ca. 1 Promille und geschätzten 80 Millionen Tonnen CO₂ für etwa 2 Promille der weltweiten, menschgemachten CO₂-Emissionen verantwortlich. Die durchschnittlichen Pro-Kopf-Emissionen der Schweizer Bevölkerung^b sind mit ca. 6 Tonnen CO₂ (direkt in der Schweiz emittiert) oder rund 10 Tonnen CO₂ (inkl. den grauen Emissionen) pro Jahr deutlich über dem globalen Durchschnitt von rund 5 Tonnen CO₂ pro Kopf und Jahr.^c

Im Kyoto-Protokoll werden die Emissionen verschiedener Treibhausgase und nicht nur von CO₂ betrachtet. Die Emissionen einzelner Gase werden in CO₂-Äquivalenten (CO₂ eq) ausgedrückt. Die totalen inländischen Treibhausgasemissionen gemäss dem Kyoto-Protokoll haben sich über die Periode 1990 bis 2010 kaum verändert. Sie schwankten zwischen 51 und 55 Millionen Tonnen CO₂ eq pro Jahr.^d

a) Bundesamt für Umwelt. Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, Aktualisierung vom 13.4.2012 für das Jahr 2010 (<http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de>); 2012. Dazu kommen noch rund 4 Mio. t CO₂ aus dem internationalen Flug- und Schifffverkehr.

b) Bundesamt für Statistik: <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand/02.html>, 28. Juni 2012; Bevölkerung 2010: Total 7 870 134 Personen.

c) Weltbevölkerung rund 7 Mia.; globale Emissionen total rund 37 GtCO₂/yr

d) Bundesamt für Umwelt. Emissionen nach CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, Aktualisierung vom 13.4.2012 für das Jahr 2010, <http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de>; 2012.

Anstieg der mittleren globalen Luft- und Meerestemperaturen, das ausgedehnte Abschmelzen von Schnee und Eis, den Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels sowie Veränderungen der atmosphärischen Zirkulation und der Niederschläge (IPCC, 2007a). Die letzte Dekade (2000 bis 2009) war im globalen Durchschnitt die wärmste seit Beginn der instrumentellen Messungen (<http://data.giss.nasa.gov/gistemp>). Rekonstruktionen des Klimas der letzten 1000 Jahre legen nahe, dass menschliche Einflüsse den Bereich der Temperaturschwankungen um 75 Prozent erweitert haben und die globale Temperatur Ende des 20. Jahrhunderts um 0.3 °C höher lag als während den natürlichen Warmphasen des letzten Jahrtausends (Frank et al., 2010).

Der beobachtete Klimawandel wird sich fortsetzen. Die untersuchten Emissionspfade im 21. Jahrhundert führen zu einer weiteren globalen Erwärmung. Für die nächsten zwei Jahrzehnte wird eine Erwärmung von global rund 0.4 °C erwartet. Andauernd gleich hohe oder sogar noch höhere Emissionen als heute würden eine weitere, langfristige Erwärmung verursachen. Diese hätten im 21. Jahrhundert Änderungen im globalen Klimasystem zur Folge, die weit grösser wären als die im 20. Jahrhundert beobachteten (IPCC, 2007a).

3.3 Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe sind für den weitaus grössten Teil der Klimaerwärmung verantwortlich

CO₂-Emissionen dominieren die menschgemachte Klimaerwärmung (Abbildung 1; Strassmann et al., 2009). Die Erwärmung aufgrund des CO₂-Anstiegs ist etwa gleich gross wie aufgrund des Anstiegs aller übrigen Treibhausgase für die industrielle Periode. Der durch das CO₂ verursachte Anteil an der Erwärmung wird weiter steigen. Am Ende dieses Jahrhunderts ist das CO₂ in vielen Szenarien mindestens doppelt so bedeutsam für die Erwärmung wie alle anderen Treibhausgase zusammen. Der durchschnittliche Anteil von CO₂ an der Erwärmung aufgrund aller Treibhausgase beträgt im Jahr 2100 68 Prozent (Bereich 58 bis 76 Prozent für die untersuchten 22 Szenarien, siehe Box 3.2).

Teilchen, die in der Luft schweben, sogenannte Aerosole, können je nachdem kühlend oder erwärmend wirken (Forster, 2007). Besonders wichtig sind Schwefelpartikel, die das Sonnenlicht in den Weltraum reflektieren. Es wird geschätzt, dass die globale Erwärmung ohne die Wirkung der Aerosole heute mindestens 50 Prozent grösser wäre (Huber und Knutti, 2011). In Zukunft kommt den

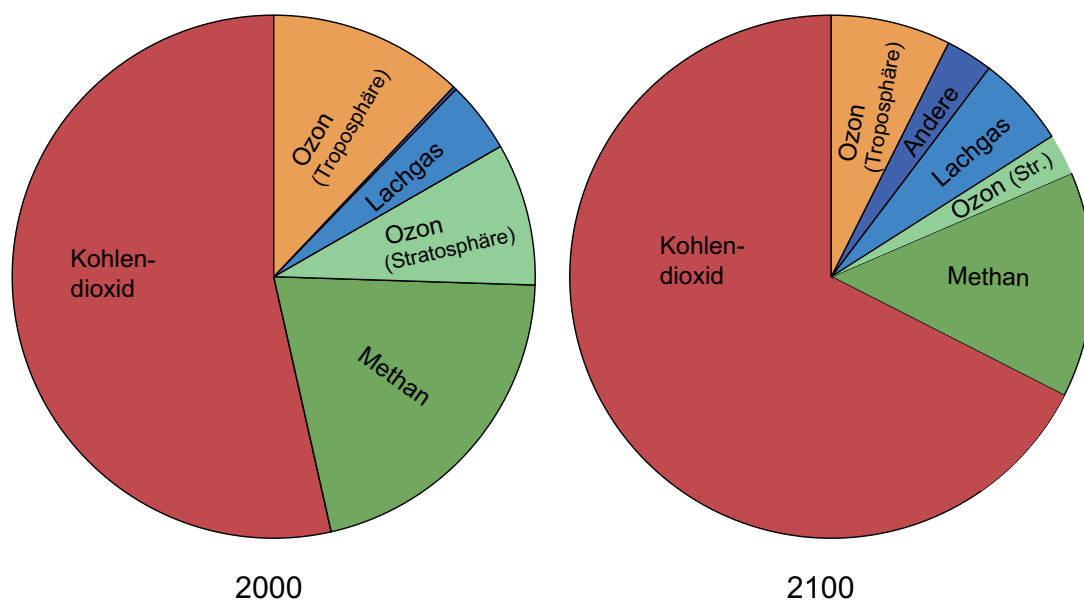


Abbildung 1: Relativer Anteil verschiedener Treibhausgase am globalen Temperaturanstieg bis ins Jahr 2000 (links) und bis 2100 (rechts). Für 2100 werden Mittelwerte für die untersuchten 22 Szenarien gezeigt (nach Strassmann et al., 2009). Der Anteil «Ozon (Stratosphäre)» berücksichtigt neben dem Ozon in der hohen Atmosphäre auch die Gase, welche unter das Montreal-Protokoll zur Erhaltung der Ozonschicht fallen.

Aerosolen wohl eine weit geringere klimatische Bedeutung zu. Die Emissionen von Schwefel nehmen weltweit ab (Smith, 2011). Um deren schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, Ökosysteme und Infrastruktur zu begrenzen, sind in den Industrieländern schwefelarme Brenn- und Treibstoffe oder der Einsatz von Filtern zur Abscheidung von Schwefel heute weit verbreitet.

Die Emissionen verschiedener Gase lassen sich näherungsweise auch für ein einzelnes Jahr vergleichen, wobei die unterschiedliche Verweildauer der Gase in der Atmosphäre berücksichtigt werden muss. Für die im Kyoto-Protokoll geregelten Gase wird für das Jahr 2004 geschätzt, dass CO₂ etwa 77 Prozent, Methan 14 Prozent, Lachgas 8 Prozent und weitere Gase 1 Prozent zu den globalen Emissionen beitragen (IPCC, 2007b). Dies widerlegt die oft verbreitete Aussage, dass Kühe und andere Wiederkäuer für den Grossteil der Klimaerwärmung verantwortlich seien, auch

wenn diese mit ihrem Methanausstoss tatsächlich einen Beitrag liefern.

Die CO₂-Emissionen durch die Verbrennung von Erdöl, Kohle und Gas sind seit Ende des 2. Weltkrieges um mehr als einen Faktor 7 gestiegen. Das Wachstum hat sich auch in den letzten Jahren fortgesetzt und trotz schwacher Wirtschaft wurde 2010 ein neuer Rekordwert erreicht. Weltweit werden heute jährlich rund 30 Milliarden Tonnen CO₂ (Gt CO₂) aus fossilen Quellen freigesetzt. Dazu kommen noch knapp 5 Gt CO₂ aus der Abholzung und anderen Landnutzungsänderungen sowie 1.5 Gt CO₂ aus der Zementproduktion (Abbildung 2). Die Nutzung fossiler Brennstoffe ist auch eine wichtige Ursache für den Anstieg weiterer wichtiger Treibhausgase, wie Methan und Ozon sowie Russ, Aerosolen und anderen Luftschadstoffen. Durch die Senkung der CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen ergeben sich daher positive Nebeneffekte im Bereich der Luftreinhaltung.

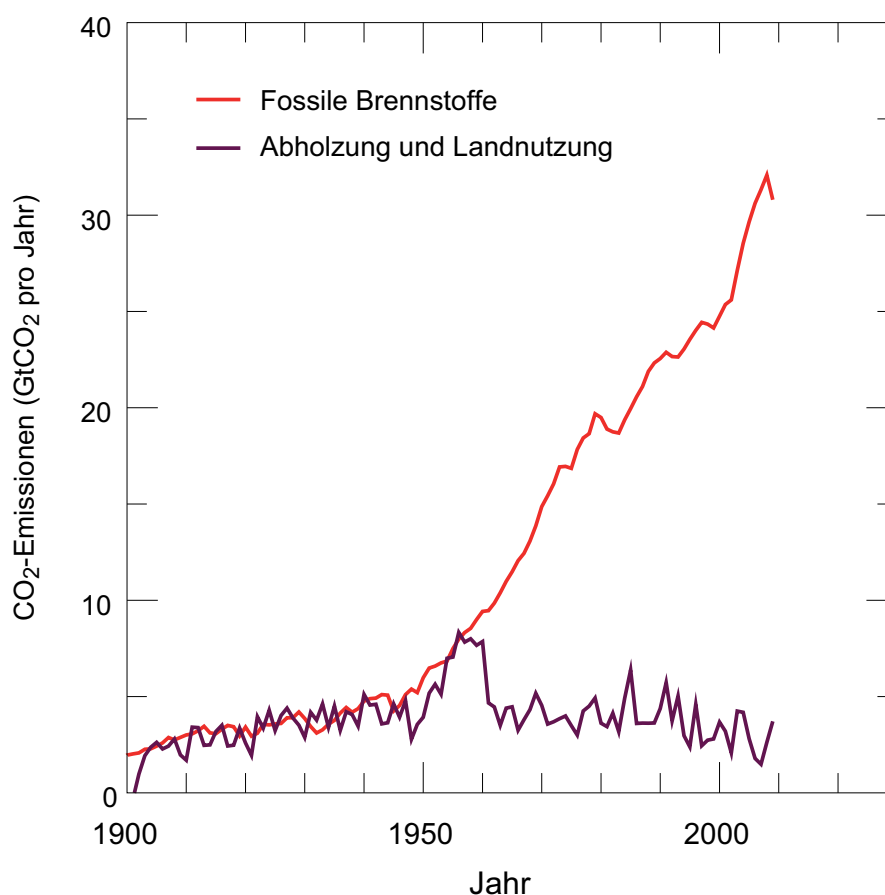


Abbildung 2: Emissionen von CO₂ aus der Nutzung der fossilen Brennstoffe (rot, inklusive des Anteils aus der Zementproduktion) und aufgrund von Landnutzungsänderungen. Datenquelle: Marland et al. (http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/meth_reg.html) und Stocker et al., 2011.

Box 3.2: Szenarien – mögliche Wege in die Zukunft

Szenarien sind ein Mittel, um alternative Pfade der Treibhausgasemissionen und ihren Einfluss auf das Klima, das Erdsystem, die Wirtschaft und die Gesellschaft zu untersuchen (Nakicenovic, 2000; Van Vuuren, 2008; Weyant, 2006). Sie sind nicht mit Vorhersagen zu verwechseln, sondern dienen dazu, die Auswirkungen verschiedener Entwicklungspfade zu untersuchen, ohne dabei zu urteilen, ob das Szenario wahrscheinlich ist. Klima-Projektionen für bestimmte Emissionsszenarien sind im Sinne einer Wenn-dann-Beziehung zu verstehen. Sie ermöglichen es, die Konsequenzen verschiedener, in sich konsistenter Annahmen bezüglich technologischer Entwicklungen, politischer Entscheidungen, Energieverbrauch, Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung usw. zu diskutieren und zu quantifizieren.

Eine Gruppe von Szenarien beruht auf stark idealisierten Pfaden, um Prozesse, Rückkoppelungen, Zeitskalen und Trägheiten im Klimasystem zu untersuchen. Die Szenarien werden wegen ihrer illustrativen Aussagekraft verwendet. Ein Beispiel sind idealisierte Pfade, die zu einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentration führen (Abbildung 4).

Eine wichtige Gruppe von Szenarien wird im Rahmen der sogenannten Integrierten Assessment Modelle (IAM) entwickelt (Weyant, 2006; Nakicenovic, 2000). Diese Modelle repräsentieren das Energiesystem und andere Teile der Ökonomie wie Handel und Landwirtschaft. Sie basieren auf plausiblen Annahmen für die wirtschaftliche, demographische, technische und soziale Entwicklung. Der Trägheit des Wirtschaftssystems wird Rechnung getragen und die totalen Kosten im Wirtschaftssystem werden optimiert. Die Emissionen der wichtigsten, durch den Menschen verursachten Treibhausgase (CO_2 , CH_4 , N_2O , halogenierte Kohlenwasserstoffe und SF_6), der Aerosole und der Luftschadstoffe, die zur Ozonbildung beitragen, werden quantifiziert. Die zu erwartenden Änderungen im Strahlungsantrieb werden ebenfalls berechnet. Diese sind ein Mass für die Störung der Energiebilanz der Erde.

Zu dieser Szenariengruppe gehören auch die Business-as-usual-Szenarien (BaU-Szenarien, auch Referenzszenarien genannt), die keine expliziten Massnahmen zum Klimaschutz vorsehen (Abbildung 3, roter Bereich). Die BaU-Szenarien beinhalten erstens deutliche Verbesserungen in der Energieintensität und zweitens die weitreichende Verbreitung CO_2 -freier Energieerzeugung (Edmonds et al., 2004). Die Verbesserung der Energieintensität führt in den BaU-Szenarien bis zum Jahr 2100 zu einer um 55 bis 90 Prozent tieferen Nachfrage nach Primärenergie pro Einheit des Bruttosozialproduktes. Der Beitrag nicht-fossiler Energien erreicht in einigen BaU-Szenarien die globale Energienachfrage im Jahre 1990 oder übersteigt sie sogar. Im Rahmen des «normalen» technischen Fortschrittes wird also bereits eine erhebliche Verbesserung der Energieeffizienz und die Verbreitung alternativer Energien erwartet. Mit anderen Worten: Nicht jede Verbesserung der Energieeffizienz und jeder Ausbau alternativer Energien darf bereits als Erfolg der Klimapolitik gewertet werden.

Emissionsreduktions-Szenarien, die zu einer Stabilisierung der globalen Temperatur führen, werden auch mit Integrierten Assessment Modellen analysiert. Als zusätzliche Bedingung wird der Strahlungsantrieb nach 2100 auf einem Zielwert stabilisiert und der kostengünstigste Emissionspfad berechnet. Damit wird auch eine Stabilisierung der globalen Temperatur erreicht (Abbildung 3, blauer Bereich). Fragen der politischen Realisierbarkeit werden bewusst ausgeklammert. Erforderlich sind zusätzliche Massnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen. Eine kosteneffiziente CO_2 -Reduktion lässt sich durch einen weiteren Anstieg der Energieeffizienz und die verstärkte Verwendung von CO_2 -armen oder CO_2 -freien Technologien erreichen. Andererseits sind Emissionsreduktionen aufgrund der Erneuerungszeit von Produktionsanlagen (Davis et al., 2010) und des vorhandenen Investitionsvolumens limitiert. Dies ergibt für die ambitioniertesten Szenarien einen totalen kumulierten CO_2 -Ausstoss von etwa 3700 Gt CO_2 über die industrielle Periode und das 21. Jahrhundert (Van Vuuren, 2008). Davon wurde rund die Hälfte bereits emittiert (Marland, 2008; Houghton, 2008). Sollten die ambitioniertesten Szenarien realisiert werden, würde die globale Temperaturerhöhung mit einer Wahrscheinlichkeit von rund 66 Prozent den oft diskutierten Zielwert von 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit nicht übersteigen.

Die durch den Menschen veränderten Umweltbedingungen (Temperatur, Niederschlag, atmosphärisches CO₂, Stickstoffdeposition) wirken sich auf die «natürlichen» Stoffkreisläufe aus. So erwartet man eine Zunahme der Emissionen von Methan und Lachgas aus natürlichen Ökosystemen, und natürliche Ökosysteme könnten von einer CO₂-Senke zu einer CO₂-Quelle werden. Ebenfalls diskutiert wird die vermehrte Freisetzung von Methan aus sogenannten Methanhydraten. Wenn es nicht gelingt, die Emissionen aus menschlichen Tätigkeiten zu reduzieren und die Erwärmung zu begrenzen, steigt das Risiko, dass dadurch zusätzliche Treibhausgase in die Atmosphäre freigesetzt werden und die Klimaerwärmung verstärken.

3.4 Business-as-usual versus Emissionsreduktion: Wieviel Klimawandel ist vermeidbar?

Um die Klimaerwärmung zu stabilisieren, müssen die weltweiten Emissionen über die kommenden Jahrzehnte stark fallen. Abbildung 3 zeigt die zeitliche Entwicklung der CO₂-Emissionen für verschiedene Business-as-usual-Szenarien (BaU-Szenarien) sowie Stabilisierungsszenarien (siehe Box 3.2 «Szenarien»). In allen BaU-Szenarien steigen die Emissionen

im Verlaufe der nächsten 100 Jahre weiter an. Die Stabilisierungsszenarien zeigen hingegen einen anderen Verlauf: Die Emissionen erreichen zwischen 2020 und 2040 ein Maximum und sinken dann. Die CO₂-Emissionen der verschiedenen Stabilisierungsziele liegen demnach im 21. Jahrhundert zwischen 1360 und 4180 Gt CO₂. Höhere Emissionen sind dabei mit höheren Zielwerten für die globale Temperatur verknüpft.

Zwischen den Emissionen der BaU-Szenarien und den Stabilisierungsszenarien in Abbildung 3 besteht eine Lücke. Diese Ziellücke muss mit Hilfe von politischen, technischen und wirtschaftlichen Massnahmen geschlossen werden, damit die Klimaerwärmung auf relativ tiefem Niveau stabilisiert werden kann.

Die klimatischen Änderungen sind für die Stabilisierungspfade im Vergleich mit BaU-Szenarien erheblich geringer. Der Unterschied wird besonders gross in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts: Alle BaU-Szenarien zeigen einen ansteigenden Trend beim CO₂ und bei der globalen Oberflächentemperatur. Das bedeutet eine Fortsetzung der Erwärmung auch nach 2100. Im Gegensatz dazu zeigen die Stabilisierungsszenarien um 2100 für verschiedene Klimaindikatoren wie Temperatur und Niederschlag oder für den Säuregehalt des Oberflächenwassers der Ozeane nur noch kleine Änderungen.

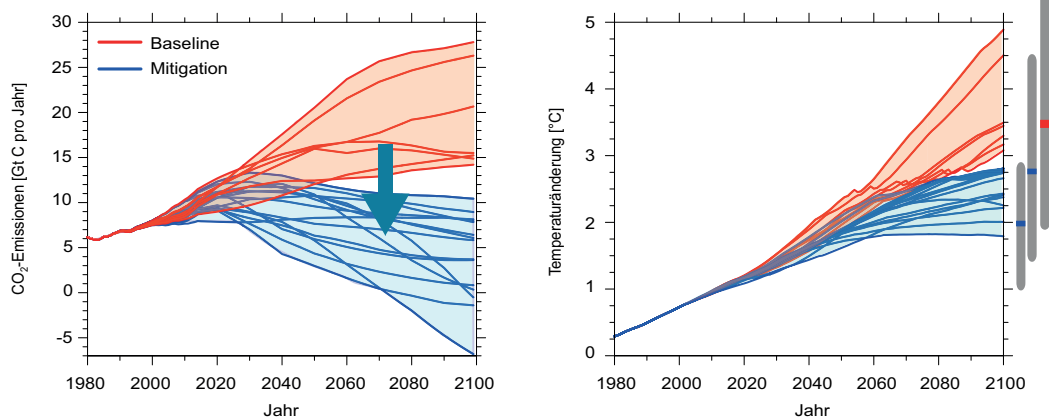


Abbildung 3: Business-as-usual-Szenarien (rotes Band) und Szenarien, die zu einer Temperaturstabilisierung führen (blaues Band). (a) CO₂-Emissionen, (b) mittlere Oberflächentemperatur nach dem «Bern Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modell» (Joos, 2011). Der blaue Pfeil symbolisiert die Ziellücke bei den Emissionen, die für eine Stabilisierung der Temperatur geschlossen werden müsste. Unsicherheiten für das Jahr 2100 (graue Balken) sind für diejenigen vier Szenarien angegeben, die im nächsten Assessment des Uno-Klimarates IPCC vertieft untersucht werden. (Moss et al., 2010)

Box 3.3: 2°C-Ziel: Stabilisierung der Erwärmung auf global 2°C gegenüber vorindustriellen Temperaturen

Ein viel diskutiertes Ziel ist die Stabilisierung der globalen Erwärmung auf 2°C gegenüber vorindustriellen Temperaturen. Tabelle 1 fasst die wichtigsten Kennzahlen zu den globalen Emissionen von CO₂ und anderen Treibhausgasen zusammen. Für die Interpretation sind folgende Punkte entscheidend:

- Wie hoch die globalen Emissionen sein dürfen, damit die Temperatur stabilisiert werden kann, hängt stark davon ab, mit welcher Wahrscheinlichkeit das Ziel erreicht werden soll, d.h. wie gross die Sicherheitsmarge sein soll (Fischlin, 2010; Meinshausen et al. 2009). Soll zum Beispiel das 2°C-Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 Prozent erreicht werden, können zwischen 2000 und 2050 1500 Gt CO₂ emittiert werden; soll das Ziel mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 Prozent erreicht werden, sind es nur etwa die Hälfte. Im Folgenden wird von einer Wahrscheinlichkeit von 66 Prozent ausgegangen.
- Die Emissionen für die Jahre 2020 und 2050 basieren auf Annahmen, wie sich Wirtschaft, Gesellschaft und Technologien entwickeln werden. Diese Annahmen sind mit beträchtlichen Unsicherheiten behaftet. Die langfristig erlaubte Menge an Emissionen für das Erreichen des 2°C-Zieles ist beschränkt (siehe Abschnitt 3.5.2) und lässt sich aufgrund unserer Kenntnisse des Klimasystems recht gut abschätzen.
- Emissionen für einzelne Länder oder Ländergruppen erfordern Annahmen zur Lastenteilung (siehe Kapitel 4).

Die im Jahr 2011 weltweit zugesicherten Emissionsreduktionen bis 2020 (siehe FCCC/TP/2011/1) schliessen nur rund ein Viertel der Emissionslücke. Darunter versteht man die Differenz zwischen den typischen Referenzszenarien ohne Intervention (56 Gt CO₂ eq pro Jahr) und dem für das Erreichen des 2°C-Ziel erforderlichen Wert (44 Gt CO₂ eq pro Jahr). Selbst wenn strikte Regeln und alle an Bedingungen geknüpfte Reduktionen umgesetzt würden, wäre die Emissionslücke nur zur Hälfte geschlossen (49 Gt CO₂ eq pro Jahr).

Soll das 2°C-Ziel auf einem aus heutiger Sicht optimalen Pfad erreicht werden, muss die verbleibende Lücke von 5 bis 9 Gt CO₂ eq pro Jahr bis 2020 durch zusätzliche Massnahmen geschlossen werden. Für Emissionspfade, die mit einer Wahrscheinlichkeit von über 66 Prozent mit dem 2°C-Ziel konsistent sind (grüne Szenarien in Abbildung 5), müssen die globalen Emissionen zwischen 2010 und 2020 ihr Maximum erreichen und anschliessend sinken. Die globalen Treibhausgasemissionen müssten dann von heute 48 Gt CO₂ eq pro Jahr auf 44 Gt CO₂ eq im Jahr 2020 und 20 Gt CO₂ eq im 2050 sinken. Die Unsicherheiten bezüglich dieser Zahlen sind beträchtlich (Rogelj et al., 2011).

Substanzielle Reduktionen sind für das Erreichen des 2°C-Ziels also auf jeden Fall zwingend. Selbst eine Stabilisierung auf 2.5°C oder gar 3°C erfordert deutliche Emissionsreduktionen bis Ende des Jahrhunderts. Stabilisierungsziele unter 2°C (z.B. das von einigen Staaten geforderte Ziel von 1.5°C) wären wahrscheinlich nur mit einem temporären Überschreiten des Temperaturzielwertes und der erlaubten kumulierten Emissionen erreichbar. In diesem Fall müssten die Emissionen später negative Werte erreichen, zum Beispiel indem durch die Nutzung von Biomasse mit anschliessender CO₂-Sequestrierung CO₂ aus der Atmosphäre entfernt würde.

In den Stabilisierungsszenarien weichen die Temperaturkurven später als die Emissionen von den Pfaden der BaU-Szenarien ab. Die Ursache liegt in der Trägheit des Klimasystems. Dies verdeutlicht, wie wichtig es ist, Entscheide frühzeitig zu treffen, damit ein spezifisches Klimaziel erreicht werden kann. Für die tiefsten Emissionspfade liegt die globale Erwärmung im Bereich von 2°C im Vergleich zu den vorindustriellen Temperaturen (Abbildung 3; Washington et al. GRL, 2009). Gemäss ökonomischen Modellen

repräsentieren diese Szenarien eine untere Grenze für die weltweit mögliche Reduktion der Treibhausgasemissionen, wenn sowohl die Trägheit im Klimasystem wie auch im wirtschaftlichen System berücksichtigt wird (Van Vuuren et al., 2008). Die CO₂-Emissionen verlassen in diesen niedrigen Szenarien den BaU-Pfad zwischen 2015 und 2020. Dies könnte möglich werden durch den weitverbreiteten Einsatz von bereits existierenden «CO₂-freien» Technologien. Die Realisierung niedriger Szenarien erfordert politische, gesellschaft-

Tabelle 1: Beste Schätzungen für wichtige Kennzahlen der zukünftigen Emissionen von CO₂ und weiteren Treibhausgasen, gemessen in CO₂ eq.

Kumulative Ziele

Erlaubte kumulative CO₂-Emissionen 2000–2050 für 2°C: 1150 Gt CO₂

Erlaubte kumulative Treibhausgasemissionen 2000–2050 für 2°C: 1700 Gt CO₂ eq

Wahrscheinlichkeit: 66 Prozent

(Meinshausen et al., 2009)

Emissionen für 2020 und 2050

Wahrscheinlichkeit: 66 Prozent

(Rogelj et al., 2011, GAP 2010)

Jährliche Emissionen heute: 48 Gt CO₂ eq

Emissionszunahme heute: knapp 1 Gt CO₂ eq pro Jahr

Treibhausgasemissionen 2020 ohne Intervention: 56 Gt CO₂ eq

Treibhausgasemissionen 2020 konsistent mit 2°C-Ziel

Zielwert: 44 Gt CO₂ eq

Treibhausgasemissionen 2020 mit Realisierung aller von den Ländern versprochenen Reduktionen: 53 Gt CO₂ eq bzw. 49 Gt CO₂ eq, falls strenge Regeln und Reduktionen mit Bedingungen umgesetzt werden

Treibhausgasemissionen 2050 konsistent mit 2°C-Ziel

Zielwert: 20 Gt CO₂ eq

Reduktion 2050 gegenüber 1990: 50 bis 60 Prozent

Emissionsreduktionen prozentual

(CO₂ aus fossilen Brenn- und Treibstoffen und industriellen Quellen) (IPCC, 2007)

2050 global: 50 bis 85 Prozent gegenüber 2000

2050 Industrieländer: 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990

2020 Industrieländer: 25 bis 40 Prozent gegenüber 1990

2020 Schwellenländer: substanzielle Reduktion (IPCC, 2007) bzw. Reduktion um 15 bis 30 Prozent (den Elzen und Höhne, 2008, den Elzen und Höhne, 2010) gegenüber Referenzszenario

liche und technische Rahmenbedingungen, die sich stark von den heutigen Bedingungen unterscheiden und die weltweite Umsetzung von entsprechenden Massnahmen.

3.5 Fazit

3.5.1 CO₂ aus fossilen Brennstoffen dominiert die heutige Klimaerwärmung

Längere, präzisere Messungen, verbesserte Modelle und Rekonstruktionen des Klimas der Vergangenheit bestätigen, dass der Ausstoss von CO₂ aus Brenn- und Treibstoffen den grössten Teil der Erwärmung über das 20. Jahrhundert verursacht hat. Die fossilen Quellen werden vor-

aussichtlich auch in Zukunft die Emissionen dominieren.

3.5.2 CO₂ aus fossilen Quellen verändert das Klima über Jahrhunderte

CO₂-Emissionen verändern das Klima und die Zusammensetzung der Atmosphäre und der Ozeane über sehr lange Zeiträume. CO₂ aus fossilen Brennstoffen wird nur sehr langsam abgebaut und sammelt sich im Klimasystem an und verteilt sich auf die Atmosphäre, die Ozeane und die Biosphäre. Die Langlebigkeit der Störung ist durchaus mit radioaktiven Abfallprodukten vergleichbar. Eine Temperaturzunahme aufgrund der CO₂-Emissionen hat über Jahrhunderte Bestand, selbst wenn die Emissionen sofort

auf Null reduziert würden (Solomon et al., 2009; Frölicher und Joos, 2010).

Die Konsequenzen dieses gut untersuchten und gut verstandenen geochemischen Verhaltens von CO₂ wurden bereits oben diskutiert. Die Emissionen müssen abnehmen und langfristig gegen Null sinken, um die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre und damit die Erwärmung zu stabilisieren. Damit ein bestimmtes Klimaziel erreicht werden kann, müssen daher auch die gesamten CO₂-Emissionen begrenzt werden.

Methan, Ozon in der unteren Atmosphäre und teilweise auch Aerosole tragen ebenfalls zur Klimaerwärmung bei (Abbildung 1). Diese drei Luftschadstoffe werden aber rascher aus der Atmosphäre entfernt (Forster, 2007). Es genügt, die entsprechenden Emissionen zu stabilisieren, um die Konzentration dieser drei Komponenten in der Wetterschicht der Atmosphäre zu stabilisieren (OcCC: Das Klima ändert auch in der Schweiz, 2002). Während eine nachhaltige Reduktion der menschengemachten Klimaerwärmung nur mit substanziellen Reduktionen der CO₂-Emissionen möglich ist, kann eine Reduktion der Emissionen anderer Treibhausgase einen relativ rasch realisierbaren Beitrag zur Klimastabilisierung leisten (Montzka et al., 2011).

Lachgas und vollständig halogenierte Verbindungen tragen zur Klimaerwärmung

bei. Sie werden abgebaut, sind aber langlebig. Die Emissionen dieser Gase müssen daher ebenfalls sinken, damit sich ihre Konzentrationen im Bereich der heutigen Werte stabilisiert.

3.5.3 Ein Hinausschieben von Massnahmen verengt den Handlungsspielraum

Um ein bestimmtes Stabilisierungsziel zu erreichen, können die künftigen CO₂-Emissionen verschiedenen Pfaden folgen (Schimel et al., 1997). Die gesamten, kumulierten CO₂-Emissionen bestimmen den Temperaturzielwert. Dieser Zusammenhang ist im Wesentlichen unabhängig davon, auf welchem Pfad die Emissionen ausgestossen werden (Allen et al., 2009; Matthews et al., 2009). Hingegen entscheidet der Pfad, wie die Emissionsreduktionen über die Zeit hinweg verlaufen. Dieser Zusammenhang wird in Abbildung 4 illustriert. Folgen die CO₂-Emissionen noch länger einem Wachstumspfad (rote und schwarze Kurve), reduziert sich das Kontingent, das später noch zur Verfügung steht. Entsprechend müssen die Emissionen in der Zukunft noch stärker abnehmen.

Wird ein Business-as-usual-Pfad verfolgt, reduzieren sich kurzfristig die erforderlichen Anpassungen zur Reduktion der CO₂-Emissionen. Das Hinausschieben von Massnahmen hat jedoch zur Folge, dass

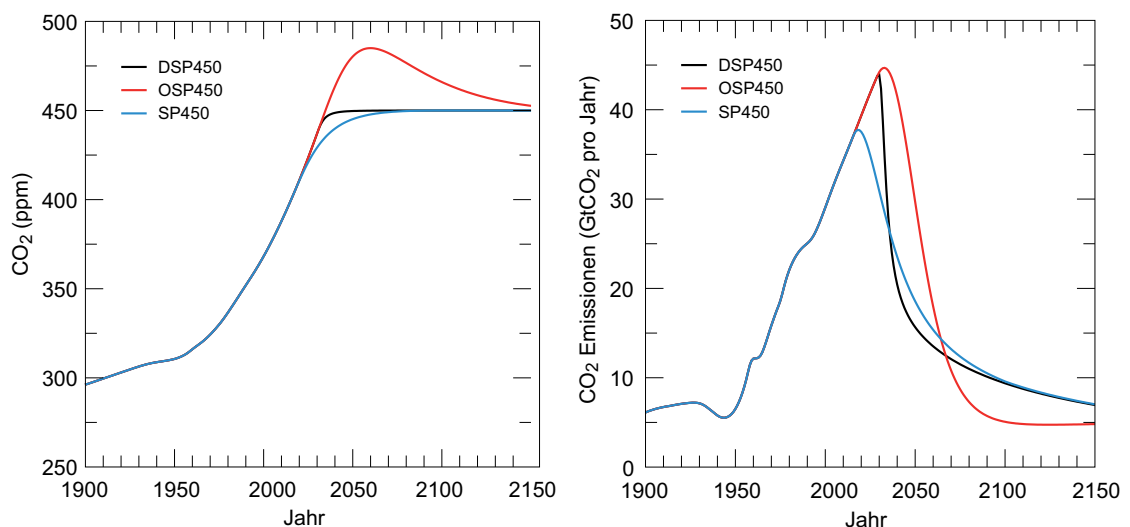


Abbildung 4: Drei mögliche Emissionspfade, die zu einer Stabilisierung der CO₂-Konzentration in der Atmosphäre bei 450 ppm und damit langfristig zu einer Temperaturstabilisierung führen. Beim blauen Pfad werden Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen rasch umgesetzt. Beim schwarzen Pfad folgen die Emissionen noch länger dem heutigen Trend und beim roten wird erlaubt, dass die CO₂-Konzentration zeitweilig über den Zielwert ansteigt. Die Emissionen wurden mit Hilfe des «Bern Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modells» berechnet. (Joos et al., 2011)

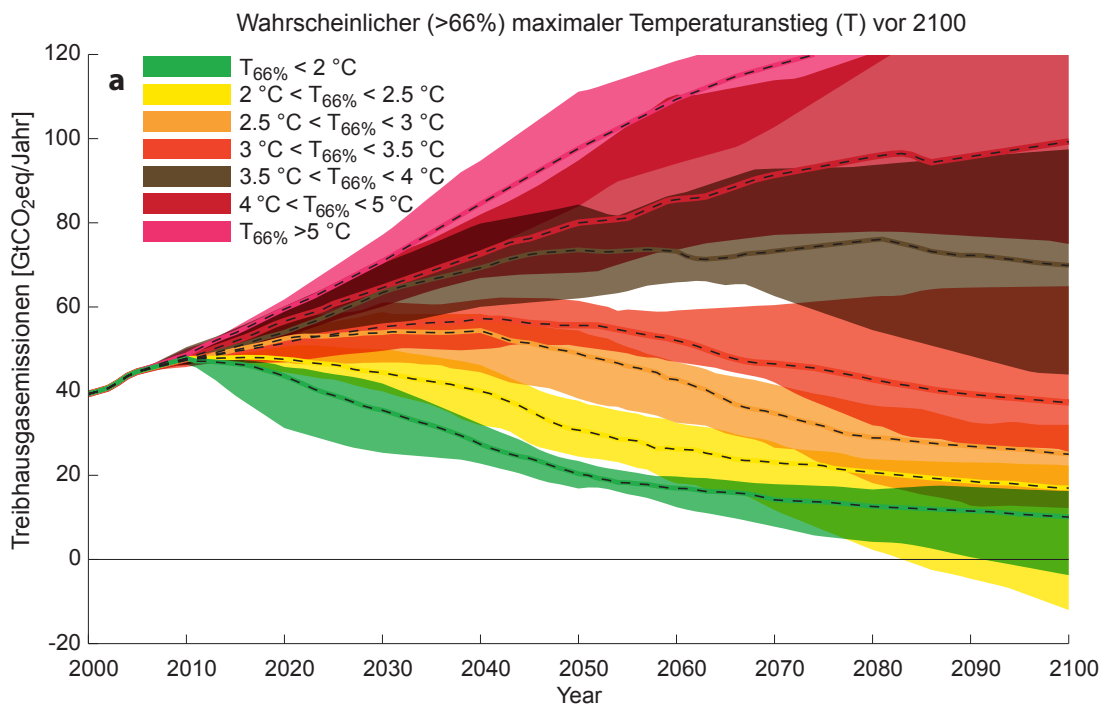


Abbildung 5: Emissionen (in Gt CO₂ eq) von verschiedenen Pfaden aus Integrated Assessment Modellen. Die Farbe gibt an, welche Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 66 Prozent nicht überschritten wird. Szenarien im grünen Band sind mit dem 2°C-Ziel konsistent. (Quelle: Rogelj et al., 2011)

mittelfristig schärfere Massnahmen erforderlich sind, um das Ziel doch noch zu erreichen. Andernfalls wird das Ziel verfehlt. Ein rascher Übergang von einem Anstieg zu einem Absinken der Emissionen erhöht die Kosten für die Umstellung auf CO₂-freie Technologien.

Das Hinauszögern von Massnahmen ist zudem mit weiteren Risiken verbunden (Schimel et al., 1997): Höhere Emissionen in den nächsten Jahren und die damit verknüpften raschen Änderungen im Klima könnten die Ozeane und die Landbiosphäre in ihrer Funktion als CO₂-Senke schwächen. In diesem Fall müssten die Emissionen noch geringer sein als berechnet, damit das angestrebte Ziel erreicht werden kann.

3.5.4 Folgerungen für die Klimapolitik

Damit die Erwärmung stabilisiert werden kann, müssen die Treibhausgasemissionen gesenkt werden. Im Fokus stehen insbesondere die CO₂-Emissionen aus fossilen Quellen. Je eher Massnahmen dazu ergriffen werden, desto mehr Handlungsspielraum bleibt für die Zukunft.

Der gegenwärtige Emissionspfad mit stetig steigenden Emissionen ist weit entfernt von einem Pfad, der mit dem oft erwähnten Ziel einer globalen Erwärmung von höchstens 2 °C verträglich ist. Die von der Schweiz und der

EU angestrebte Reduktion der Emissionen um 20 Prozent bis 2020 im Vergleich zu 1990 ist für das Erreichen des 2 °C-Ziels wahrscheinlich ungenügend (siehe Box 3.3). Die Emissionen müssten weltweit noch weit stärker reduziert werden als bisher geplant und zugesichert, damit das 2 °C-Ziel erreicht werden kann.

Die lange Aufenthaltszeit von CO₂ in der Atmosphäre, die Trägheit des Klimasystems und des ökonomischen Systems bedingen frühe Entscheide, damit spezifische Klimaziele erreicht werden können.

Literatur

- Allen M. R., Frame D. J., Huntingford C., Jones C. D., Lowe J. A., Meinshausen M. & Meinshausen N. (2009), Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne; *Nature* 458, Vol. 30, pp. 1163–1166.
- Caldeira, K., and M. E. Wickett (2003), Anthropogenic carbon and ocean pH, *Nature*, 425, 365–365.
- den Elzen M. and Höhne N. (2008), Reductions of greenhouse gas emissions in Annex I and non-Annex I countries for meeting concentration stabilisation targets; *Climatic Change*, 91: 249–274
- Doney, S. C., V. J. Fabry, R. A. Feely, and J. A. Kleyvas (2009), Ocean acidification: the other CO₂ problem, *Annu Rev Mar Sci*, 1, 169–192.
- den Elzen M. and Höhne N. (2010), Sharing the reduction effort to limit global warming to 2 °C. In: *Climate Policy*, 10, pp. 247–260.
- Edmonds, J., F. Joos, N. Nakicenovic, R. G. Richels, and J. L. Sarmiento (2004), Scenarios, Targets, Gaps and Costs., in *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate and the Natural World*, edited by C. B. Field and M. R. Raupach, pp. 77–102, Island Press, Washington DC, USA.
- Forster, P., et al. (2007), Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, in *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, pp. 129–234, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA, New York, NY, USA.
- Frank, D. C., J. Esper, C. C. Raible, U. Büntgen, V. Trouet, B. Stocker, and F. Joos (2010), Ensemble reconstruction constraints of the global carbon cycle sensitivity to climate, *Nature*, 463, 527–530.
- Frölicher, T. L. and Joos F. (2010), Reversible and irreversible impacts of greenhouse gas emissions in multi-century projections with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model, *Climate Dynamics*, 35/7-8, pp. 1439–1459.
- Houghton, R. A. (2008), Carbon Flux to the Atmosphere from Land-Use Changes: 1850–2005, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- Huber, M. and Knutti R. (2011), Anthropogenic and natural warming inferred from changes in Earth's energy balance, *Nature Geoscience*, published online, doi: 10.1038/NCEO1327; printed: *Nature Geoscience* 5, 31–36 (2012)
- IPCC (2007a), Summary for Policy Makers (WG I), 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*, edited by S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller, pp. 1–18, Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA.
- IPCC (2007b), Summary for Policy Makers (WG III), in *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by B. Metz, O. Davidson, P. R. Bosch, R. Dave and L. A. Meyer, pp. 1–23, Cambridge University Press, Cambridge United Kingdom and New York, NY, USA.
- Joos, F., and R. Spahni (2008), Rates of change in natural and anthropogenic radiative forcing over the past 20 000 years, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(5), 1425–1430.
- Joos, F., T. L. Frölicher, M. Steinacher, and G.-K. Plattner (2011), Impact of climate change mitigation on ocean acidification projections, in *Ocean Acidification*, edited by J. P. Gattuso and L. Hansson, pp. 273–289, Oxford University Press, Oxford.
- Jungbluth N., Steiner R., and Frischknecht. R. (2007), Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz 1990–2004. Erweiterte und aktualisierte BilanzRep., 150 pp.
- Lüthi, D., et al. (2008), High-resolution carbon dioxide concentration record 650 000–800 000 years before present, *Science*, 453, 379–382.
- Marland, G., T. A. Boden, and R. J. Andres (2008), Global, Regional, and National CO₂ Emissions, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, Tenn., U.S.A.
- Matthews H. D., Gillett N. P., Stott P. A. and Zickfeld K. (2009), The proportionality of global warming to cumulative carbon emissions; *Nature* 459, pp. 829–832.
- Meinshausen M., Meinshausen N., Hare W., Raper S. C. B., Frieler K., Knutti R., Frame D. and Allen M. R. (2009), Greenhouse gas emission targets for limiting global warming to 2 °C; *Nature* 458, 1158–1162, 30 April 2009 | doi:10.1038/nature08017

- Montzka, S. A., E. J. Dlugokencky, and J. H. Butler (2011), Non-CO₂ greenhouse gases and climate change, *Nature*, 476(7358), 43–50.
- Moss, R.H., Edmonds, J.A., Hibbard, K.A. et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747–56.
- Nakicenovic, N. (2000), *Special Report on Emissions Scenarios*, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press New York.
- 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) und ProClim, Bern, 172 pp.
- OcCC (2008), *Das Klima ändert – was nun? Der neue UN-Klimabericht (IPCC 2007) und die wichtigsten Ergebnisse aus Sicht der Schweiz*. ISBN: 978-3-907630-33-4, OcCC – Organe consultatif sur les changements climatiques, Bern, 47 pp.
- Rogelj J., Hare W., Lowe J., van Vuuren D. P., Riahi K., Matthews B., Hanaoka T., Jiang K. and Meinshausen M. (2011), Emission pathways consistent with a 2 °C global temperature limit; *Nature Climate Change* 1, pp. 413–418, doi:10.1038/nclimate1258
- Schimmel, D., M. Grubb, F. Joos, R. K. Kaufmann, R. Moos, W. Ogana, R. Richels, and T. Wigley (1997), IPCC Technical Paper III. Stabilisation of atmospheric greenhouse gases: physical, biological, and socio-economic implications, 53 pp., Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Siegenthaler, U., and H. Oeschger (1978), Predicting future atmospheric carbon dioxide levels, *Science*, 199, 388–395.
- Smith, S. J., J. van Aardenne, Z. Klimont, R. J. Andres, A. Volke, and S. Delgado Arias (2011), Anthropogenic sulfur dioxide emissions: 1850–2005, *Atmos. Chem. Phys.*, 11(3), 1101–1116.
- Solomon S., Plattner G-K., Knutti R. and Friedlingstein P. (2009), Irreversible climate change due to carbon dioxide emissions; *PNAS* February 10, 2009 vol. 106 no. 6, pp. 1704–1709.
- Steinacher, M., F. Joos, T. L. Frölicher, G.-K. Plattner, and S. C. Doney (2009), Imminent ocean acidification in the Arctic projected with the NCAR global coupled carbon cycle-climate model, *Biogeosciences*, 6, 515–533.
- Steven J. Davis, Caldeira K. and Damon Matthews H. (2010), Future CO₂ Emissions and Climate Change from Existing Energy Infrastructure, *Science*, 10 September 2010: Vol. 329 no. 5997 pp. 1330–1333; DOI: 10.1126/science.1188566
- Stocker, B. D., Strassmann K. and Joos F. (2011), «Sensitivity of Holocene atmospheric CO₂ and the modern carbon budget to early human land use: analyses with a process-based model», *Biogeosciences*, 8/1, pp. 69–88.
- Strassmann, K. M., G. K. Plattner, and F. Joos (2009), CO₂ and non-CO₂ radiative forcing agents in twenty-first century climate change mitigation scenarios, *Climate Dynamics*, 33, 737–749.
- United Nations Environment Programme (UNEP) (2011), *Bridging the emissions gap. A UNEP Synthesis Report*.
- Van Vuuren, D. P., et al. (2008), Temperature increase of 21st century mitigation scenarios, *Proc Natl Acad Sci USA*, 105, 15258–15262.
- Washington W. M., Knutti R., Meehl G. A., Teng H., Tebaldi C., Lawrence D., Buja L. and Strand W. G. (2009), How much climate change can be avoided by mitigation? *Geophys. Res. Lett.* 36 L08703.
- Weyant, J. R., F. C. de la Chesnaye, and G. J. Blanford (2006), Overview of emf21: Multigas mitigation and climate policy, *Energy Journal*, 27, 1–32.

4 Klimapolitische Ziele für die Schweiz

Philippe Thalmann

ENAC INTER REME, Recherches en Economie et Management de l'Environnement (REME), EPF Lausanne, Station 16, CH-1015 Lausanne; philippe.thalmann@epfl.ch

- Die internationale Staatengemeinschaft ist weit entfernt von einer Einigung, welches globale Emissionsbudget zur Verfügung stehen soll und wie es gerecht unter den Staaten aufgeteilt werden könnte.
- Aus den Empfehlungen der Wissenschaft, wie ein globales Emissionsbudget gerecht verteilt werden könnte, lässt sich für die Schweiz ein relativ robustes Ziel für 2020 ausrechnen: Die Treibhausgasemissionen sollten bis dahin im Vergleich zu 1990 um 20 Prozent sinken.
- Auf längere Frist divergieren die Empfehlungen stärker. Vieles spricht jedoch dafür, dass ein reiches Land wie die Schweiz ab Mitte des 21. Jahrhunderts gar keine Treibhausgase mehr emittieren sollte.
- Die Schweiz hat in der Vergangenheit ihre energie- und klimapolitischen Ziele unabhängig vom Gang der internationalen Verhandlungen und von Gerechtigkeitsüberlegungen festgelegt und kann dies auch in Zukunft tun.
- Es liegt im Interesse des Landes, mittelfristig auf fossile Energieträger zu verzichten.
- Leicht kommunizierbare Ziele (2000-Watt-Gesellschaft, 1-Tonne-CO₂-Gesellschaft, Klimaneutralität) sind aus politischer Sicht sinnvoll.

Die Schweiz hat ihre Treibhausgasemissionen über eine Vielzahl von Massnahmen in fast allen Politikbereichen stabilisieren können. Dieser Ansatz liefert auch den Schlüssel für die Behandlung der Zielkonflikte einer ambitionierten Klimapolitik: Mögliche Überbelastungen einzelner Menschen und Betriebe können über andere Instrumente kompensiert werden.

4.1 Einleitung

Die Klimaforschung zeigt, dass ein verbindliches globales Emissionsbudget für Treibhausgase erforderlich ist, wenn ein erhöhtes Risiko durch die Klimaerwärmung für den Menschen verhindert werden soll. Wie die verschiedenen Treibhausgasemissionen zusammenhängen, wie sich ihre Konzentration in der Atmosphäre entwickeln wird und welche Konsequenzen sich daraus für das Klima und die Menschheit ergeben, lässt sich heute nur mit grossen Unsicherheiten abschätzen. Daher kann das globale Emissionsbudget, das in den nächsten Jahrzehnten im Hinblick auf eine Begrenzung der Klimaerwärmung noch zur Verfügung steht, höchstens in einer Bandbreite festgelegt werden. Klar ist, dass ein weiterer Anstieg der globalen Treibhausgasemissionen im bisherigen Rahmen (business as usual) die klimatischen Risiken massiv erhöhen würde. Eine weltweite Reduktion der Emissionen hingegen würde die Risiken verkleinern.

Ein globales Emissionsbudget definiert ein Gesamtvolumen aller Treibhausgasemissionen

aus allen Quellen aller Länder der Welt, und das mindestens bis zum Ende dieses Jahrhunderts. Damit ein solches Budget die weltweite Klimapolitik lenken kann, d. h. damit Emissionsziele über die kommenden Jahre oder Jahrzehnte festgelegt werden können, müsste dieses Budget trotz Unsicherheiten eindeutig festgelegt und zeitlich aufgeteilt werden (vgl. Abschnitt 3.4/Box 3.3). Dabei können neue Erkenntnisse im Verlauf der Zeit zu Anpassungen führen.

Im Prinzip kann dasselbe globale Budget auf verschiedene Weise eingehalten werden: Die Emissionen können entweder sofort reduziert werden oder aber ein weiterer Anstieg der Emissionen wird noch einige Jahre lang toleriert, bevor diese dann umso stärker reduziert werden. Je länger man dabei wartet, desto stärker müssen die anschliessenden Reduktionen ausfallen (vgl. Abschnitt 3.5.3). Obwohl eine sofortige Reduktion der Emissionen auf den ersten Blick vernünftig erscheint, gibt es auch gute Gründe, die Reduktionsmassnahmen weiter aufzuschie-

ben. Zunächst erlaubt ein Aufschub eine schrittweise Anpassung der vorhandenen Infrastrukturen sowie die Nutzung absehbarer technologischer Innovationen. Ausserdem ist zu erwarten, dass künftige Generationen, insbesondere in den Entwicklungsländern, in Zukunft einen höheren Lebensstandard haben werden und daher die Massnahmen, die zur Reduktion der Treibhausgasemissionen notwendig sind, besser tragen können.

Wirtschaftswissenschaftler berechnen den optimalen Verlauf der Treibhausgasemissionen basierend auf einem vorgegebenen Budget, wobei sie die aktuellen und künftigen Kosten für Emissionsreduktionen berücksichtigen. Dieser Verlauf hängt von schwer vorhersehbaren Parametern ab, wie beispielsweise dem technischen Fortschritt, den fossilen Energiereserven sowie der demographischen und wirtschaftlichen Entwicklung.

Ein weiteres Zuwarten mit Reduktionsmassnahmen birgt aber auch Risiken für kommende Generationen, die sich nur schwer abschätzen lassen. So bleiben CO₂-Emissionen auf unseren Zeitskalen irreversibel im Erdsystem gespeichert, solange keine Technologie verfügbar ist, mit der CO₂ aus der Atmosphäre entfernt werden kann. Zudem wird der Handlungsspielraum für die kommenden Generationen enger, wenn heute Minderungsmaßnahmen aufgeschoben werden. Dem Weltklimarat IPCC zufolge sind die unbekanntesten Faktoren noch derart gross, dass kaum ein Konsens erreicht werden kann, wie der optimale Verlauf der Emissionen aussehen sollte (Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC, 2007).¹

Nachdem ein globales Emissionsbudget festgelegt ist und man sich auf einen Plan zu dessen Einhaltung geeinigt hat, besteht der nächste Schritt darin, die festgelegten jährlichen Emissionsrechte auf alle Länder der Welt zu verteilen. Auf diese Weise könnten kurz-, mittel- und langfristige Emissionsziele für die Schweiz zustande kommen. Diese Emissionsziele werden zu Reduktionszielen, wenn man sie als prozentualen Anteil der Emissionen eines Referenzjahres (normalerweise 1990) oder als Anteil einer Business-as-usual-Entwicklung ausdrückt.

Die Verteilung des jährlichen Emissionsbudgets auf alle Länder der Welt kann sich auf verschiedene Kriterien stützen, die in Abschnitt 4.2 dargelegt werden (siehe auch Philibert, 2005). Die Verteilung der Emissionsbudgets ist eines der wichtigsten Themen der laufenden internationalen Verhandlungen. Im Kyoto-Protokoll hat die internationale Gemeinschaft festgehalten, dass nur die Industrieländer an verpflichtende Budgets gebunden sein sollen, während die Entwicklungs- und Schwellenländer bis 2013 von allen Massnahmen befreit sind. Die Begründung war, dass man diesen Ländern Gelegenheit geben müsse, ein ausreichendes materielles Wohlstandsniveau zu erreichen, ehe man ihnen Opfer auferlegen könne. Diese Argumentation steht in Einklang mit der Begründung, warum es sinnvoll sein kann, mit Massnahmen zur Emissionsreduktion weiter zuzuwarten.

In den letzten Jahren hat sich allerdings herausgestellt, dass grosse Länder wie China und Indien das globale Budget massiv beanspruchen. Setzt sich diese Entwicklung solange fort, bis die riesige Bevölkerung dieser Länder ein materielles Wohlstandsniveau erreicht, das mit demjenigen der industrialisierten Länder vergleichbar ist, wird das globale Budget für eine Stabilisierung des menschengemachten Klimawandels grösstenteils aufgebraucht sein. Deshalb ist es unerlässlich, dass auch die Schwellenländer anfangen, ihre Emissionen zu bremsen. Das erfordert eine Abkehr von der Verwendung billiger fossiler Energie, von der andere Länder bei ihrem wirtschaftlichen Aufschwung noch profitieren konnten. Es ist wahrscheinlich, dass Länder wie China und Indien nicht ohne weiteres ein solches Opfer bringen werden, es sei denn, die industrialisierteren Länder würden sie dabei massiv unterstützen.

Es wird sehr schwierig sein, das jährliche Emissionsbudget so zu verteilen, dass die Verteilung von allen Ländern als angemessen empfunden und eingehalten wird. Zusätzlich erschweren die grossen Unsicherheiten bezüglich des jährlichen Budgets und des globalen Budgets die Verteilung. Vor diesem Hintergrund erscheint es zweifelhaft, ob eine massgebende Referenz für die Klimapolitik einzelner Länder geschaffen werden kann.

¹ «Einige wenige, eingeschränkte Ergebnisse integrierter Analysen der Kosten und der Vorteile von Reduktionsmassnahmen zur Verringerung deuten darauf hin, dass diese beiden Faktoren vergleichbar stichhaltig sind, aber dennoch keine Bestimmung eines Plans für die Emissionen bzw. des Stabilisierungsniveaus zulassen, bei dem der Nutzen die Kosten übertrifft.» (S. 20).

Für die Schweiz kommt hinzu, dass ihre aktuellen und künftigen Emissionen nur einige Promille der globalen Treibhausgasemissionen ausmachen und somit keine wahrnehmbaren Auswirkungen auf das Klima haben. Deshalb liegt die Versuchung nahe, die komplexen und kontroversen Berechnungen des angemessenen Anteils der Schweiz am globalen Budget zurückzuweisen und die Ziele der schweizerischen Klimapolitik auf andere Grundlagen zu stellen. Abschnitt 4.3 untersucht diesen Ansatz und schlägt alternative Ziele vor.

Die Festlegung der klimapolitischen Ziele obliegt der Bevölkerung und ihrer Repräsentanten und nicht der Wissenschaft. Letztere hat die Aufgabe, die dazu notwendigen Grundlagen zu liefern. Diese finden sich in den Kapiteln 2 und 3, die die klimatischen Herausforderungen dargelegt. Abschnitt 4.4 widmet sich den wichtigsten Kriterien für die Festlegung eines Klimaziels. In Kapitel 5 werden Kostenschätzungen für Emissionsreduktionen in der Schweiz präsentiert.

4.2 Ein angemessener Beitrag an die globalen Bemühungen

Vorausgesetzt, die Schweiz möchte ihre klimapolitischen Ziele so abstecken, dass sie einen angemessenen Beitrag an die erforderlichen internationalen Bemühungen leistet: Wie wird dieser angemessene Beitrag definiert?

Grundsätzlich hat die Schweiz drei Optionen:

1. Sie kann warten, bis sich die internationale Gemeinschaft auf eine Verteilung der jährlichen Budgets verständigt hat und dann den der Schweiz zugeteilten Anteil akzeptieren. Dieser Anteil kann aufgrund von Verhandlungen festgelegt werden, welche die Massnahmen für eine Gruppe von Ländern, beispielsweise Europa, abstecken und aus denen der Anteil der Schweiz abgeleitet wird. Möglich ist auch die Einigung auf ein angemessenes Kriterium, wie beispielsweise die Emissionen pro Kopf, anhand dessen die Schweiz selbst ihren Anteil berechnen kann.
2. Die Schweiz kann selbst eine angemessene Verteilung definieren und sich an ihren Anteil der Bemühungen halten, auch wenn der Rest der Welt nicht mitmacht.

3. Sie kann sich an den Bemühungen orientieren, auf die sich vergleichbare Länder oder Ländergruppen, beispielsweise die Europäische Union, einigen. Dies tat die Schweiz im Rahmen des Kyoto-Protokolls.

Die laufenden internationalen Verhandlungen sind noch weit weg von einer Einigung zu einem globalen Budget, und noch weiter weg von einem Konsens über dessen gerechte Verteilung. Daher kommt Lösung 1 als Leitfaden für die schweizerische Klimapolitik kurzfristig nicht in Betracht. Im Folgenden konzentriert sich der Bericht daher auf die Lösungen 2 und 3. Er zeigt dabei auf, welche konkreten Ziele diese beiden Varianten voraussetzen. Dabei werden die wichtigsten Prinzipien der internationalen Verhandlungen übernommen.

4.2.1 Kriterien für die Definition eines angemessenen Beitrags

1990 entsprachen die weltweiten Emissionen von Treibhausgasen 38 Milliarden Tonnen CO₂ (Gt CO₂ eq) (UNEP, 2010). 2005 erreichten sie 45 Gt CO₂ eq, und Experten erwarten für das Jahr 2020 Emissionen von 56 Gt CO₂ eq, sollten keine zusätzlichen Massnahmen ergriffen werden (Business-as-usual). Gleichzeitig schätzen sie, dass die Emissionen 2015 ihr Maximum erreichen und bis 2020 unter 44 Gt CO₂ eq sinken müssten, damit mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 66 Prozent die globale Temperatur im Vergleich zur Zeit vor der Industrialisierung um nicht mehr als 2°C steigt. Die Emissionen müssten danach weiter rapide abnehmen, d.h. bis 2050 unter 20 Gt CO₂ eq sinken und sich gegen Ende des Jahrhunderts dem Nullwert annähern.

Die erforderliche Reduktion bis 2020 lässt sich auf verschiedene Weisen ausdrücken: Die weltweiten Emissionen dürfen im Vergleich zu 1990 um nicht mehr als 16 Prozent wachsen; sie dürfen den Wert von 2004 nicht übersteigen; im Vergleich zum Business-as-usual-Szenario ist eine Reduktion um 20 Prozent erforderlich. Auf die Schweiz angewendet wären diese Ziele bequem, denn die Treibhausgasemissionen der Schweiz bewegen sich seit 1990 um einen konstanten Wert von 53 Millionen Tonnen. Ein solcher Ansatz widerspricht allerdings der Rahmenkonvention der Vereinten Nationen zur Klimaänderung (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) von 1992, die von 192 Ländern unterzeichnet und von

der Schweizer Bundesversammlung 1993 ratifiziert wurde.² Für entwickelte Länder sieht die UNFCCC nämlich weitreichendere Bemühungen vor, was in Artikel 3 zum Ausdruck kommt: «Die Vertragsparteien sollen auf der Grundlage der Gerechtigkeit und entsprechend ihren gemeinsamen, aber unterschiedlichen Verantwortlichkeiten und ihren jeweiligen Fähigkeiten das Klimasystem zum Wohl heutiger und künftiger Generationen schützen. Folglich sollen die Vertragsparteien, die entwickelte Länder sind, bei der Bekämpfung der Klimaänderungen und ihrer nachteiligen Auswirkungen die Führung übernehmen.» In Artikel 4 werden genauere Bedingungen für die Vertragsparteien ausgeführt: «Sie berücksichtigen die unterschiedlichen Ausgangspositionen und Ansätze sowie die unterschiedlichen Wirtschaftsstrukturen und Ressourcen dieser Vertragsparteien und tragen der Notwendigkeit, ein starkes und nachhaltiges Wirtschaftswachstum aufrechtzuerhalten, den verfügbaren Technologien und anderen Einzelumständen sowie der Tatsache Rechnung, dass jede dieser Vertragsparteien zu dem weltweiten Bemühen um die Verwirklichung des Zieles gerechte und angemessene Beiträge leisten muss.»

Es ist schwierig, anhand dieser Kriterien ein Ziel für die Reduktion der Emissionen für ein bestimmtes Land abzuleiten. Genau das wurde aber beim Kyoto-Protokoll für die Jahre 2008 bis 2012 gemacht.³ Schwellen- und Entwicklungsländer blieben weiterhin frei von Einschränkungen, während die entwickelten Länder in Annex I der UNFCCC aufgefordert wurden, ihre Emissionen im Vergleich zu 1990 um 5.2 Prozent zu senken. Dieses Ziel wurde in Annex B des Kyoto-Protokolls auf die Länder aufgeteilt. Diese Aufteilung basierte allerdings vielmehr auf politischen Verhandlungen als auf objektiven Kriterien. So schloss sich die Schweiz dem von den EU-15-Ländern angenommenen Durchschnittswert an, nämlich einer Reduktion der Emissionen um 8 Prozent. Dieser Entscheid beruhte kaum auf einem umfassenden Vergleich der Bedingungen zwischen der EU und der Schweiz.

4.2.2 Orientierung an anderen Ländern

Das globale Ziel der EU-15-Länder von 8 Prozent wurde unter den Mitgliedsstaaten entsprechend ihrem wirtschaftlichen Entwicklungsstand, ihrer CO₂-Intensität und ihrer Kapazität zur Reduktion der Emissionen aufgeteilt. Die Ziele variieren somit zwischen einer Reduktion um 28 Prozent für Luxemburg und einer Steigerung um 27 Prozent für Portugal. Für Österreich wurde ein Reduktionsziel von 13 Prozent festgelegt. Mit einer Reduktion von 8 Prozent liegt die Schweiz im Bereich von Belgien, das ein Ziel von 7.5 Prozent erhielt, Italien (6.5 Prozent) und den Niederlanden (6 Prozent).

Unter der begründeten Annahme, dass die Schweiz die Möglichkeiten besitzt, ihre Treibhausgasemissionen gemäss Artikel 4 der UNFCCC so stark zu reduzieren wie der Durchschnitt der EU, ja sogar noch mehr, müsste sich die Schweiz weiterhin das gemeinsame Ziel der EU zu eigen machen. Die EU hat sich verpflichtet, ihre gesamten Treibhausgasemissionen bis 2020 im Vergleich zu 1990 um 20 Prozent zu senken (bzw. sogar 30 Prozent, wenn andere entwickelte Länder dasselbe tun, daher das Ziel «20-30»). Zudem hat sich die EU auch verpflichtet, 20 Prozent ihres Energieverbrauchs aus erneuerbaren Energien zu beziehen und den Primärenergieverbrauch durch Verbesserungen der Energieeffizienz um 20 Prozent zu senken. Manchmal ist daher die Rede von den «20-20-20-Zielen» (Europäische Kommission, 2010, S. 3). Für 2050 wünscht sich die Europäische Kommission eine «Wirtschaft mit geringem CO₂-Ausstoss» mit einer Reduktion der CO₂-Emissionen um 80 bis 95 Prozent.

Das Ziel 20-30 der EU für die Reduktion der Treibhausgasemissionen bis 2020 wurde vom Bundesrat als Verpflichtung für die Schweiz im Rahmen des Copenhagen Accord aufgegriffen und in die Revision des CO₂-Gesetzes aufgenommen. Im Sinne der UNFCCC müssten für die Festlegung des Reduktionsziels der wirtschaftliche Entwicklungsstand, die CO₂-Intensität und die Kapazität der Schweiz zur Reduktion ihrer Emissionen mit den Werten der EU-Länder verglichen werden. Eine entsprechende Bewertung führt zum Schluss, dass

² Die UNFCCC enthält keine Zahlen- oder Zeitpunktsangaben zu den Treibhausgaskonzentrationen, die nicht überschritten werden dürfen, und auch keine echten Verpflichtungen für die Industrieländer, ihre Treibhausgasemissionen zu reduzieren. Die UNFCCC formuliert lediglich die Hauptprinzipien im Kampf gegen die Erwärmung des Planeten und bietet eine grosse Bandbreite für deren Umsetzung.

³ Das 1997 einstimmig angenommene Kyoto-Protokoll trat am 16. Februar 2005 in Kraft. Es präzisiert und stärkt die Konvention der UNFCCC beträchtlich, indem die entwickelten Länder aufgefordert werden, quantifizierte – und rechtlich bindende – Ziele für die Reduktion oder Beschränkung ihrer Treibhausgasemissionen zu verfolgen. Für die Entwicklungsländer enthält aber auch dieses Protokoll keinerlei Verpflichtung.

das angemessene Ziel für die Schweiz etwa bei 25 Prozent liegt (Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL), 2009, S. 31).

Wie gross wäre der Anteil der Schweiz am 20-Prozent-Ziel, wenn die Schweiz EU-Mitglied wäre und die von der EU vorgesehene Verteilregel unter den Ländern der EU angewendet würde? Die EU unterscheidet zwischen Energieproduzenten und anderen grossen CO₂-Emittenten, die dem Emissionshandelssystem EU-ETS (Emission Trading System) unterliegen, sowie den anderen Sektoren, die diesem nicht unterliegen, und berechnet die Bemühungen zur Reduktion in Bezug auf 2005. Die Emittenten, die dem EU-ETS unterliegen, müssen ihre Emissionen im Vergleich zu 2005 um 21 Prozent senken, die anderen um 10 Prozent. Das letztgenannte Ziel wird unter den Mitgliedsländern innerhalb der Grenzen 20 Prozent und +20 Prozent entsprechend deren BIP pro Kopf aufgeteilt. Die Schweiz gehört zu den reichsten Ländern und wäre deshalb zu einem Reduktionsziel von 20 Prozent verpflichtet. Insgesamt wäre das globale Ziel der Schweiz für die grossen Emittenten (z.B. Zementindustrie) und die anderen Sektoren eine Reduktion um etwa 20 Prozent im Vergleich zu 2005. Auf den Wert von 1990 bezogen, würde das eine Reduktion von 18 Prozent bedeuten.

Mehrere bedeutende Länder der EU haben inzwischen noch ehrgeizigere Ziele angekündigt. So möchte Deutschland bis 2020 seine Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 40 Prozent senken. Grossbritannien hat sich in seinem Klimawandelgesetz von 2008 dazu

verpflichtet, seine Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 Prozent zu senken mit einem mittelfristigen Ziel von mindestens 34 Prozent bis 2020. Im Anschluss an das Umweltforum Grenelle Environnement hat sich Frankreich das Ziel gesetzt, seine Treibhausgasemissionen bis 2020 im Vergleich zu 1990 um 22.8 Prozent zu senken und bis 2050 um 75 Prozent. Die Niederlande und Norwegen streben bis 2020 eine Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen in der Grössenordnung von 30 Prozent im Vergleich zu ihren jeweiligen Emissionen im Jahr 1990 an, Schweden gar 40 Prozent. Norwegen, das nicht EU-Mitglied ist, und Schweden streben die Klimaneutralität bis spätestens 2050 an, ja sogar noch früher, falls andere Länder ihrem Beispiel folgen.

4.2.3 Ein angemessenes Emissionsbudget

Will die Schweiz nicht einfach die europäischen Ziele übernehmen, sondern selbst einen angemessenen Anteil an der erforderlichen Emissionsreduktion oder am weltweiten Emissionsbudget berechnen, kann dies auf Basis verschiedener Überlegungen geschehen, die nachfolgend kurz ausgeführt werden.

Eine erste einfache Verteilungsregel wurde vom Wissenschaftlichen Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WGBU, 2009) vorgeschlagen. Gemäss dieser Regel wird jedem Land ein Emissionsbudget proportional zur aktuellen Bevölkerung zugeteilt. Der WGBU schätzt das globale Emissionsbudget für 2010 bis 2050 auf 750 Gt CO₂ aus fossilen Brennstoffen. Dieses Budget darf nicht

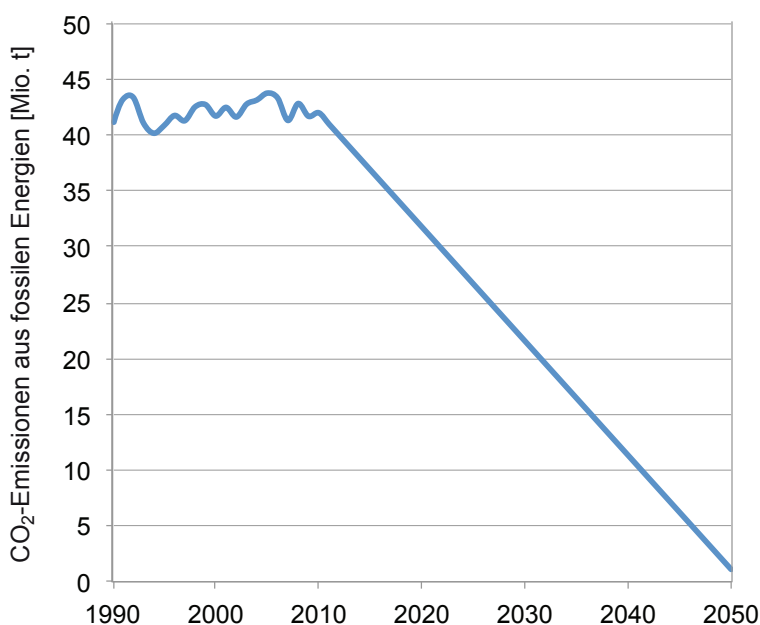


Abbildung 1: Eine Entwicklung der CO₂-Emissionen der Schweiz, die mit einem Emissionsbudget von 840 Millionen Tonnen CO₂ für den Zeitraum 2010 bis 2050 kompatibel wäre.

überschritten werden, wenn mit einer Wahrscheinlichkeit von 66 Prozent die globale Temperatur um nicht mehr als 2 °C im Vergleich zur Zeit vor der Industrialisierung steigen soll (WGBU, 2009). Bei einer Weltbevölkerung von 6.9 Milliarden Menschen bedeutet dies für die nächsten 40 Jahre ein durchschnittliches Budget von 2.7 Tonnen CO₂ pro Einwohner und Jahr. Die Schweiz stiess 2011 rund 38 Millionen Tonnen CO₂ aus fossilen Brennstoffen aus. Bei 7.9 Millionen Einwohnern bedeutete dies 4.8 Tonnen CO₂ pro Einwohner, bzw. etwas weniger als das Doppelte des Budgets. Aufgrund ihrer Bevölkerung hätte die Schweiz ein kumulatives Budget von 840 Millionen Tonnen CO₂ zur Verfügung. Dieses Budgetziel könnte die Schweiz erreichen, wenn sie ihre Emissionen pro Jahr um 1 Million Tonnen CO₂ verringern würde (Abbildung 1). Die Emissionen lägen dann 2020 23 Prozent unter dem Stand von 1990 und würden 2051 den Wert Null erreichen.

Die Entwicklungsländer befürworten im Allgemeinen eine Verteilung des Emissionsbudgets proportional zur Bevölkerung. Die Industrieländer, die eine zu grosse Belastung fürchten, bevorzugen eher eine Verteilung, die frühere Emissionsmengen berücksichtigt (Grandfathering). Die quantitativen Ziele des Kyoto-Protokolls sind dementsprechend in Bezug auf die Emissionen von 1990 formuliert. Ein Kompromiss zwischen dem Bevölkerungskriterium und dem Kriterium der früheren Emissionsmenge würde erfordern, dass sich alle Länder mit ihren sehr unterschiedlichen Pro-Kopf-Emissionen auf ein gemeinsames Niveau zubewegen. Das Global Commons Institute hat einen solchen Vorschlag mit dem Titel Contraction and Convergence ausgearbeitet. Dieser fand in den internationalen Verhandlungen grossen Anklang und hat die Klimapolitik in Grossbritannien stark geprägt.

Bei einem Reduktionsziel der globalen Treibhausgasemissionen um 90 Prozent bis 2080 und einheitlichen Pro-Kopf-Emissionen bis 2050 müsste das gemeinsame Niveau demnach bei etwa 0.6 Tonnen CO₂ eq liegen. Die Entwicklungsländer hätten noch für einige Jahre das Recht, ihre Pro-Kopf-Emissionen zu steigern, während die Industrieländer die ihren sofort senken müssten. Für die Schweiz bedeutet eine Senkung von 6.7 Tonnen CO₂ eq

im Jahr 2009 auf 0.6 Tonnen CO₂ eq bis 2050 eine Reduktion von jährlich 0.15 Tonnen CO₂ eq. Berücksichtigt man das voraussichtliche Bevölkerungswachstum, bedeutet dies eine Senkung der Treibhausgasemissionen bis 2020 im Vergleich zu 1990 um 20 Prozent und bis 2050 um 90 Prozent.

Mit einer analogen Argumentation hat das Energy Science Center der ETH Zürich 2008 das Ziel von 1 Tonne CO₂ pro Jahr und pro Kopf bis zum Ende dieses Jahrhunderts formuliert. Dieses Ziel bringt den Klimaschutz mit einer ausreichenden Energieversorgung in Einklang, indem es nicht nur eine Reduktion des Energieverbrauchs anstrebt, sondern gleichzeitig auf erneuerbare Energien setzt. Der Wirtschaftsverband swisscleantech hat in der Cleantech Energiestrategie (2011) dasselbe Ziel ins Auge gefasst, allerdings bereits für 2050. Das Ziel von 1 Tonne CO₂ pro Jahr und Kopf bis 2050 ist auch in verschiedenen kantonalen und kommunalen Gesetzen festgelegt.⁴

4.2.4 Verursacherprinzip und Zahlungsfähigkeit

Die Forderung nach einem Emissionsbudget proportional zur Bevölkerung mag anspruchsvoll erscheinen, obwohl auch in diesem Fall nicht die gesamten Emissionen eines Landes seit der industriellen Revolution berücksichtigt werden. Die Industrieländer sind hauptsächlich für die aktuelle Treibhausgaskonzentration verantwortlich, während die weniger entwickelten Länder wenig dazu beigetragen haben, dass das zukünftig verbleibende weltweite Emissionsbudget so gering ist. Das Verursacherprinzip würde es daher erfordern, dass den Industrieländern ein reduzierter Anteil des künftigen globalen Budgets zur Verfügung stünde.

Im Weiteren werden auch die Kapazitäten jedes Landes zur Reduktion seiner Emissionen nicht berücksichtigt. Das gerade noch tragbare Emissionsbudget wird auf die Länder der Erde verteilt, ohne die Bürde zu beachten, die einem Land dadurch zugemutet wird. Aus heutiger Sicht erscheint es wenig sinnvoll, die gerechte Verteilung des Budgets höher zu gewichten als die gerechte Belastung, die mit der Emissionsreduktion verbunden ist. Es sind eher praktische Überlegungen, die für Ersteres sprechen. Um die gerechte Verteilung der Belastung objektiv zu beurteilen, müss-

⁴ Die Bevölkerung der Stadt Zürich stimmte beispielsweise 2008 bei einer Volksabstimmung dafür, dieses Ziel im kommunalen Reglement festzusetzen.

ten die für das Erreichen des Emissionsziels konkret umgesetzten Massnahmen über Jahrzehnte hinweg berücksichtigt werden. Forschende, die Verteilungsregeln für eine gerechte Lastenverteilung vorschlagen, verwenden ausgeklügelte wirtschaftliche Simulationsmodelle. Dies führt zu sehr komplexen Regeln. Andererseits können mit dem belastungsorientierten Ansatz monetäre Transaktionen zwischen den Ländern einbezogen werden, insbesondere wenn Industrieländer Reduktionsmassnahmen in Entwicklungsländern finanzieren.

Aufgrund der vorangehenden Überlegungen lässt sich der gerechte Anteil der Schweiz an den globalen Bemühungen unter Berücksichtigung der früheren Emissionen des Landes sowie seiner wirtschaftlichen Kapazität berechnen. Dies würde zu einem extrem ehrgeizigen Reduktionsziel für die Schweiz führen. Um eine Erderwärmung von mehr als 2 °C zu verhindern, müssten die globalen Treibhausgasemissionen bis 2050 im Vergleich zu 1990 um 80 Prozent sinken. Bis 2020 würde das eine Reduktion um 18 Milliarden Tonnen CO₂ eq bedeuten. Der angemessene Anteil der Schweiz an dieser Reduktion unter Berücksichtigung des Bevölkerungseinkommens und der Emissionen seit 1990 beträgt 0.37 Prozent (Athanasίου et al., 2009). Auf die Emissionen der Schweiz umgerechnet bedeutet dies eine Reduktion um 130 Prozent im Vergleich zu 1990! Eine solche Reduktion lässt sich offensichtlich nicht innerhalb eines Landes realisieren, sondern muss zu einem grossen Teil durch die Finanzierung von Emissionsreduktionen in den Entwicklungsländern erreicht werden.

4.3 Autonome klimapolitische Ziele

Eine gerechte Zuweisung der Reduktionsziele ist schwierig und ein entsprechender Entscheid durch die internationale Gemeinschaft ist noch nicht absehbar. Die Schweiz soll und wird weiter aktiv zur internationalen Lösungsfindung beitragen. Bis aber ein internationaler Konsens gefunden ist, sollte sich die Schweiz ein unabhängiges Klimaziel setzen, das nicht unbedingt auf eine ungewisse Gerechtigkeitsperspektive abstellt. Sie stärkt damit ihre Verhandlungsposition und kann bei entsprechenden Zielen als Vorbild wirken. Dabei ist ein pragmatisches Vorgehen angezeigt: Was tun andere Länder? Was wurde in der Vergangenheit getan? Welches sind gut kommunizierbare Ziele? Nachfolgend wer-

den klimapolitische Ziele der Schweiz aus der Vergangenheit und Vorschläge für die Zukunft erläutert.

4.3.1 Historische Ziele

Die schweizerische Strategie im Kampf gegen die Klimaerwärmung besteht aus einer Kombination von Massnahmen auf unterschiedlichen Ebenen und in verschiedenen Bereichen.

a) Energiegesetz, Energie 2000 und EnergieSchweiz

Im Rahmen des 1990 ins Leben gerufenen Programms Energie 2000 hat sich die Schweiz das Ziel gesetzt, ihre Abhängigkeit vom Import fossiler Energie zu verringern, den Energieverbrauch insgesamt einzudämmen und die CO₂-Emissionen bis 2000 im Vergleich zu 1990 zu stabilisieren. Damit war die Schweiz eines der ersten Länder, das Ziele für die Reduktion der CO₂-Emissionen formulierte, und das immerhin sieben Jahre vor der Unterzeichnung des Kyoto-Protokolls.

Im Jahre 2001 folgte auf Energie 2000 das Programm EnergieSchweiz mit fünf Zielen in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien. EnergieSchweiz sollte zu einer Reduktion der CO₂-Emissionen von 10 Prozent bis 2010 führen (im Vergleich zu 1990), den Verbrauch fossiler Energie um 10 Prozent senken und den Anstieg des Stromverbrauchs auf 5 Prozent (im Vergleich zu 2000) beschränken. Im Weiteren zielte das Programm auf einen Anstieg der erneuerbaren Energien und die Stärkung der Position der Wasserkraft in der schweizerischen Energiegewinnung. Die Ergebnisse von Ende 2009 lassen erkennen, dass nur die letztgenannten Ziele erreicht wurden (EnergieSchweiz, 2010, S. 5).

Am 11. Juni 2010 wurden die Absichten des Programms EnergieSchweiz für das laufende Jahrzehnt vom Bundesrat bestätigt (DETEC, 2010). Anstelle mengenmässig definierter Ziele wird nun die klima- und energiepolitische Stossrichtung grundsätzlich und übereinstimmend unterstützt. Das Energiegesetz (RS 730) enthält seit 2007 folgende Ziele: 1. Erhöhung der durchschnittlichen Jahresproduktion von Strom aus erneuerbaren Energien bis zum Jahr 2030 gegenüber dem Stand im Jahr 2000 um mindestens 5400 GWh, was eine Steigerung um etwa 15 Prozent bedeutet. 2. Zu dieser Steigerung soll die Wasserkraft mindestens 2000 GWh beitragen. 3. Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte soll bis zum Jahr 2030 auf dem Niveau von 2008 stabilisiert werden.

Ergänzung: Lastenverteilung im Kontext der UNO Klimaverhandlungen

Reto Knutti

ETH Zürich, Institute for Atmospheric and Climate Science, Universitätstrasse 16, 8092 Zürich, reto.knutti@env.ethz.ch

Eine Studie von INFRAS und der ETH Zürich (Infras, 2012) zum Thema Emissionsreduktionen und globale Lastenverteilung kommt, ähnlich wie die vorliegende Arbeit, zum Schluss, dass der Spielraum relativ klein ist, um das Temperaturziel von 2 °C zu erreichen, dass dieses Ziel nur mit massiven technologischen Durchbrüchen erreicht werden kann, dass die global vorgeschlagenen Emissionsreduktionen für 2020 nicht ausreichen und dass sich alle Länder und Sektoren beteiligen müssen.

Die INFRAS-Studie untersucht vier Szenarien mit drei Vorschlägen zur Lastenverteilung, die in den internationalen Klimaverhandlungen diskutiert werden. Die drei Vorschläge unterscheiden sich nur in der Lastenverteilung, denn alle drei sind mit dem 2 °C-Ziel kompatibel. Die vier Szenarien sind im Folgenden kurz beschrieben:

- 1) Keine Interventionen zum Klimaschutz (business as usual, BAU)
- 2) Indian Proposal (IND-PRO): Die «teilnehmenden» Länder (Annex I zu Beginn) reduzieren ihre Emissionen so stark, dass gemeinsam ein 2 °C-Ziel erreicht werden kann. Jedes «nicht teilnehmende Land» wird zu einem «teilnehmenden» Land, wenn seine Emissionen pro Kopf den Durchschnitt der «teilnehmenden» überschreiten oder eine bestimmte Schwelle des Pro-Kopf-Einkommens (BIP) erreicht wird.
- 3) Gleiche Pro-Kopf-Emissionen: Jedes Land hat das Recht auf die gleichen kumulierten Pro-Kopf-Emissionen von 1990 bis 2100 (Cumulative per Capita, CPC). Die Verteilung über die Zeit nach 2010 ist nicht vorgeschrieben, und wird in Abbildung 1 durch eine Spline Funktion illustriert.
- 4) Responsibility Capacity Indicator (RCI): Der Anteil eines Landes an der gesamten Emissionsreduktion wird durch den RCI Indikator bestimmt. Dieser berücksichtigt zu 75 Prozent die Pro-Kopf-Emissionen der vorherigen 10 Jahre (historische Verantwortung) und zu 25 Prozent das erwartete Brutto sozialprodukt pro Kopf (Möglichkeit einen Beitrag zu leisten).

Die zentrale Idee aller drei Vorschläge zur Emissionsreduktion ist die «common but differentiated responsibility»: Alle Länder müssen gemeinsam die Verantwortung übernehmen, aber der Beitrag eines Landes zur Gesamtreduktion variiert gemäss seinen heutigen und vergangenen Emissionen und seinen technologischen und finanziellen Möglichkeiten. Je nach dem, wie die historische Verantwortung und die finanziellen Möglichkeiten bestimmt und gewichtet werden, ergeben sich damit andere Emissionsreduktionen für die verschiedenen Länder. Welche Lastverteilung «fair» ist, kann nicht allein mit wissenschaftlichen Argumenten bestimmt werden.

Die totalen (kumulativen) Emissionen für die verschiedenen Lastenverteilungen und verschiedenen Zeiträume sind in Tabelle 1 für Annex 1 und non-Annex 1 zusammengestellt. Die Emissionen für Annex-1-Länder sind ähnlich für das Indian Proposal und den RCI Indikator. Der Vorschlag der «gleichen kumulativen Pro-Kopf-Emissionen» gewichtet die historischen und heutigen Emissionen stark. Als Folge davon müssen die zukünftigen Emissionen dieser Länder bis 2100 praktisch auf null sinken. Da diese ihre Emissionen nicht sofort stoppen können, bedeutet dies, dass ihre Emissionen irgendwann negativ werden müssen, d. h. die Kompensation im Ausland und die Sequestrierung müssen die Emissionen übersteigen. Werden die kumulativen Emissionen nicht ab 1990, sondern zu einem früheren oder späteren Zeitpunkt betrachtet, ändern sich diese Zahlen.

Bei allen Vorschlägen zur Lastenverteilung ist offensichtlich, dass die kumulativen Emissionen bis 2100 sowohl in den Annex-I-Ländern als auch in den non-Annex-I-Ländern um rund einen Faktor drei oder mehr unter dem Szenario ohne Intervention liegen müssen. Drastische Emissionsreduktionen sind also überall und in allen Vorschlägen unvermeidlich.

Für Westeuropa müssten die Emissionen bis 2050 in allen drei Vorschlägen um mindestens 80 Prozent gegenüber heute reduziert werden, für den Fall der gleichen Pro-Kopf-Emissionen deutlich mehr. Eine faire Lastenverteilung zu finden wird nicht einfach sein. Ein robustes Resultat lässt sich aber aus der

Infras-Studie ableiten: Jede vernünftige Auslegung von «Fairness» bedeutet, dass Westeuropa – und damit auch die Schweiz – die CO₂-Emissionen schon in den nächsten Jahrzehnten massiv reduzieren muss, damit das 2°C-Ziel erreicht werden kann (Abbildung 1).

Kumulative Emissionen pro Variante (Gt CO ₂)	2010–2020				2010–2030				2010–2050				2010–2100			
	IND-PRO	CPC	RCI	BAU	IND-PRO	CPC	RCI	BAU	IND-PRO	CPC	RCI	BAU	IND-PRO	CPC	RCI	BAU
Annex-I-Länder	184	167	182	182	293	238	303	353	391	176	429	701	437	-10	500	1501
Nicht-Annex-I-Länder	293	273	293	298	588	535	576	656	1015	1039	978	1583	1282	1510	1223	3949

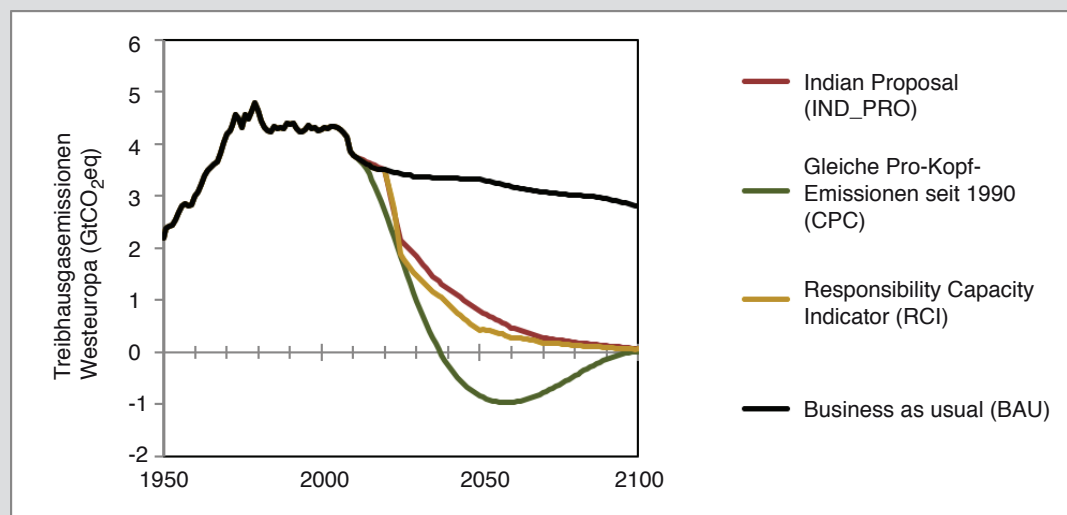


Tabelle 1 / Abbildung 1: Treibhausgasemissionen in Westeuropa für ein Szenario ohne Interventionen zum Klimaschutz (BAU) und drei Vorschläge zur Lastenverteilung (CPC, RCI, IND_PRO) für eine Temperaturstabilisierung von 2°C (mit einer Wahrscheinlichkeit von 66 Prozent). (Infras, 2012)

Literatur

Füssler, J., Herren, M., Guyer, M. Rogelj, J. and Knutti R. (2012): Emission pathways to reach 2°C target – Model results and analysis; Swiss Federal Office for the Environment (FOEN), INFRAS and ETH Zurich, 61 pp.

b) CO₂-Gesetz und dessen Revision

Im Rahmen des Kyoto-Protokolls hat sich die Schweiz verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen im Vergleich zu 1990 um 8 Prozent zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde das CO₂-Gesetz erlassen, das seit 1999 in Kraft ist. Das CO₂-Gesetz sieht vor, dass die CO₂-Emissionen aus der energetischen Nutzung fossiler Energien über den Zeitraum 2008 bis 2012 im Durchschnitt um 10 Prozent unter dem Niveau von 1990 liegen müssen.⁵ Die Emissionen aus der energetischen Nutzung fossiler Brennstoffe sind gesamthaft um 15 Prozent zu verringern, die Emissionen aus fossilen Treibstoffen um 8 Prozent. Laut Schätzungen Ende 2011 wird erwartet, dass die CO₂-Emissionen gemäss CO₂-Gesetz in Wirklichkeit nur um 3 bis 5 Prozent gegenüber 1990 abnehmen werden (BAFU, 2011). Dies ist vor allem auf die starke Zunahme bei den Treibstoffen zurückzuführen. Das gesetzliche Ziel wird also nur durch den Kauf von ausländischen Emissionszertifikaten zu erreichen sein.

2009 legte der Bundesrat dem Parlament einen Vorschlag für die Revision des CO₂-Gesetzes vor. Der Revisionsvorschlag sieht vor, dass die Reduktionsziele über das Jahr 2012 hinaus weiter verfolgt werden sollen, indem bis 2020 die gesamten Treibhausgasemissionen (und nicht mehr nur die CO₂-Emissionen aus der Energiegewinnung) im Vergleich zu den Werten von 1990 um mindestens 20 Prozent reduziert werden müssen. Die Reduktion soll 30 Prozent betragen, falls sich andere Industrieländer ein ähnliches Ziel setzen. Mindestens die Hälfte der Reduktion muss in der Schweiz erfolgen (Botschaft zur schweizerischen Klimapolitik nach 2012, 26. August 2009). Dieser Vorschlag für ein revidiertes CO₂-Gesetz ist ein indirekter Gegenvorschlag zur Eidgenössischen Volksinitiative «für ein gesundes Klima». Die Initiative verlangt ebenfalls eine Reduktion der Treibhausgasemissionen von 30 Prozent bis 2020 im Vergleich zu 1990, die allerdings ausschliesslich in der Schweiz erfolgen soll, d.h. ohne die Möglichkeit anrechenbarer Massnahmen im Ausland.

c) 2000-Watt-Gesellschaft

Das Konzept der 2000-Watt-Gesellschaft wurde 1998 von der ETH Zürich entwickelt. Es for-

dert die Bewohner der Industrieländer auf, höchstens soviel Energie zu verbrauchen, dass dies einem konstanten Energiekonsum von 2000 Watt entspricht, wobei alle Energieformen inklusive der so genannten grauen Energie berücksichtigt werden. Die 2000 Watt entsprechen dem aktuellen globalen Durchschnitt, während der Durchschnitt in Europa und der Schweiz das Dreifache beträgt.⁶ In der 2000-Watt-Gesellschaft soll nur ein Viertel der Energie aus nicht erneuerbaren Quellen stammen. Der Kanton Genf sowie die Städte Basel und Zürich haben sich dafür ausgesprochen, ihren Energieverbrauch in Richtung dieses Ziels zu reduzieren. Für die Eidgenossenschaft ist es eines der möglichen Szenarien der Energiestrategie. Auch wenn es sich beim Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft nicht um ein Klimaziel handelt, ist die Realisierung nur mit einer massiven Reduktion des Verbrauchs fossiler Energien und damit der Treibhausgasemissionen möglich. Entsprechend wurde bis 2050 ein Zwischenziel für die Reduktion des durchschnittlichen Verbrauchs fossiler Energie festgelegt.

4.3.2 Weitere Möglichkeiten für das Festlegen von Klimazielen

Im Wissen, dass die Festlegung gemeinsamer Reduktionsziele durch die Staatengemeinschaft noch längere Zeit in Anspruch nehmen kann, macht ein nationales Vorgehen Sinn. Als mögliche Ziele kommen in Frage: 1. eine kohlenstoffarme Wirtschaft (low-carbon economy), 2. eine kohlenstofffreie Gesellschaft (zero-carbon society) oder 3. Klimaneutralität. In den beiden ersten Fällen geht es um eine schrittweise Reduktion der nationalen CO₂-Emissionen auf ein Niveau, das gegen null tendieren kann. Im Falle der Klimaneutralität, einer von zwei Varianten, die der Bundesrat für die Revision des CO₂-Gesetzes in Betracht gezogen hat, muss das Land seine Emissionen nicht auf null reduzieren, sondern kann seine Emissionen dadurch kompensieren, dass es entsprechende Emissionsreduktionen im Ausland finanziert. Es ist sogar eine Art «Super-Neutralität» denkbar: In diesem Fall werden nicht nur die eigenen Emissionen kompensiert, sondern überdies die Emissionen, die mit der Produktion von Gütern und

⁵ Das Gesetz sieht weiter vor, dass Emissionsverminderungen im Ausland bei der Zielerreichung mitberücksichtigt werden dürfen. In der Anrechnungsverordnung wurde festgelegt, dass dies bis zu einem Umfang von 3 Mio.t CO₂ pro Jahr geschehen darf.

⁶ Die 2000 Watt entsprechen umgerechnet einem Energieverbrauch von 17 500 kWh pro Jahr, bzw. 1700 Litern Öl oder Benzin.

Dienstleistungen zusammenhängen, welche die Schweiz importiert.⁷

Die beschriebenen Vorschläge haben eines gemeinsam: Die klimapolitischen Ziele werden festgelegt, ohne die dabei entstehenden Kosten in Betracht zu ziehen. Die im Folgenden vorgestellten Ziele berücksichtigen diese Kosten.

a) Kosten-Nutzen-Rechnung

Die Schweiz könnte ihre klimapolitischen Ziele ganz egoistisch ausschliesslich aufgrund der Kosten und Nutzen für das Land festlegen. Auf das Klima haben die Massnahmen der Schweiz offensichtlich wenig Einfluss, da die Schweiz nur einige Promille der weltweiten Treibhausgasemissionen verursacht. Bestenfalls haben die Bemühungen der Schweiz eine Signalwirkung und ermutigen andere, für das Klima bedeutendere Länder, ihre eigenen Anstrengungen zu verstärken. Die Schweiz würde zeigen, dass es möglich ist, seine Treibhausgasemissionen massiv zu reduzieren, ohne die eigene Wirtschaft dadurch zu gefährden. Im Weiteren könnte sie Massnahmen erproben und die Entwicklung von technischen Lösungen fördern, gerade auch für den Export. Alle genannten Punkte haben das Potenzial, das politische Kapital der Schweiz zu stärken.

Es ist wahrscheinlich, dass die Sekundärnutzen eines ehrgeizigen politischen Klimaziels für ein kleines Land wie die Schweiz grösser sind als die direkten Auswirkungen auf das Klima. Dazu gehören nebst dem Aspekt des politischen Gewichts die Verbesserung der Luftqualität, die Reduktion der Energieimporte, eine geringere Abhängigkeit von Energiemärkten, die Steigerung der Produktivität, die Entwicklung innovativer und exportierbarer Produkte (Cleantech) etc.

Die Kosten der Klimapolitik sind einfacher abzuschätzen als der Nutzen (siehe dazu auch Kapitel 5). Die Gegenüberstellung von Kosten und Vorteilen ermöglicht es, die klimapolitischen Anstrengungen optimal zu definieren, indem die Differenz zwischen Kosten und Nutzen maximiert wird. Eine solche Berechnung wurde von Stefan Felder und Reto Schleiniger (2002) mit Hilfe eines kompletten Modells der nationalen Wirtschaft durchgeführt. Diese ergab ein Optimum bei einer Reduktion der CO₂-Emissionen bis 2010 um 30 Prozent relativ zu 1990, vorausgesetzt die Schweiz hätte die

verschiedenen Energieformen entsprechend der externen Kosten ihrer Nutzung für das Land besteuert. Eine solche Besteuerung hätte eine Maximierung des Unterschieds zwischen Nutzen und Kosten des Energieverbrauchs bedeutet.

b) Berücksichtigung der externen Kosten

Anstatt ein Emissionsziel festzulegen, könnte man den Treibhausgasemissionen auch einen Preis geben, der die Schäden für das Land (Verschmutzung) bzw. für den Planeten (Klimaveränderung) widerspiegelt. Das Bundesamt für Energie und der SIA (SIA 480, 2004) empfehlen, den Ölpreis um 4.5 Rp./kWh (oder 45 Rp./Liter) und den Gaspreis um 3 Rp./kWh zu erhöhen, um den wirtschaftlichen Folgen der gewählten Energieform in Gebäuden Rechnung zu tragen.⁸ Im Vergleich dazu beläuft sich die CO₂-Abgabe seit 2010 lediglich auf 9 Rp./Liter für Öl und 0.65 Rp./kWh für Erdgas.

Es gibt zahlreiche Schätzungen, welche Kosten mit einer Klimaänderung pro zusätzlich produzierte Tonne CO₂ verbunden sind. Diese Schätzungen variieren beträchtlich, abhängig von den prognostizierten Konsequenzen und der heutigen Einschätzung der Schäden, die weit in der Zukunft liegen. Die meisten Schätzungen liegen innerhalb einer Bandbreite von 5 bis 50 US-Dollar pro Tonne CO₂, wobei einige, ebenfalls seriöse Schätzungen auch nahe an 100 US-Dollar heranreichen (Yohe et al., 2007; Aldy et al., 2010).

Die Berücksichtigung der durch die Treibhausgasemissionen verursachten Schäden für den Rest der Welt lässt sich nicht nur mit einer Art von Altruismus begründen. Es besteht die Möglichkeit, dass die Opfer des Klimawandels von deren Verursachern eine Wiedergutmachung fordern werden. Da die Industrieländer in überproportionalem Ausmass die Verantwortung tragen, müssten diese den externen Kosten der Treibhausgasemissionen etwa noch zwei Drittel hinzufügen. Dies würde externe Kosten von 59 US-Dollar pro Tonne CO₂ bedeuten, unter Annahme von durchschnittlichen Kosten von 35 US-Dollar pro Tonne CO₂ (Landis & Bernauer, 2011).

c) Umweltschutzgesetz

Sollte eine Einigung auf ein Ziel für die CO₂-Emissionen bzw. deren Reduktion nicht zustande kommen, müssen gemäss Gesetz zumin-

⁷ Die «grauen Treibhausgasemissionen», die mit dem internationalen Handel zusammenhängen, entsprechen etwa drei Viertel der direkten Treibhausgasemissionen der Schweiz. Sie stammen hauptsächlich aus dem Energiesektor (BAFU, 2007).

⁸ Es handelt sich dabei aber um geschätzte externe Kosten von 1994.

dest alle wirtschaftlich tragbaren Massnahmen durchgesetzt werden. In Artikel 11 des Bundesgesetzes vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz (RS 814.01) heisst es, dass gegen die Luftverschmutzung alle Massnahmen ergriffen werden müssen, die technisch und betrieblich möglich und wirtschaftlich tragbar sind. Mehrere Studien haben gezeigt, dass es diverse Massnahmen gibt, deren Nettokosten für die Verschmutzer sehr gering oder gar negativ sind, weil die Energieeinsparung häufig die Kosten für die entsprechenden Massnahmen übersteigt.

d) Ziele in anderen Bereichen

Die Ziele der Klimapolitik sind eng mit den Zielen der Energiepolitik verknüpft. Letztere hat zur Schaffung einer gesetzlichen Basis für erste nationale und kantonale Massnahmen zugunsten des Klimas geführt. Folglich können die Energieszenarien unter Umständen die Szenarien für die Reduktion der Treibhausgasemissionen ersetzen. Dies könnte der Fall sein für das Szenario der zuvor beschriebenen 2000-Watt-Gesellschaft, für die Szenarien der schrittweisen Loslösung von fossiler Energie oder der Energieautonomie. Auch die Szenarien für den Ausbau erneuerbarer Energien, der öffentlichen Verkehrsmittel, für die Entwicklung von Elektrofahrzeugen etc. tragen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen des Landes bei. Sie alle können zu einem «Transformationspfad» für das Energiesystem zusammengefasst werden, der die Massnahmen zur Energieeffizienz und Entwicklung erneuerbarer Energien vereint und die Innovation fördert (Energy Science Center der ETH Zürich, 2008).

4.4 Festlegung eines Klimaziels

Es ist schwierig, ein (Klima-)Ziel zu evaluieren, ohne zu definieren, wie es erreicht werden soll. Ein ehrgeiziges Ziel kann den wirtschaftlichen Wohlstand gefährden, wenn die damit verbundenen Massnahmen das Funktionieren der Wirtschaft stark beeinträchtigen. In diesem Sinne bedeutet die Wahl eines ambitionierten Ziels – im Klima- wie auch in anderen Bereichen – eine Herausforderung, die sich die Gesellschaft und ihre Institutionen selber stellen: Es sollen Wege gefunden werden, das Ziel mit einem Minimum an Schäden in anderen Bereichen zu erreichen. Der Entscheid für einen Ausstieg aus der Kernenergie ist ein Beispiel für eine solche selbst auferlegte Herausforderung

im Energiebereich. Umgekehrt entspricht die Wahl eines bescheidenen Klimaziels entweder dem Weg des geringsten Widerstandes oder aber ist das Ergebnis von Bedenken, ob ein anspruchsvolleres Ziel tatsächlich auch erreicht werden könnte.

4.4.1 Kriterien für die Festlegung eines Klimaziels

a) Gerechtigkeit

Die Entscheidungsträger in der Schweiz werden die erforderlichen, möglicherweise einschneidenden Massnahmen für das Erreichen eines Ziels nur akzeptieren, wenn sie dieses für gerecht halten. Sie werden mit den Zielen anderer Länder vergleichen, die für den Klimawandel ebenfalls mitverantwortlich sind. Daher soll das gewählte Ziel einerseits den Anteil an Verantwortung unseres Landes widerspiegeln, andererseits aber auch unseren Möglichkeiten entsprechen, konkrete Anstrengungen zu unternehmen. Gleichzeitig ist es wichtig, das festgelegte Ziel einzuhalten, damit andere Länder zu einem vergleichbaren Engagement bereit sind.

Auf nationaler Ebene müssen die Bemühungen gerecht unter den Generationen aufgeteilt werden, im Wissen, dass künftige Generationen zusätzlich mit den Folgen der Klimaveränderung zu kämpfen haben werden. Im Weiteren sind unterschiedliche Bevölkerungsgruppen, Geschäftszweige oder Regionen verhältnismässig und angemessen zu belasten. Wenn dies nicht möglich ist, sind Ausgleichsmassnahmen erforderlich. Letztlich wird die Verteilung der Bemühungen und damit die Belastung verschiedener Gruppen wahrscheinlich weniger vom Ziel selbst abhängen als vielmehr von der Wahl der Massnahmen, mit denen das Ziel erreicht werden soll.

b) Flexibilität

Ein flexibles Ziel ermöglicht eine grössere Auswahl an Mitteln, um dieses zu erreichen. Ein Emissionsziel bis 2050 ist somit flexibler als ein Plan zur Reduktion der Emissionen, der die Emissionsmengen für die Jahre dazwischen oder eine jährliche Gesamtreduktion festlegt. Das Langzeitziel lässt Spielraum für die Verteilung der Massnahmen über die Zeit. Ebenso ist ein Gesamtziel für die Summe aller Treibhausgase flexibler als Ziele für jedes Treibhausgas oder für die Treibhausgase aus unterschiedlichen Quellen (wie z.B.

die Unterscheidung von Treibstoffen und Brennstoffen im CO₂-Gesetz).

Die Wahl eines flexibleren Ziels ermöglicht die Berücksichtigung von Entscheidungen in anderen Bereichen. Neben dem Ziel des wirtschaftlichen Wohlstands gibt es sektorielle Ziele wie den Erhalt der Landwirtschaft, den Ausstieg aus der Atomkraft etc.

Flexibilität ist auch notwendig angesichts der zahlreichen Unsicherheiten, die mit den Folgen des Klimawandels sowie mit der wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung zusammenhängen. Sollten die Konsequenzen schwerwiegender ausfallen als erwartet, muss eine Verschärfung des Ziels möglich sein. Dasselbe gilt für den Fall, dass als Folge technischer Innovationen die Kosten für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen sinken. Umgekehrt sollte das Ziel eine Ausdehnung des Zeithorizonts ermöglichen für den Fall, dass das Land von einer grösseren Wirtschaftskrise erschüttert würde. Dabei muss allerdings auch berücksichtigt werden, dass Flexibilität auch Risiken birgt. Insbesondere droht die Gefahr, dass wirksame Massnahmen aufgrund der flexiblen Ziele einfach hinausgeschoben werden.

c) Wirksamkeit

Ein ambitioniertes Reduktionsziel führt zu einer beträchtlichen Reduktion der Treibhausgasemissionen. Es wird ausserdem andere Länder zu grösseren Anstrengungen ermutigen. Ein bescheidenes Reduktionsziel hingegen verstimmt all diejenigen, die bereits Anstrengungen unternommen haben. Bisher Inaktive werden sich kaum zu Anstrengungen motivieren lassen.

Die Forderung nach Wirksamkeit des Ziels kann der Forderung nach Flexibilität zuwiderlaufen. Ein Reduktionsziel bis 2050 kann auf sehr unterschiedliche Weise erreicht werden. Allerdings sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass das Ziel erreicht wird, wenn die kommende Generation stärker belastet wird als die heutige. Im Vergleich dazu ist die Realisierung des Ziels wahrscheinlicher, wenn ein Plan den Behörden für jedes Jahr verbindliche Reduktionsziele vorgibt. Auch sektorielle Ziele verringern die Flexibilität, teilen aber die Verantwortung klar den einzelnen Gruppen von Akteuren zu.

4.4.2 Konflikte zwischen den Kriterien

Die Wahl zwischen Flexibilität und Wirksamkeit widerspiegelt die Wahl zwischen materiellem Komfort auf kurze Sicht und

klimatischer Sicherheit auf lange Sicht. Dies illustriert ein Vergleich von absoluten und relativen Zielen. Ein absolutes Ziel definiert ein ganz bestimmtes Emissionsniveau bzw. eine Emissionsreduktion, während ein relatives Ziel aufgrund mehrerer Einflussgrössen veränderlich ist. Die Kohlenstoffintensität, d.h. das Verhältnis der CO₂-Emissionen zum BIP, ist ein typisches Beispiel für ein relatives Ziel. Relative Ziele können sich aber auch auf die Bevölkerung beziehen.

Relative Ziele sind weniger einschneidend als absolute Ziele, wenn der Referenzwert (das BIP oder die Bevölkerung) wächst. So hat sich China im Rahmen der UN-Klimakonferenz in Kopenhagen verpflichtet, seine Kohlenstoffintensität bis 2020 um 40 Prozent zu senken. Das hindert das Land jedoch nicht daran, seine CO₂-Emissionen zu steigern, wenn es sein durchschnittliches jährliches Wirtschaftswachstum von 6 Prozent (aktuell sogar rund 8 Prozent) bis dahin aufrecht erhält (Péclet, 2009). Absolute Ziele wiederum sind weniger einschneidend als relative Ziele, wenn der Referenzwert abnimmt. So konnte Russland dank seiner Deindustrialisierung nach der Auflösung der Sowjetunion das Kyoto-Ziel bequem einhalten und die überschüssigen Emissionsrechte an Länder verkaufen, die ihre Verpflichtungen nicht einhalten konnten. Diese überschüssigen Emissionsrechte wurden auch als «Hot Air» bezeichnet.

Ebenfalls im Widerspruch stehen die Kriterien Flexibilität und Effektivität in Bezug auf die Möglichkeit, ein Reduktionsziel teilweise im Ausland umzusetzen. Unabhängig davon, ob die Schweiz ihre eigenen Emissionen reduziert oder dafür sorgt, dass anderswo auf der Welt dieselbe Emissionsmenge vermieden wird, sinkt die atmosphärische Treibhausgaskonzentration im gleichen Ausmass. Deshalb sieht das Kyoto-Protokoll vor, dass ein Land sein Reduktionsziel durch Massnahmen im eigenen Land oder durch entsprechende Reduktionsmassnahmen in einem anderen Land erreichen kann. Diese Flexibilität erweitert die Bandbreite der möglichen Reduktionsmassnahmen beträchtlich und reduziert die Kosten. Leider ist es sehr schwierig festzustellen, ob die Reduktion von Emissionen im Ausland wirklich nur dank der Intervention des zur Reduktion verpflichteten Landes zustande kamen (Bedingung der Additionalität, d.h. der Zusätzlichkeit). Die Wirksamkeit solcher Massnahmen ist daher umstritten.

Bei der Festlegung nationaler Ziele ist überdies die Kohärenz der Vorgehensweise zu beachten. Wird das nationale Ziel der Schweiz in Übereinstimmung mit anderen Ländern unter Berücksichtigung der Kapazitäten festgelegt, dann wäre es nicht kohärent, wenn die Schweiz ihre zu hohen Emissionen durch Reduktionen anderer Vertragspartner kompensiert. Eine Finanzierung von Reduktionsmassnahmen im Ausland ist auch dann absurd, wenn das nationale Ziel mit Blick auf die Vorteile für das entsprechende Land festgelegt wird (Reduktion der Verschmutzung etc.). Wenn das nationale Ziel hingegen ohne internationale Zustimmung festgelegt wird und die anderen Länder keine Massnahmen zur Reduktion ihrer Emissionen ergreifen, macht es absolut Sinn, Emissionsreduktionen in diesen Ländern zu finanzieren. Dabei besteht allerdings die Gefahr, dass alle billigen Reduktionsmöglichkeiten (low hanging fruits) ausgeschöpft werden. Diese Länder geraten dann in eine schwierige Lage, wenn sie später selbst ihre Emissionen verringern wollen.

4.5 Fazit

Nachdem das klimatische Ziel klar ist – die Treibhausgasemissionen müssen weltweit drastisch zurückgehen – ist auch das Ziel für die Schweiz klar: Sie kann nicht abseitsstehen. Über den fairen Anteil dieses kleinen Landes, das im Mittelfeld liegt bei den Pro-Kopf-Emissionen, aber im Spitzenfeld beim Einkommen und den technologischen Fähigkeiten, kann gestritten werden. Verschiedene Studien haben verschiedene Kriterien angewandt, um diesen Anteil zu berechnen. Die Ergebnisse sind relativ robust für die nahe Zukunft: Die Schweiz muss ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 im Vergleich zu 1990 um 20 Prozent senken. Dies entspricht auch dem vorgesehenen Ziel im revidierten CO₂-Gesetz.

Schwieriger wird es danach. Es ist zu befürchten, dass die weltweiten Emissionen noch mehrere Jahrzehnte ansteigen werden. In einem solchen Umfeld schadet jede zusätzliche Tonne viel mehr als heute, also sollte jedes verantwortungsvolle Land seine Emissionen etwa bis Mitte des Jahrhunderts vollkommen einstellen. Es gibt zudem noch viele andere gute Gründe für die Schweiz, Kohlenstoff wenigstens als Energiequelle nicht mehr zu nutzen. Was vor über hundert Jahren für die Eisenbahnen galt, als sie weltweit als erste vollständig elektrifiziert wurden («Weg von der Kohle!»), gilt auch heute noch.

Natürlich kann die Politik nicht nur von Klimazielen geleitet werden, nicht einmal die Energiepolitik. So ergeben sich bei der Klimapolitik, wie so oft, Zielkonflikte. Diese sind dafür verantwortlich, dass bisher noch so wenig gegen den Klimawandel unternommen wurde. Zielkonflikte sollen aber nicht zur Untat verleiten. Die Antwort der Wissenschaft lautet: Es braucht für jedes Ziel ein Instrument, oder anders ausgedrückt: Für jedes Kriterium der Klimapolitik sollte eine andere Komponente dieser Politik angewendet werden. Für das Ziel der Wirksamkeit sollte ein fester globaler Reduktionspfad sorgen. Für Flexibilität sorgt die Wahl der Instrumente (Leitungsinstrumente anstelle von Gebot und Verbot, siehe Abschnitt 5.2). Und für Gerechtigkeit wird über Ausgleichszahlungen und Massnahmen in anderen Politikbereichen gesorgt (Entwicklungshilfe, soziale Abfederung, Anpassungsmassnahmen für zukünftige Generationen).

Ergänzung: Energie- und Klimapolitik

Alexander Wokaun

General Energy (ENE), PSI; CH-5232 Villigen PSI; alexander.wokaun@psi.ch

Die «Energiestrategie 2050» des Bundesrates definiert Ziele für eine tiefgreifende Umgestaltung unseres Energiesystems. Die Energieeffizienz und die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien sollen markant gesteigert werden. Die bestehenden Kernkraftwerke werden am Ende ihrer sicherheitsbedingten Laufzeit nicht ersetzt, was zumindest in einer Übergangsphase den Einsatz von Gas-Kombikraftwerken und von erdgasbefeuerten Blockheizkraftwerken notwendig macht.

Gleichzeitig wird an den Klimaschutzzielen und insbesondere an der Notwendigkeit der Reduktion inländischer CO₂-Emissionen festgehalten, wie sie im vorliegenden Bericht diskutiert werden.

In diesem Kontext ist es wichtig, auf die Zusammenhänge zwischen den Sektoren unseres Energiesystems hinzuweisen. Es ist grundsätzlich möglich, eine Netto-Einsparung von CO₂ zu erzielen, wenn zwar durch fossile Stromerzeugung zusätzliches CO₂ emittiert, aber gleichzeitig durch die dadurch ermöglichte Effizienzsteigerung in anderen Sektoren mehr CO₂ eingespart wird. Ein Beispiel ist der Ersatz von Öl- und Gasheizungen durch Wärmepumpenheizungen. Auch die dezentrale Wärme-Kraft-Kopplung kann klimaneutral zur Stromproduktion beitragen, wenn damit bisher fossil bereitgestellte Wärme substituiert wird. Ein weiteres Beispiel sind Elektromobilität und Brennstoffzellenantriebe: Der Mehrverbrauch an Elektrizität resultiert aufgrund der hohen Effizienz der Antriebe in einer deutlich grösseren Einsparung an fossilen Treibstoffen, verbunden mit einer entsprechenden Reduktion der CO₂-Emissionen.

Schliesslich wird als Option zur inländischen Kompensation auch die Abtrennung und geologische Einlagerung des produzierten Kohlendioxids (Carbon Capture and Sequestration) diskutiert.

Die genannten Synergien sind möglich, ergeben sich aber nicht von selbst. Sie müssen durch einen ganzheitlichen Entwurf des Energiesystems bewusst geschaffen werden. Die notwendige deutlich weitergehende Reduktion der CO₂-Emissionen nach 2050 erfordert zudem, dass Installationen mit sehr langen Investitionszyklen (z. B. Tunnelbauten) entsprechend ausgelegt sind. Der gleichzeitigen Berücksichtigung der Emissionsreduktionsziele kommt deshalb bei der Ausgestaltung der Energiestrategie 2050 eine zentrale Bedeutung zu.

Ergänzung: Wirkt die Schweizer Klimapolitik an der Reduktion globaler Treibhausgasemissionen mit?

Die Problematik der Additionalität von Kompensationsmassnahmen

Johann Dupuis

Institut de Hautes Etudes en Administration Publique IDHEAP, Quartier UNIL Mouline, 1015 Lausanne, johann.dupuis@idheap.unil.ch

Additionalität ist ein häufig verwendeter Begriff für die Evaluation und Bewertung durchgeführter Massnahmen als Ergebnisse politischer Entscheide (Mceldowney, 1997). Eine Politik gilt als additional, wenn ihr Einfluss auf die betrachteten Auswirkungen zusätzlich (additional) und messbar ist. Dafür wird in der Regel ein Referenzszenario erarbeitet, das die Situation ohne die entsprechenden Massnahmen simuliert. Dies ermöglicht es, die Effekte alternativer und zusätzlicher Massnahmen abzuschätzen und zu bewerten.

Im Bereich der Klimapolitik spielt die Additionalität eine besonders wichtige Rolle. Um Vermeidungskosten zu reduzieren und die Dekarbonisierung der Weltwirtschaft zu fördern, hat das Kyoto-Protokoll die so genannten «flexiblen Mechanismen» eingeführt. Diese erlauben es den industrialisierten Ländern, einen finanziellen und technischen Beitrag zu Treibhausgas-Reduktionsprojekten in Entwicklungsländern (CDM) und in den Staaten der Ex-UdSSR (JI) zu leisten. Die damit erzielte Reduktion wird quantifiziert; nach der Zertifizierung durch die UNFCCC erhält das Geberland entsprechende CER-Zertifikate (Certified Emission Reductions), die in seiner Treibhausgasbilanz angerechnet werden können. Die Kompensation von Treibhausgasemissionen kann jedoch nur etwas zum Klimaschutz beitragen, wenn die Reduktionsprojekte «additional» sind. Es muss daher nachgewiesen werden, dass das Projekt ohne den technischen oder finanziellen Beitrag der flexiblen Mechanismen nicht implementiert werden könnte. Im Vergleich mit einer Situation, in der keine flexiblen Mechanismen angewendet würden, gilt daher: Falls für Reduktionsprojekte Emissionsrechte erteilt werden, die sowieso implementiert werden, ist die Kompensation nicht klimaneutral. Vielmehr wird sie im Gegenteil die Gesamtmenge an Treibhausgasen in der Atmosphäre ansteigen lassen, weil zusätzlich zur Nichtreduktion im Implementierungsland die Emissionsgutschriften im Geberland anfallen.

Nun lässt sich aber die Additionalität eingetragener CDM-Projekte schwierig nachweisen. Rund 70 Prozent aller CDM-Projekte finden gegenwärtig in China und Indien statt, und die Mehrheit dieser Projekte betrifft Investitionen in erneuerbare Energien. Beide Staaten verfolgen jedoch eine explizite Expansionspolitik in diesem Bereich. Die Zusage, dass die durch CER finanzierten Wasserkraftprojekte in diesen beiden Ländern ohne klimapolitische Massnahmen nicht möglich wären, ist daher eher unglaubwürdig. Einige Autoren vertreten deshalb die Meinung, dass die Mehrheit der Wasserkraftprojekte in China nicht additional sind (Schneider, 2009). Dies zeigt sich oftmals auch daran, dass der Antrag für Zertifikate erst nach dem Bau der Anlage gestellt wird (A. Zhao et al, 2011). Letztlich gibt es somit eine Asymmetrie zwischen der Gewissheit, dass die Menge Treibhausgase, für die das Zertifikat einen Anspruch gibt, genutzt wird, und der Ungewissheit, ob diese Menge durch eine zusätzliche Reduktionsanstrengung tatsächlich vermieden wird.

Die Schweiz ist von dieser Problematik besonders betroffen und zwar aus zwei Gründen: Erstens hat sie sich als Mitglied der Koalition JUSCANNZ (Japan, USA, Kanada, Norwegen, Neuseeland) seit Beginn der internationalen Verhandlungen für die Nutzung der flexiblen Mechanismen stark gemacht. Zweitens zeigt sich, dass von den 21 Mio Tonnen CO₂, welche die Schweiz im Rahmen des Kyoto-Protokolls für die Zielerreichung insgesamt über die Verpflichtungsperiode von 2008 bis 2012 zu reduzieren hat (Reduktion der Treibhausgasemissionen um 8 Prozent), 12 Mio Tonnen CO₂ im Ausland kompensiert werden müssen (Federal Office for the Environment (FOEN), 2009a). Das bedeutet, dass die Schweiz in der Periode 2008 bis 2012 ungefähr 57 Prozent ihrer internationalen Reduktionsverpflichtung mit Reduktionsanstrengung im Ausland realisieren muss. Anfang 2012 wurde zudem ein Zusatzvertrag Bund – Stiftung Klimarappen zwecks Kyoto-Zielerreichung unterzeichnet, mit dem der Auslandsanteil per Ende 2012 noch einmal steigen dürfte. Im Vergleich dazu stehen Deutschland mit etwa 22 Prozent, Frankreich mit 13.5 Prozent und Italien mit 15 Prozent Auslandsreduktionsanteil (Galharret, 2009). Die flexiblen Mechanismen spielen bei der deutschen oder französischen Klimapolitik somit bewusst eine eher untergeordnete Rolle (Ministère de l'écologie et du développement durable, 2006; Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU), 2012). In Italien darf die Auslandsreduktion bis zu 20 Prozent des Reduktionsziels erreichen (Ministry for the Environment Land and Sea, 2007). Diese Situation ist insofern unbefriedigend, als gemäss Kyoto-Protokoll die Anwendung von flexiblen Mechanismen nur komplementär zur

Inlandsreduktion sein soll (Art. 6.1 & 17). Somit ergibt sich aus der Problematik der Additionalität auch die heikle Frage, ob die Klimapolitik der Schweiz in den vergangenen fünf Jahren überhaupt den geplanten und gewünschten Beitrag zur Reduktion der Treibhausgasemissionen geleistet hat. Wird in diesbezügliche Überlegungen aber die wirtschaftlich-gesellschaftliche Entwicklung der Schweiz seit 1990 mit einbezogen wird deutlich, dass ohne inländische, klimapolitische Massnahmen die Emissionen in der Schweiz in den letzten 22 Jahren stark gestiegen wären (BAFU 2009b). Eine Volksinitiative und intensive Verhandlungen im Parlament haben nun aber dazu geführt, dass sich die Klimapolitik der Schweiz in der Periode 2013–2020 verstärkt auf inländische Massnahmen konzentrieren will.

Literatur

- A. Zhao et al. (2011), Not Sustainable, Not Additional: The Rise of Municipal Solid Waste Incineration in China. Gaia, Global Alliance for Incinerator Alternatives, www.no-burn.org.
- Federal Ministry for the Environment Nature Conservation and Nuclear Safety (BMU) (Ed.) (2012), Fifth National Report of the Government of the Federal Republic of Germany, Berlin.
- Federal Office for the Environment (FOEN) (Ed.) (2009a), Switzerland's Fifth National Communication under the UNFCCC, Bern.
- Bundesamt für Umwelt (BAFU) (Ed.) (2009b), Treibhausgasentwicklung ab 1990 ohne Massnahmen, Econcept – Zürich, 80 pp.
- Galharret, S. (2009), Climate and Energy Package: Would too many offsets hollow out the EU Package? IDDRI SciencesPo.
- Mceldowney, J. J. (1997), Policy Evaluation and the Concepts of Deadweight and Additionality, *Evaluation*, 3(2), 175–188.
- Ministère de l'écologie et du développement durable (Ed.) (2006), Quatrième communication nationale à la Convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques, Paris.
- Ministry for the Environment Land and Sea (Ed.) (2007), Fourth National Communication under the UN Framework Convention on Climate Change, Italy.
- Schneider, L. (2009), Assessing the additionality of CDM projects: practical experiences and lessons learned, *Climate Policy*, 9(3), 242–254.

Literatur

- Aldy, J. E., Krupnick, A. J., Newell, R. G., Parry, I. W. H. and Pizer, W. A. (2010), Designing Climate Mitigation Policy, *Journal of Economic Literature*, 48(4), pp. 903–34.
- Athanasiou, T., Kartha, S., Baer, P. and Kemp-Benedict, E. (2009), Switzerland's Fair Share in a Climate Constrained World.
- Commission Européenne (2010), Europe 2020 – Une stratégie pour une croissance intelligente, durable et inclusive, Bruxelles.
- DETEC (2010), Concept SuisseEnergie 2011–2020.
- Energy Science Center der ETHZ (2008), Energiestrategie für die ETH Zürich, Zürich.
- Felder, S. and Schleiniger, R. (2002), National CO₂ Policy and Local Externalities: Some General Equilibrium Results for Switzerland, *Energy Economics*, 24(5), pp. 509–522.
- Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2007), Contribution du Groupe de travail III au quatrième Rapport d'évaluation «Bilan 2007 des changements climatiques: L'atténuation des changements climatiques». Résumé à l'intention des décideurs.
- Landis, F. and Bernauer, T. (2011), Regional carbon pricing could motivate emerging economies to join the global mitigation effort *Climate Economics and Law Conference*, Berne.
- Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL) (2009), Sharing developed countries' post-2012 greenhouse gas emission reductions based on comparable efforts, Bilthoven, The Netherlands.
- OFEV, O. f. d. l. e. (2007), Graue Treibhausgas-Emissionen der Schweiz, 1990–2004, Berne.
- Péclet, J.-C. (2009) Chine et Etats-Unis: objectifs minimalistes, *Le Temps*, 27 novembre.
- Philibert, C. (2005), Approaches for future international co-operation, OECD/International Energy Agency, Information papers for the Annex I Expert Group on the UNFCCC COM/ENV/EPOC/IEA/SLT(2005)6, Paris, France.
- SuisseEnergie (2010), 9^e Rapport Annuel SuisseEnergie 2009/2010, Ittigen.
- UNEP (2010), The Emissions Gap Report.
- Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen (WGBU) (2009), Der WGBU-Budgetansatz, Factsheet 3/2009.
- Yohe, G. W., Lasco, R. D., Ahmad, Q. K., Arnell, N. W., Cohen, S. J., Hope, C., Janetos, A. C. and Perez, R. T. (2007), Perspectives on climate change and sustainability, in *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by M. L. PARRY, et al., pp. 811–841, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

5 Kosten und Nutzen eines ehrgeizigen Klimaziels

Lucas Bretschger und Roger Ramer

D-MTEC, Center of Economic Research at ETH Zurich CER-ETH, ETH Zürich, CH-8092 Zürich; lbretschger@ethz.ch

- Ein ehrgeiziges Klimaziel kann sich aus ökonomischer Sicht sowohl positiv als auch negativ auswirken. Welcher Effekt überwiegt, kann nur schwer abgeschätzt werden.
- Allfälligen negativen Effekten als Folge erhöhter Energiepreise stehen positive Wirkungen durch erhöhte Innovationen bei energieeffizienten Technologien sowie vermiedene Anpassungskosten gegenüber.
- Die Ergebnisse der untersuchten Studien zeigen, dass ein ambitionierter, mit dem 2°C-Ziel kompatibler Absenkpfad für die Schweiz machbar und ökonomisch gesehen verkraftbar ist. Abhängig vom Zeithorizont bewegen sich die Wohlfahrtseinbussen zwischen 0.36 und 2.5 Prozent gegenüber dem Referenzszenario ohne Emissionsreduktionsmassnahmen.

5.1 Voraussetzungen

Wie in Kapitel 4 angedeutet, hat sich die Schweiz im Rahmen des Kyoto-Protokolls zu einer Reduktion ihrer Emissionen verpflichtet. Im Jahr 2012 endet mit dem Ablauf des Protokolls die umfassendste Vereinbarung im Bereich der globalen Klimapolitik. Die Diskussionen über eine Nachfolgeregelung sind seit einigen Jahren im Gange. Verbindliche Reduktionsziele und -massnahmen wurden bis anhin keine beschlossen. Festgelegt wurde lediglich eine Obergrenze der Erderwärmung auf maximal 2°C als langfristige Zielgrösse. So sollen die Auswirkungen des Klimawandels in einem tolerierbaren Rahmen gehalten werden. Damit dieses Ziel mit einer genügend grossen Wahrscheinlichkeit erreicht werden kann, müssen insbesondere in den Industrieländern (und damit auch in der Schweiz) die Treibhausgasemissionen stark reduziert werden. Wie in Kapitel 3 dargestellt, sind dafür in der kurzen Frist bis 2020 Reduktionen von 25 bis 45 Prozent und mittelfristig (bis 2050) von 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 erforderlich. Damit stellt sich die Frage, wie sich die Realisierung solcher Reduktionsziele und die damit verbundenen politischen Massnahmen auswirken, und zwar sowohl global als auch regional (bzw. national). Auf die möglichen Effekte auf nationaler Ebene soll in diesem Kapitel genauer eingegangen werden.

Klimapolitische Eingriffe können aus ökonomischer Sicht Auswirkungen auf verschiedenen Ebenen haben. Ob der Gesamteffekt positiv oder negativ ist, lässt sich nur schwer abschätzen. So wird oft postuliert, dass sich (zu) hohe Reduktionsziele insbesondere für

gewisse Sektoren nachteilig auswirken. Sehr ambitionierte Ziele führen gemäss dieser Argumentation zu einer Schwächung der Wettbewerbsfähigkeit, insbesondere wenn die Klimaziele international nicht oder nur ungenügend koordiniert werden. Dies wird damit erklärt, dass Klimaziele in der Regel mit einer Preiserhöhung des regulierten Faktors (fossile Energie) verbunden sind. Für energieintensive Branchen mit geringem Potenzial für Investitionen kann eine solche Preiserhöhung problematisch sein. Eine mögliche Folge wäre gemäss dieser Argumentation die vermehrte Verlagerung der Produktion in weniger regulierte Weltregionen und damit der Verlust von einheimischen Arbeitsplätzen. Verschiedene Staaten und Regionen vertreten diese Haltung und erwarten als Folge verbindlicher Reduktionsziele Nachteile gegenüber Ländern, die weniger stark reguliert werden. Die Befürchtung ist demnach eine Schwächung der Position im internationalen Umfeld.

Andererseits beruft sich die Theorie der induzierten Innovationen darauf, dass die Verteuerung eines Produktionsfaktors dazu führen kann, dass vermehrt Innovationen getätigt werden, die auf eine effizientere Nutzung dieses Faktors abzielen. Mit Bezug auf die Klimapolitik und eine Preiserhöhung im Energiebereich hiesse das, dass als Folge eines klimapolitischen Eingriffs mehr in Energieeffizienz oder neue, leistungsfähigere Technologien investiert würde. Langfristig können diese Investitionen und der damit verbundene frühzeitige Einsatz neuer Technologien komparative Vorteile bringen. Dies gilt insbe-

sondere, wenn man davon ausgeht, dass der Einsatz dieser Technologien Lerneffekte zur Folge hat. Durch die Lerneffekte (learning-by-doing) und das damit verbundene Know-how sinken die Kosten der Nutzung über die Zeit. Dieser Kostenvorteil gegenüber Ländern oder Regionen, die erst später auf neue Technologien umstellen, kann sich in verschiedener Hinsicht positiv auswirken.

Um die Relevanz dieser beiden gegenläufigen Effekte besser einordnen zu können, werden im Folgenden die wichtigsten Kosten- und Nutzenfaktoren klimapolitischer Eingriffe auf nationaler Ebene systematisch diskutiert.

5.2 Kosten von Emissionsreduktionsmassnahmen

Wenn die Nutzung eines bestimmten Inputs (beispielsweise fossiler Energie) reduziert werden soll, können Vorschriften oder «marktwirtschaftliche» Massnahmen die Mengen begrenzen oder die Preise verändern. Ein Beispiel für Massnahmen auf der Preisebene sind Steuern oder Lenkungsabgaben, die auf den zu regulierenden Input erhoben werden. Ziel solcher Preiserhöhungen ist es in der Regel, eine Verhaltensänderung auszulösen. Die Steuer erhöht den Preis des Inputs und erhöht damit die Produktionskosten von

Firmen, die diesen Input verwenden. Damit soll ein Anreiz geschaffen werden, diesen Input weniger zu verwenden. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, wie eine betroffene Firma auf eine solche Regulierung reagieren kann. Eine Variante ist, die Steuer über einen Preisaufschlag an die Konsumenten weiterzugeben. Als Folge davon stellt sich im Markt ein neues Gleichgewicht mit höherem Preis und einer kleineren nachgefragten Menge ein (siehe Abbildung 1). Die Steuer erzeugt einen Ertrag (graue Fläche), der wieder rückverteilt wird und somit volkswirtschaftlich gesehen keine Kosten darstellt. Es handelt sich lediglich um eine Umverteilung zwischen verschiedenen wirtschaftlichen Gruppen. Die (statischen) volkswirtschaftlichen Kosten der Steuer sind im Diagramm durch die rote und die grüne Flächen dargestellt.

Als zweite Möglichkeit kann eine betroffene Firma auf eine Steuer oder eine Lenkungsabgabe reagieren, indem sie den regulierten Input durch einen anderen Input ersetzt. Im Falle einer Erhöhung des Preises von fossiler Energie hiesse das, fossile Energie in der Produktion in verstärktem Ausmass durch Arbeit, Kapital oder nicht-fossile Energie zu ersetzen. Je nach Substitutionspotenzial kann die produzierte Menge konstant gehalten oder die Reduktion wenigstens vermindert werden. Schliesslich kann eine betroffene Firma versuchen, durch Investitionen in neue Technologien den regu-

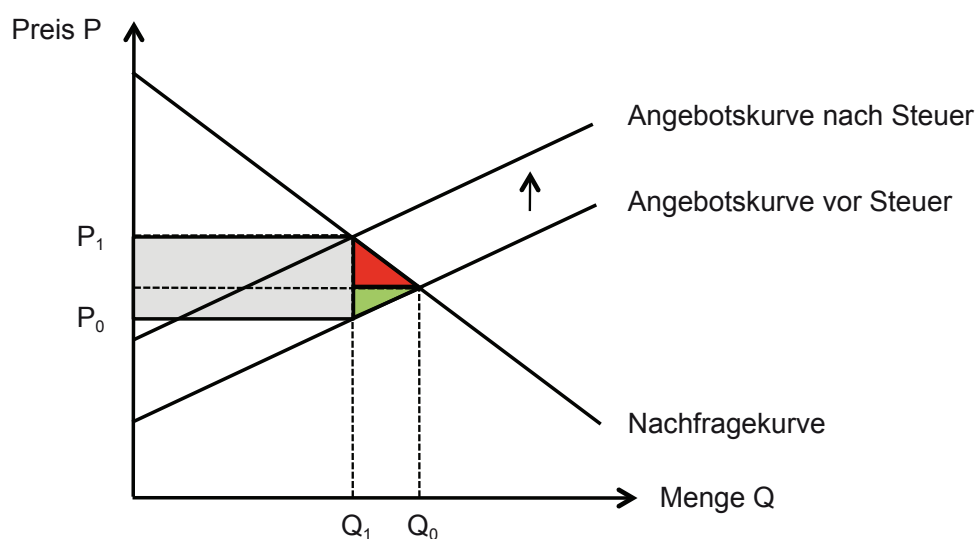


Abbildung 1: Statische Kosten von Emissionssteuern. Die rote und die grüne Fläche zeigen die Verluste bei der Konsumenten- respektive bei der Produzentenrente. Als Konsumentenrente wird die Differenz zwischen Wertschätzung eines Gutes durch den Konsumenten und dem Marktpreis bezeichnet. Die Produzentenrente ist die Differenz zwischen Marktpreis und dem Preis, zu dem der Produzent sein Gut noch anbieten würde.

lierten Input effizienter zu nutzen. Dadurch lässt sich im Idealfall mit einem geringeren Energieeinsatz dieselbe Menge produzieren. Dazu kommt, wie oben beschrieben, langfristig allenfalls ein komparativer Vorteil. Das Ausmass der direkten Kosten der Regulierung hängt also zum einen davon ab, wie gut sich fossile Energie im Produktionsprozess durch andere Faktoren ersetzen lässt. Zum anderen spielt die Möglichkeit des Einsatzes neuer Technologien und das entsprechende Investitionspotenzial eine Rolle. Diesbezüglich können sich Firmen, Branchen und Regionen deutlich unterscheiden.

Am stärksten trifft eine Regulierung zum einen die Anbieter des entsprechenden Inputs und zum anderen Branchen, die stark von diesem Input abhängig sind und deren Produkte daher teurer werden. Als Folge davon sinkt die Nachfrage nach Gütern dieser Anbieter. Das bedeutet, dass sich als Folge eines längerfristigen klimapolitischen Eingriffs in Form einer Verteuerung fossiler Energien ein Strukturwandel in der regulierten Marktwirtschaft einstellen wird. Sektoren, die stark von Energie als Input abhängig sind und demzufolge nur ein geringes Substitutionspotenzial haben, können anteilmässig an Bedeutung verlieren. Andererseits besteht für besonders innovative Branchen die Möglichkeit, sich langfristig besser zu positionieren und die Produktion allenfalls sogar zu erhöhen. Der Nettoeffekt auf die gesamte Ökonomie kann damit von der Theorie her nicht eindeutig prognostiziert werden; es braucht dazu numerische Simulationsmodelle. Im optimalen Fall können aber die herbeigeführten Innovationen die negativen Wirkungen der Regulierung überkompensieren.

Wie schon in Abschnitt 5.1 angedeutet, sind die Kosten eines ehrgeizigen Ziels vom Ausland abhängig. Wenn sich die Schweiz ambitioniertere Reduktionsziele setzt als das Ausland, sind dafür entsprechend härtere Massnahmen (beispielsweise höhere Steuern) notwendig. Höhere Steuern und der damit verbundene Anstieg der Produktionskosten können einen kompetitiven Nachteil bedeuten. Gleichzeitig erhöhen härtere Massnahmen die Anreize für Investitionen in effizientere Technologien, was sich langfristig wiederum positiv auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirken kann. Welcher dieser beiden Effekte für eine Volkswirtschaft insgesamt überwiegt, muss ähnlich wie auf sektoraler Ebene mit einer detaillierten Analyse berechnet werden.

Das gleiche gilt für den umgekehrten Fall. Setzt sich die Schweiz ein weniger ambitioniertes Ziel als das Ausland, so ist einerseits mit einem geringeren Anstieg der Energiepreise und damit mit einer kleineren Belastung als im Ausland zu rechnen. Andererseits sind die Innovationsanreize kleiner. Eine Koordination der Reduktionsziele verringert die beschriebenen Unsicherheiten.

5.3 Nutzen von Emissionsreduktionsmassnahmen

Neben den bereits diskutierten positiven Wirkungen auf die Innovationstätigkeit und die daraus resultierenden Fortschritte in der Energieeffizienz gibt es weitere Argumente, die für ambitionierte Reduktionsziele sprechen. Eine im Jahr 2010 veröffentlichte Studie der Weltbank kommt zum Schluss (World Bank, 2010), dass allein die Anpassungskosten (ohne Berücksichtigung der Schadenskosten) an eine im Jahr 2050 um 2 °C wärmere Welt (verglichen mit dem Jahr 2010) jährlich zwischen 75 und 100 Milliarden US-Dollar betragen werden. Wenn das 2 °C-Ziel nicht eingehalten werden kann, werden die Anpassungskosten entsprechend höher ausfallen. Im Stern Report (2007) wird bei einer stärkeren Erwärmung langfristig von einem exponentiellen Anstieg der Kosten ausgegangen. Mit frühzeitigen Massnahmen zur Emissionsreduktion lassen sich somit die zukünftigen Anpassungskosten signifikant reduzieren. Gleichzeitig werden zukünftige Schadenskosten als Folge der globalen Erwärmung reduziert oder Schäden gar verhindert.

Darüber hinaus bringen Emissionsreduktionen zusätzlichen Nutzen, der nicht direkt im Zusammenhang mit verhinderten oder reduzierten Anpassungs- und Schadenkosten steht (Sekundärnutzen). Zu erwähnen sind zum einen positive Effekte auf die Gesundheit als Folge einer geringeren Schadstoffkonzentration in der Luft. Dadurch können beispielsweise Kosten aufgrund von krankheitsbedingten Produktivitäts- und Einkommensausfällen sowie Behandlungskosten eingespart werden (siehe econcept/Bundesamt für Umwelt, 2008). Die Langzeitsterblichkeit und Krankheiten, welche die Atemwege betreffen, dürften ebenfalls deutlich zurückgehen (siehe OcCC, 2000).

Ein weiterer positiver Sekundäreffekt einer tieferen Schadstoffkonzentration besteht in der Reduktion von Gebäude- und Materialschäden.

Ergänzung: Umsetzung Klimapolitik

Peter Knoepfel

Pol. publique & Durabilité, Inst. de Hautes Etudes en Administration Publique, IDHEAP
Université de Lausanne, Quartier UNIL, CH-1015 Lausanne; peter.knoepfel@idheap.unil.ch

Jede öffentliche Politik arbeitet mit einem Wirkungsmodell. Dieses besagt, welche Gruppen unter dem öffentlichen Problem leiden, das durch die Politik vermieden werden soll (Politikbegünstigte), und welche Gruppen für den Bestand des Problems als verantwortlich angesehen werden (Zielgruppen gemäss einer gemeinhin geteilten Kausalhypothese). Das Wirkungsmodell besagt ausserdem, wie diese Zielgruppen zu den zur Problemlösung notwendigen Verhaltensänderungen bewogen werden können (Interventionshypothese).

Im Wirkungsmodell der Klimapolitik wird als kollektives und politisch anerkanntes öffentliches Problem das nachgewiesene Risiko globaler Erwärmung genannt. Diese wird sich in zahlreichen (regional variierenden) klimatischen Veränderungen äussern, die ihrerseits zu erheblichen Schäden bei bestimmbar (heutigen und – vor allem – künftigen) gesellschaftlichen Gruppen führen können. Im Interesse dieser Gruppen (= Politikbegünstigte) interveniert staatliches Handeln auf internationaler, nationaler, kantonaler und kommunaler Ebene bei jenen Gruppen, von denen heute angenommen wird, dass sie für die Schäden verantwortlich sind (Zielgruppen). Die Intervention hat zum Zweck, das Verhalten dieser Gruppen so zu verändern, dass die Risiken minimiert werden können.

Das Wirkungsmodell variiert je nach Interventionszielsetzung. Im Falle von Vermeidungsstrategien (CO₂-Reduktion) sind die Zielgruppen die Emittenten und die Politikbegünstigten diejenigen (heutigen und zukünftigen) Personen, deren Leidensdruck durch Emissionsreduktionen reduziert wird. Dies gilt auch für die Anpassungsstrategien, wobei hier zu den Zielgruppen die Politikbegünstigten hinzukommen, denen nicht nur Schutz gewährt wird, sondern von denen gemäss dieser Anpassungsstrategie auch aktive Anpassungsleistungen gefordert werden (anstatt eines «stillen» Abwartens).

Klimapolitik folgt den gleichen Gesetzmässigkeiten wie Umweltpolitik: Ohne tatkräftige Unterstützung seitens der Politikbegünstigten konnten und können sich staatliche Akteure kaum gegen den geballten Widerstand der Emittenten durchsetzen (Vermeidungsstrategien). Und ohne eine solche Unterstützung lassen sich auch Anpassungsstrategien nicht gegen den Widerstand der Emittenten und der zur Anpassung zu veranlassenden potenziellen Politikbegünstigten durchsetzen.

Daraus folgt, dass für beide Strategien neben den «fernab» lebenden Politikbegünstigten in der südlichen Hemisphäre als Politikbegünstigte auch heutige inländische Akteure identifiziert werden müssen, denen aufgezeigt werden muss, dass ihnen Schäden drohen (z. B. Tourismus, Landwirtschaft), weshalb sie sich gemäss den Grundsätzen einer Anpassungsstrategie vor Klimaschäden schützen sollten. Dieser Schutz ist indessen nicht gratis zu haben und kann nicht durch die Leidtragenden finanziert werden. Dazu sind u. a. auch die Klimaabgaben der (inländischen) Emittenten heranzuziehen.

Wie jede öffentliche Politik hat Klimapolitik daher ein ureigenes Interesse an einer aktiven Mobilisierung der Politikbegünstigten. Dazu muss sie nach politikanalytischen Erkenntnissen eine Inszenierung ihres öffentlichen Problems vor Ort veranstalten (z. B. Schadensmonitoring im Alpenraum und im Mittelland). Damit soll aufgezeigt werden, dass Schadensausgleichsmechanismen notwendig werden, so wie dies in vielen anderen Politiken seit alters her geschieht (Regionalpolitik, Landwirtschaftspolitik, etc.). Das geht im Falle einer Anpassungsstrategie erheblich besser als bei einer Vermeidungspolitik, steht doch fest, dass das berühmte 2 °C-Ziel technisch und ökonomisch gesehen zwar machbar, politisch indessen schwierig zu vermitteln ist.

Gift für jede öffentliche Politik ist es, wenn unrealistische Ziele versprochen werden und gleichzeitig offen zugegeben werden muss, dass diese nicht erreichbar sind. Das hat man bereits gesehen im Falle ambitionierter Immissionsgrenzwerte, die mit den beschlossenen Emissionsgrenzwerten nicht erreichbar sind (z. B. NO_x und Automobil). Die Schadensvermeidung durch Vorsorgemassnahmen, die für Politikbegünstigte sichtbar sind, und die Abgeltung eingetretener Klimaschäden an die betroffene Bevölkerung nach Eintritt von Schadensereignissen (z. B. Hochwasser, Dürre) aus Mitteln der Klimaabgaben der Emittenten ist eine realistische Zielsetzung. Diese verstehen sowohl die in die Pflicht genommenen Zielgruppen als auch die zu mobilisierenden Politikbegünstigten bestens. Letztere werden diese Zahlungen auch ohne moralische Skrupel einfordern, sofern ein Kausalbezug nachgewiesen werden kann, der mindestens so plausibel ist wie jener der oft recht problematischen «additionality» der heutigen Klimainvestitionen im In- und Ausland.

Erwärmungsobergrenzen oder prozentuale Emissionsabsenkungsziele erfüllen diese Plausibilitätsanforderungen kaum. Solche Zielformulierungen sind mit Unsicherheiten behaftet und vermögen kaum (heutige oder künftige) Politikbegünstigte zu mobilisieren. Selbstverständlich kann dabei das – globale – Absenkungsziel beibehalten werden, da jede CO₂-Abgabe die Zielgruppen der Emittenten in Dienst nehmen muss. In der heutigen Praxis ist denn auch nicht die Mittelbeschaffung, sondern die Mittelverwendung schwierig kommunizierbar. Die vorgeschlagene Vorsorge- und Abgeltungsverwendung der Mittel wäre eine leicht vermittelbare und theoretisch-konzeptionell robustere Alternative.

Literatur

Peter Knoepfel, Corinne Larrue, Frédéric Varone, Sylvia Veit (2011). Politikanalyse. Opladen & Farmington Hills.

Knoepfel, P., Nahrath, S., Varone, F., Savary, J., & Johann Dupuis (2010). La politique de protection du climat. In Analyse des politiques suisses de l'environnement. Zürich: Rüegger.

Dupuis, J., & Knoepfel, P. (2011). Les barrières à la mise en oeuvre des politiques d'adaptation au changement climatique: le cas de la Suisse. *Revue suisse de science politique*, 17(1).

Dupuis, J. (forthcoming, 2012). Les barrières à la mise en œuvre des politiques publiques d'adaptation au changement climatique: le cas de l'Inde, du Pérou et de la Suisse. Unpublished Ph. D. Thesis in Public administration, IDHEAP, Université de Lausanne, Lausanne.

Ergänzung: Reduktionsmassnahmen im In- oder Ausland?

Thomas Bürki

Energie Ökologie Politikberatung, Thomas Bürki GmbH, Gerlisbrunnenstr. 20, CH-8121 Benglen; thomas.buerki@thb.ch

Bei CO₂-Reduktionen, vor allem in der Wirtschaft, stellt sich häufig die Frage: Sind Reduktionen im Inland oder im Ausland billiger? Die folgenden Betrachtungen sollen zur Klärung beitragen. Es werden drei Fälle betrachtet.

1. Reduktion der CO₂-Emissionen durch Massnahmen im Inland

Massnahmen in Unternehmen werden üblicherweise mit der Pay-Back-Zeit bewertet, um über die Rentabilität und damit die Realisierung zu entscheiden. Die Pay-Back-Zeit muss dabei deutlich unter der zu erwartenden Lebensdauer liegen; typische Werte sind Pay-Back-Zeiten zwischen 2 und 5 Jahren, in Ausnahmefällen kann sie bei ca. 7 Jahren liegen; die typische Lebensdauer technischer Massnahmen beträgt ca. 10 bis 15 und mehr Jahre.

Wird die Massnahme mit dem Ziel einer CO₂-Reduktion realisiert, führt sie in der Regel zu einer Reduktion des fossilen Energieverbrauchs, z. B. durch Steigerung der Energieeffizienz im Wärmebereich. Die resultierenden Kosteneinsparungen sind die eingesparten Kosten für fossile Energieträger. Der Investition stehen also primär Energiekostenreduktionen gegenüber.

Die Rendite solcher Massnahmen liegt damit zwischen ca. 40 Prozent (2 Jahre Pay-Back-Zeit) und 10 Prozent (7 Jahre Pay-Back-Zeit). In anderen Worten: Die Massnahme ist rentabel, weil sie über die Lebensdauer einen entsprechenden Gewinn abwirft. Im Extremfall Pay-Back-Zeit = Lebensdauer resultiert ein Nullsummenspiel, d. h. die Energiekosten werden durch Kapitalkosten ersetzt (Rendite = 0, aber auch Verlust = 0).

Quintessenz: Die im Unternehmen realisierte Massnahme führt zu einer CO₂-Reduktion über die Einsparung von fossiler Energie. Zusammen mit der CO₂-Reduktion resultiert eine Kostenreduktion, d. h. die CO₂-Reduktionskosten sind negativ.

2. Reduktion der CO₂-Emissionen durch Reduktionen im Ausland, d. h. durch den Kauf von Reduktionszertifikaten

Reduktion der CO₂-Emissionen im Ausland heisst, dass ein Projekt in einem Entwicklungs- oder Schwellenland realisiert wird («CDM-Projekt»). Da das entsprechende Land keine CO₂-Emissionsbeschränkung hat, muss die Massnahme additional sein, d. h. durch den Verkauf der mit dem Projekt generierten CO₂-Reduktionszertifikate ausgelöst werden. In anderen Worten: Durch den

Zusatzerlös aus dem Zertifikateverkauf muss das Projekt vom unrentablen in den rentablen Bereich gelangen.

Über den (jährlich zu tätigen) Zertifikatekauf des Schweizer Unternehmens werden die CO₂-Reduktionen vom Entwicklungsland in die Schweiz transferiert.

Quintessenz: Im Unternehmen in der Schweiz ändert sich nichts, die CO₂-Emissionen bleiben unverändert (damit auch die Energiekosten). Die Reduktion erfolgt durch den Kauf von Zertifikaten. Es entstehen daher zusätzliche Kosten für die CO₂-Reduktion im Umfang der Zertifikatekosten.

Sekundäreffekte:

- a) CDM-Projekte können zu einem Transfer von Technologie und Know-How in das Entwicklungs-/Schwellenland führen und so einen Beitrag zur (industriellen) Entwicklung leisten.
- b) Es können Rebound-Effekte im Gastland auftreten, die die Reduktion der CO₂-Emissionen verringern.
- c) CDM-Projekte können (z. B. durch Imperfektionen im Zertifizierungsprozedere) nicht vollständig additional sein, können also zu einer geringeren CO₂-Reduktion führen als wenn die Reduktion in der Schweiz realisiert wird.

Die Sekundäreffekte werden hier nicht quantifiziert und daher nicht in die Rechnung einbezogen.

3. Spezialfall: Reduktion der CO₂-Emissionen im Inland durch Beiträge der Stiftung Klimarappen

Der «Klimarappen» wurde zwischen Oktober 2005 und August 2012 an den Tankstellen pro verkauften Liter Benzin/Diesel erhoben und in eine Stiftung abgeführt. Die Stiftung reduzierte mit diesen Mitteln CO₂-Emissionen durch den Kauf von Reduktionszertifikaten entweder im Ausland oder im Inland. Da die via Klimarappen erhobenen Mittel für die Reduktion der CO₂-Emissionen gebunden und im Vergleich zur geforderten CO₂-Reduktion hoch waren, konnten hohe Preise für die gekaufte CO₂-Reduktion bezahlt werden.

Im Inland wurden CO₂-Reduktionen u. a. von Unternehmen der Wirtschaft gekauft, typischerweise über Auktionen. Dadurch wurden Unternehmen animiert, zusätzliche Massnahmen zur CO₂-Reduktion zu realisieren, deren Kosten naturgemäss deutlich über der Wirtschaftlichkeit liegen. Die Zusatzkosten wurden durch den Zertifikatekauf gedeckt.

Quintessenz: Für das Unternehmen entstanden keine Mehrkosten, aber auch keine Kostenreduktion. Die CO₂-Reduktionskosten waren dennoch hoch, sie fielen aber auf der volkswirtschaftlichen Ebene an.

4. Schlussbetrachtung

Ein Vergleich der CO₂-Reduktionskosten für Unternehmen zeigt, dass die CO₂-Reduktionskosten durch Massnahmen im Betrieb negativ sind, beim Einkauf von Zertifikaten aus dem Ausland fallen Zusatzkosten im Umfang der Zertifikatekosten an. Die Reduktionskosten von zusätzlichen Massnahmen, die durch die Stiftung Klimarappen angestossen werden, bewegen sich naturgemäss im Bereich der Preise, die für die Zusatzreduktionen bezahlt werden.

5. Abschlussbemerkung

Steht ein Unternehmen vor der Herausforderung, die CO₂-Emissionen zu senken und das entscheidende Kriterium ist nicht die Rentabilität resp. die Jahreskosten, sondern die Liquidität, dann kann die Entscheidung anders ausfallen.

Daraus folgt ein geringerer Sanierungs- und Renovationsbedarf an Gebäuden und anderer Infrastruktur. Schliesslich sind auch in Bezug auf die Biodiversität positive Effekte zu erwarten.

Verschiedene Studien haben sich in den letzten Jahren mit den ökonomischen Auswirkungen unterschiedlicher Reduktionsziele auseinandergesetzt. Sie ergeben übereinstimmend (trotz teilweise grosser Unterschiede in Methode und Modellierung), dass die Auswirkungen bzw. die Kosten von Reduktionszielen relativ gering sind. Dies verdeutlicht, dass die positiven Effekte einer Regulierung in der Schweiz stark genug sind, um die negativen Effekte in allen Fällen annähernd zu kompensieren oder zumindest einzudämmen.

In der Folge wird noch etwas genauer auf einige Studien und deren Resultate eingegangen.

5.3.1 Lucas Bretschger, Roger Ramer und Florentine Schwark:

Growth Effects of Carbon Policies: Applying a Fully Dynamic CGE Model with Heterogeneous Capital. Resource and Energy Economics, 2011

Diese Studie analysiert die langfristigen ökonomischen Auswirkungen einer Klimapolitik der Schweiz gemäss dem 2 °C-Ziel. Grundlage für die Analyse ist ein multisektorales Simulationsmodell mit 12 Branchen. Das Modell fokussiert auf die Schweiz, das Ausland ist über den internationalen Handel der Schweiz berücksichtigt. Die Wachstumsraten der einzelnen Sektoren ergeben sich aus den Modellberechnungen als Folge von endogenen Investitionen und Innovationen, d.h. modellbasierter Kapitalakkumulation. Ziel

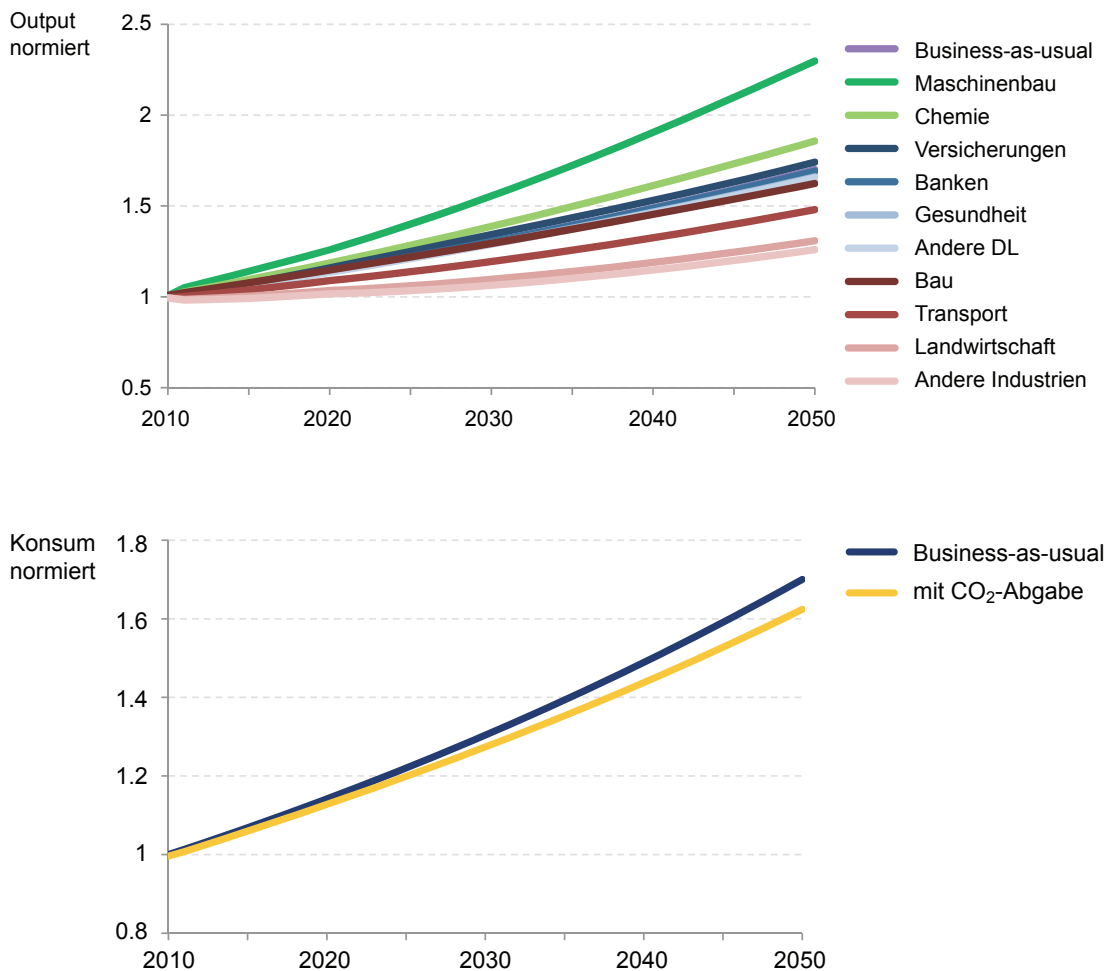


Abbildung 2: Wirtschaftsentwicklung mit Klimapolitik im CITE Modell. (Bretschger, Ramer & Schwark, 2011)

der simulierten Politik ist eine Reduktion der CO₂-Emissionen um 30 Prozent bis 2020 respektive um 80 Prozent bis 2050. Mit Hilfe dieser Emissionsreduktionen soll auf das 2°C-Ziel hingearbeitet werden. Als politisches Instrument dient eine Lenkungsabgabe auf dem Einsatz fossiler Energie. Diese steigt stetig, damit die beiden Ziele erreicht werden. Im Jahr 2020 beträgt die Abgabe 220 Franken pro Tonne CO₂, im Jahr 2050 1100 Franken pro Tonne CO₂. Die Wirkung dieser Politik wird mit einem Referenzszenario (Business as usual) verglichen, das keine politischen Massnahmen beinhaltet. Es wird angenommen, dass das Ausland keine klimapolitischen Massnahmen ergreift. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate der Ökonomie beträgt im Referenzszenario 1.33 Prozent.

Die Resultate zeigen einen moderaten Einfluss der Regulierung auf die wirtschaftliche Entwicklung (siehe Abbildung 2). Die jährliche wirtschaftliche Wachstumsrate reduziert sich geringfügig um 0.1 Prozent auf 1.23 Prozent, was ohne Berücksichtigung der Sekundärnutzen zu einem Wohlfahrtsverlust von rund 2.5 Prozent führt. Auf sektoraler Ebene findet ein Strukturwandel statt: Sektoren mit hoher Innovationsaktivität (wie beispielsweise Maschinenbau oder Chemie) sowie mit relativ tiefem Energieanteil in der Produktion gewinnen an Bedeutung. Besonders energieintensive Sektoren verlieren im relativen Vergleich an Stellenwert, wachsen aber dennoch weiterhin. Sofern der Ertrag aus der Steuer dafür verwendet wird, die Forschung und die Innovationstätigkeit der einzelnen Sektoren zu unterstützen, lassen sich noch bessere Ergebnisse erzielen. Dies verdeutlicht die zentrale Rolle von Innovationen und Investitionen als Wachstumstreiber in einem regulierten Umfeld. Sektoren, die als Reaktion auf die steigenden Energiepreise mehr Innovationen tätigen, können sich langfristig sogar besser entwickeln als ohne steuerlichen Eingriff.

Ein weiterer Grund für die vergleichsweise moderate Wirkung ist die Tatsache, dass sowohl bei den Haushalten als auch in der Produktion die Energieabhängigkeit relativ gering ist. Angesichts des geringen Unterschieds zwischen den beiden Wachstumspfaden wäre es denkbar, dass bei Berücksichtigung von Sekundäreffekten auf die Wohlfahrt die Differenz zum Referenzszenario weiter reduziert werden könnte. Je nachdem wie stark sich diese Sekundäreffekte auswirken, können

die Reduktionsmassnahmen sogar zu einer Verbesserung im Vergleich mit dem Referenzpfad führen.

5.3.2 Raphael Bucher:

Mitigation, Adaptation, Technological Change and International Trade: Economic Aspects of Unilateral Climate Policies. PhD Thesis, University of Berne, 2011

In dieser Arbeit wird ein kürzerer Zeithorizont (2008 bis 2020) betrachtet. Im Vordergrund steht weniger der Wachstumseffekt, sondern die Bestimmung der optimalen Steuersätze, die notwendig sind, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Als Grundlage für das festgelegte Reduktionsziel dient die Ankündigung des Bundesrates im Jahr 2009, die CO₂-Emissionen in der Schweiz bis 2020 um 20 Prozent senken zu wollen. Zur Analyse wird ein Simulationsmodell verwendet, das neben 17 Sektoren 12 verschiedene Konsumgüter sowie 5 Haushaltstypen, die gemäss ihrem Einkommen unterschieden werden, enthält. Im Referenzszenario wird, unabhängig von politischen Eingriffen, ein Wirtschaftswachstum von 0.8 Prozent pro Jahr angenommen. Als Instrument dient auch hier eine Steuer, die entweder auf sämtliche fossile Energien oder nur auf Brennstoffe erhoben wird.

Damit die Emissionen bis 2020 um 20 Prozent reduziert werden können, muss die CO₂-Steuer von 40 Franken pro Tonne CO₂ im Jahr 2008 auf 280 Franken pro Tonne CO₂ im Jahr 2020 angehoben werden. Werden nur Brennstoffe besteuert, beträgt die Steuer im Jahr 2020 rund 500 Franken pro Tonne CO₂. Die Wirkung der Steuer ist relativ moderat. Mit Ausnahme des öffentlichen Sektors geht der Output zwar in allen Sektoren zurück, der maximale Rückgang bis 2020 beträgt jedoch nur etwas mehr als 2 Prozent. Ähnlich moderat sind die Auswirkungen auf der Haushaltsebene. Der Wohlfahrtsverlust beträgt hier maximal 0.9 Prozent.

Unter der Annahme, dass sich der Mobilitätssektor technologisch entwickelt und Lerneffekte zu einem effizienteren und sparsameren Umgang mit Energie führen, lässt sich die Steuerbelastung bei gleichem Reduktionsziel weiter reduzieren. Für eine Reduktion der Emissionen um 20 Prozent reicht in diesem Fall ein Steuersatz auf Brennstoffe von 260 bis 360 Franken pro Tonne CO₂.

5.3.3 André Sceia et al.:

Sustainability, neutrality and beyond in the framework of Swiss post-2012 climate policy. NCCR Working Paper, No. 2008-07, 2008.

Die Studie verknüpft ein multiregionales ökonomisches Simulationsmodell mit einem detaillierten Modell des Energiesektors. Im Unterschied zu den oben diskutierten Modellen werden hier mehrere Regionen berücksichtigt. Dies ermöglicht die Analyse der Effekte verschiedener Klimaziele auf nationaler und auf internationaler Ebene. Die Ziele können sich dabei auf internationaler Ebene unterscheiden; es wird also nicht zwingend von einer Koordination der Ziele ausgegangen. Dabei zeigt sich, dass die Schweiz auch bei vergleichsweise ambitionierten Klimazielen kaum Nachteile hat. Wird beispielsweise eine Reduktion der Emissionen um 50 Prozent bis 2050 angestrebt, so sind die Auswirkungen auf die Wohlfahrt in der Schweiz generell kleiner als im Ausland, unabhängig davon, ob die Ziele im Ausland tiefer oder höher gesetzt werden. Der Hauptgrund für dieses Resultat sind positive Effekte auf den Aussenhandel als Folge der Reduktionsmassnahmen. Durch den Rückgang der Nachfrage nach fossiler Energie reduziert sich in diesem Bereich die Auslandsabhängigkeit stark.

Die Studie untersucht auch die Wirkungen auf den Wohnsektor. Es zeigt sich, dass dieser Sektor einen signifikanten Anteil zur geforderten Reduktion der Emissionen beitragen kann. Es sind leistungsfähige Technologien vorhanden, mit denen die Emissionen im Wohnsektor deutlich verringert oder unter Umständen gar auf Null gesenkt werden können. Voraussetzung für die Umsetzung der Möglichkeiten ist Klarheit über die zukünftige Ausrichtung der Politik und eine frühzeitige Ankündigung der Ziele. Investoren müssen die Gewissheit haben, dass sich alternative Technologien langfristig lohnen.

5.3.4 Ecoplan:

Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto Politik. Bern, 2009

Die Studie betrachtet ebenfalls einen etwas kürzeren Zeithorizont bis 2020. Die CO₂-Emissionen sollen in der Schweiz (wie bei den Diskussionen zur Revision des CO₂-Gesetzes

vorgeschlagen) bis 2020 um 20 Prozent reduziert werden. Wird in der EU ein höheres Ziel angestrebt, kann das Reduktionsziel in der Schweiz auf bis zu 30 Prozent angehoben werden. Unabhängig vom Szenario kann ein Teil der Reduktion im Ausland erfolgen. Für die Analyse wird ein Einländermodell mit insgesamt 19 Sektoren sowie unterschiedlichen Haushalten (differenziert nach Einkommen) verwendet. Die jährliche Wachstumsrate des BIP im Referenzszenario beträgt 1.58 Prozent. Als politisches Instrument wird die CO₂-Abgabe verwendet. Die Erträge aus der Abgabe werden an die Haushalte zurückverteilt.

Zunächst wird die für das Erreichen der Ziele notwendige Höhe der CO₂-Abgabe bestimmt. Diese liegt je nach Szenario zwischen 113 Franken pro Tonne CO₂ (bei einer Reduktion von 20 Prozent, davon rund die Hälfte im Ausland) und 245 Franken pro Tonne CO₂ (Reduktion von 30 Prozent, davon der grösste Teil im Inland). Die ökonomischen Auswirkungen sind in jedem Fall moderat: Die jährliche Wachstumsrate sinkt um maximal 0.18 Prozent. Die Effekte auf sektoraler Ebene sind relativ klein. In den meisten Industrien resultiert ein Rückgang des Outputs von maximal gut 4 Prozent. Die besonders energieintensiven Branchen sind stärker betroffen, während der Maschinenbau sowie der Bausektor profitieren.

Auch die Wohlfahrtsverluste bleiben insgesamt gering. Im Falle einer Reduktion der Emissionen um 20 Prozent bis 2020 beträgt der Verlust 0.36 Prozent, im ambitioniertesten Szenario liegt er bei 0.83 Prozent. Am stärksten betroffen sind dabei in jedem Fall reichere Haushalte, während Haushalte mit geringem Einkommen gar profitieren können. Werden zusätzlich Sekundärnutzen der Emissionsreduktionen (beispielsweise die Verringerung von Gesundheits- und Infrastrukturkosten, die Reduktion der Auslandsabhängigkeit bei der fossilen Energie oder die erhöhten Innovationsanreize) mit einbezogen, lassen sich die Wohlfahrtsverluste weiter reduzieren. In allen Szenarien kompensieren Sekundärnutzen rund 10 Prozent der Wohlfahrtsverluste.

5.4 Fazit

Als Fazit kann festgehalten werden, dass die Modellrechnungen einen mit Kapitel 4 übereinstimmenden Absenkpfad (Reduktion um 30 Prozent bis 2020, 80 Prozent bis 2050) für

die Schweiz bestätigen und als machbar aufzeigen. Die Kosten werden trotz des ambitionierten Ziels als gering bis moderat eingestuft. Zudem gilt bei den gezeigten Berechnungen der Vorbehalt, dass die Ziele unilateral und nicht im Rahmen einer internationalen Vereinbarung gesetzt werden. Wenn die Ziele und die Massnahmen international koordiniert werden, dürften sich die Kosten für die Schweiz weiter reduzieren.

Literatur

- Bretschger, L., Ramer, R., Schwark, F. (2011), Growth effects of carbon policies: applying a fully dynamic CGE model with heterogeneous capital, *Resource and Energy Economics* Vol. 33 (4), 963–980.
- Bucher, R. (2011), *Mitigation, Adaptation, Technological Change and International Trade: Economic Aspects of Unilateral Climate Policies*, PhD thesis, Universität Bern.
- Econcept (2008), *Reduktion Treibhausgasemissionen: Gutachten Sekundärnutzen*, Zürich.
- Ecoplan (2009), *Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Schweizer Post-Kyoto Politik*, Bern.
- OcCC (2000), *Sekundärnutzen von Treibhausgas-Reduktionen*, Bern.
- Sceia, A., Altamirano-Cabrera, J.-C., Schulz, T. F., Vielle, M. (2008), *Sustainability, neutrality and beyond in the framework of Swiss post-2012 climate policy*, NCCR Working Paper 2008-07.
- Stern, N. (2007), *Stern review on the economics of climate change*, Cabinet Office – HM Treasury, Paperback, ISBN:9780521700801, Cambridge University Press.
- World Bank (2010), *The cost to developing countries of adapting to climate change: new methods and estimates*, Washington D.C., World Bank.

Die Mitglieder des OcCC

Mitglieder

Kathy Riklin (Präsidentin), Nationalrätin, Zürich

Charlotte Braun-Fahrlander, Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Universität Basel

Lucas Bretschger, Center of Economic Research, ETH Zürich

Stefan Brönnimann, Geographisches Institut, Universität Bern

Thomas Bürki, Energie Ökologie Politikberatung, Bengelen

Andreas Fischlin, Institut für Terrestrische Ökologie, ETH Zürich

Nicolas Gruber, Institut für Biogeochemie und Schadstoffdynamik (IBP), ETH Zürich

Gabi Hildesheimer, Ökologisch bewusste Unternehmen, Zürich

Fortunat Joos, Physikalisches Institut, Universität Bern

Peter Knoepfel, Inst. de Hautes Etudes en Administration Publique, IDHEAP, Lausanne

Christian Körner, Botanisches Institut, Universität Basel

Bruno Schädler, Geographisches Institut, Universität Bern

Andreas Spiegel, Sustainability and Political Risk Management, Swiss Re, Zürich

Thomas Stocker, Physikalisches Institut, Universität Bern

Philippe Thalmann, Recherches en Economie et Management de l'Environnement, EPF Lausanne

Alexander Wokaun, Forschungsbereich Allgemeine Energie, PSI Villigen

Experten mit beratender Stimme

Christoph Appenzeller, MeteoSchweiz, Zürich

Edith Bernhard, Staatssekretariat für Wirtschaft, Bern

Melanie Butterling, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern

Lukas Gutzwiller, Bundesamt für Energie, Bern

Roland Hohmann, Bundesamt für Umwelt, Bern

Janine Kuriger, Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit, Bern

Christian Preiswerk, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, Bern

José Romero, Bundesamt für Umwelt, Bern

Kurt Seiler, Konferenz der Vorsteher der Umweltschutzfachstellen der Schweiz, Schaffhausen

Christine Zundel, Bundesamt für Landwirtschaft, Bern

Geschäftsstellen

Christoph Kull, OcCC, Bern

Christoph Ritz, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz, Bern

Projektleitung und Redaktion:
Christoph Kull, OcCC

OcCC-externe Begutachtung:
Prof. Heinz Wanner, Bern
Prof. Frank Krysiak, Basel

Lektorat:
Felix Würsten, Zürich

Layout:
Esther Volken, OcCC

Druck:
Vögeli AG Druckzentrum, 3550 Langnau

