



**KLIMAÄNDERUNGEN,
DEREN AUSWIRKUNGEN
UND WAS FÜR DEN
KLIMASCHUTZ ZU TUN IST**

Inhalt

1. Einleitung
2. Beobachtete Klimaänderungen
3. Globale Klimaänderungen - was sagen die Projektionen?
4. Projizierte Klimaänderungen in Deutschland
5. Der Blick auf das was kommt - wie Klimaänderungen wirken könnten
6. Was die Europäische Union beim Klimaschutz tun will - Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 2°C
 - 6.1 Klimaschutzszenarios zur Einhaltung des 2°C-Zieles
 - 6.2 Kosten von Klimaschutzmaßnahmen
7. Internationale Verteilung der Emissionsminderungen
8. Emissionsreduzierung in Deutschland um 40 Prozent bis 2020

Stand: November 2007

Herausgeber: Umweltbundesamt

Autoren: Karin Kartschall, Claudia Mäder, Jens Tambke

1. Einleitung

„Der Klimawandel findet weltweit statt, und seine Auswirkungen beeinflussen alle Volkswirtschaften und die Aussichten für die Zukunft sind düster.“ Damit begründet der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimafragen der Vereinten Nationen (IPCC = Intergovernmental Panel on Climate Change) seinen klaren Appell: Es ist höchste Zeit zu handeln, um Schlimmeres abzuwenden.

Für Deutschland bedeutet dies: Wir müssen hinreichende Emissionsminderungsziele für Treibhausgase politisch festlegen und rechtlich verankern, die Wirkungen der Klimaänderungen regional bestimmen sowie alle Akteure ins Boot holen, die zum Klimawandel beitragen, die von ihm betroffen sind oder betroffen sein werden, um mit ihnen wirksame Maßnahmen einzuleiten.

Um das zu vereinfachen, fasst dieses Hintergrundpapier die wissenschaftlichen Aussagen des IPCC für alle Betroffenen und Interessierten zusammen.

2. Beobachtete Klimaänderungen

Seit der Industrialisierung im 18. Jahrhundert beeinflusst der Mensch die Zusammensetzung der Atmosphäre. Die globalen atmosphärischen Konzentrationen der treibhauswirksamen Gase, neben Kohlendioxid (CO₂) auch Methan (CH₄) und Distickstoffoxid (N₂O) - auch Lachgas genannt - stiegen als Folge menschlicher Aktivitäten seit 1750 markant. Beim Kohlendioxid geht diese Entwicklung primär auf fossile Brennstoffe und Landnutzungsänderungen zurück - beispielsweise die Abholzung vieler Wälder. Der Anstieg der Methan- und Lachgaskonzentrationen geht primär auf die intensivierte Landwirtschaft zurück.

Zwischen 1990 und 2004 stiegen die weltweiten Treibhausgasemissionen um 24 Prozent auf 49 Gigatonnen Kohlendioxidäquivalente (Gt CO₂-Äqu.). Die CO₂-Emissionen nahmen von 1990 bis 2004 um etwa 28 Prozent zu und entsprachen 77 Prozent der gesamten vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen (in Kohlendioxidäquivalenten) im Jahr 2004.

Die globale atmosphärische Kohlendioxid-Konzentration stieg von einem vorindustriellen Wert im Jahr 1750 von etwa 280 ppm (parts per million, das heißt 280 CO₂-Moleküle auf eine Million Luftmoleküle) auf 379 ppm im Jahre 2005. In den letzten Jahren stellten Wissenschaftler außerdem eine Beschleunigung des Anstiegs der CO₂- und N₂O-Konzentrationen fest.

Änderungen der atmosphärischen Konzentrationen der Treibhausgase und Aerosole (kleine, schwebende, feste und flüssige Partikel in der Atmosphäre), der Sonneneinstrahlung und der Beschaffenheit der Landoberfläche ändern die Energiebilanz des Klimasystems. Daraus resultieren erwärmende und abkühlende Einflüsse auf das Klima. Die Beobachtungsdaten der vergangenen 100 Jahre zeigen deutlich, dass sich das Klima erwärmt. Zwischen 1906 und 2005 stieg die globale bodennahe Mitteltemperatur um 0,74 Grad Celsius (°C). Gebirgsgletscher und Schneebedeckung nahmen im Mittel auf der Nord-

und Südhalbkugel ab. Der Meeresspiegel stieg im 20. Jahrhundert um etwa 17 Zentimeter [0,12 - 0,22 Meter]¹ im globalen Mittel. Grund dafür sind die thermische Ausdehnung des Meeres sowie schmelzende Gletscher, Eiskappen und Eisschilde.

Das wissenschaftliche Verständnis der erwärmenden sowie abkühlenden Einflüsse auf das Klima (vom Menschen verursacht und natürlich) verbesserte sich in den vergangenen Jahren. Klar ist: Der größte Teil des Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts geht **sehr wahrscheinlich** (das heißt zu über 90 Prozent) auf den Anstieg der vom Menschen verursachten Treibhausgaskonzentrationen zurück.

3. Globale Klimaänderungen – was sagen die Projektionen?

Die Wissenschaftler ermitteln Projektionen künftiger Klimaänderungen mit Klimamodellen. Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf einer großen Zahl von Modellsimulationen und einer breiten Auswahl an Klimamodellen. Deshalb ist es möglich, beste Schätzungen und wahrscheinliche Unsicherheitsbereiche für die projizierten Änderungen anzugeben.

Klimamodellsimulationen machte das IPCC für verschiedene so genannte Emissionsszenarios. Das heißt, die Forscherinnen und Forscher legen für ihre Klimamodelle alternative Szenarios für den Treibhausgasausstoß zugrunde: So können die Klimamodelle zum Beispiel Aussagen darüber machen, wie sich das Klima bei starkem Wirtschafts- oder Bevölkerungswachstum - und damit höheren Treibhausgasemissionen - ändern könnte. Alternativ können die Forscherinnen und Forscher projizieren, wie sich das Klima bei geringeren Treibhausgasemissionen ändern könnte.

Aus der Vielzahl dieser Szenarios greift das UBA im Folgenden drei heraus - ein niedrigeres Emissionsszenario (B1), ein mittleres (A1B) und ein höheres Emissionsszenario (A1FI) - die alle keine expliziten Initiativen zum Klimaschutz einschließen. Die Entwicklungen der Treibhausgasemissionen sind unterschiedlich.

Wegen des starken Zuwachses der weltweiten CO₂-Emissionen in den letzten Jahren² befürchtet das UBA, dass die gesamten Treibhausgasemissionen ohne zusätzlichen internationalen Klimaschutz tatsächlich so stark zunehmen könnten, wie sie das IPCC-Szenario „A1FI“ („fossil intensiv“) beschreibt.

B1 „Niedrigeres Emissionsszenario“ ist charakterisiert durch:

- global orientierte Entwicklung und die Einführung emissionsarmer sowie ressourcenschonender Techniken;
- Schwerpunktlegung auf sozial- und umweltverträglicher Entwicklung, jedoch ohne zusätzliche Klimaschutzinitiativen;

¹ In eckigen Klammern stehende Werte sind 90 Prozent-Unsicherheitsintervalle. Das heißt, es gibt eine geschätzte 5-prozentige Wahrscheinlichkeit, dass der Wert oberhalb des in eckigen Klammern genannten Bereichs liegen könnte und eine 5 Prozentige Wahrscheinlichkeit, dass er unterhalb dieses Bereichs liegen könnte. Der Wert vor der eckigen Klammer stellt den besten Schätzwert dar.

² Raupach et al.: Global and regional drivers of accelerating CO₂ emissions. *PNAS 104: 10288-10293; published online before print, May 2007*

- Bevölkerungswachstum bis Mitte des 21. Jahrhunderts, dann Abnahme der Weltbevölkerung;
- Anstieg der CO₂-Emissionen bis etwa Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von einer deutlichen Abnahme bis 2100 (Emissionsniveau im Jahr 2100 niedriger als bei A1B),

A1B „Mittleres Emissionsszenario“ ist charakterisiert durch:

- global orientierte Entwicklung mit starkem Wirtschaftswachstum;
- schnelle Einführung neuer und effizienterer Techniken; Nutzung fossiler und erneuerbarer Energien;
- Anstieg der Weltbevölkerung bis Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von einer Abnahme der Weltbevölkerung;
- Anstieg der CO₂-Emissionen bis Mitte des 21. Jahrhunderts und einem leichten Rückgang bis 2100,

A1FI „Höheres Emissionsszenario“ ist charakterisiert durch:

- global orientierte Entwicklung mit starkem Wirtschaftswachstum;
- schnelle Einführung neuer und effizienterer Techniken; intensive Ausnutzung fossiler Energien;
- Anstieg der Weltbevölkerung bis Mitte des 21. Jahrhunderts, gefolgt von einer Abnahme der Weltbevölkerung;
- Anstieg der CO₂-Emissionen bis Ende des 21. Jahrhunderts.

Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche für den Zeitraum 2090 - 2099 gegenüber 1980 - 1999 zeigt Tabelle 3.

Emissionsszenario	Beste Schätzung	Wahrscheinliche Bandbreite
B1	1,8 °C	1,1 - 2,9 °C
A1B	2,8 °C	1,7 - 4,4 °C
A1FI	4,0 °C	2,4 - 6,4 °C

Tabelle 1: Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche für den Zeitraum 2090 - 2099 gegenüber 1980 - 1999

In diesen Zahlen ist die zwischen der vorindustriellen Zeit und dem Zeitraum 1980 - 1999 bereits erfolgte Erwärmung von etwa 0,5°C noch nicht enthalten. Rechnet man diese Temperaturzunahme dazu, resultieren bis Ende des 21. Jahrhunderts Erwärmungen von **2,3°C** für das niedrigere, **3,3°C** für das mittlere und **4,5°C** für das höhere Emissionsszenario. Diese Werte überschreiten einen Temperaturanstieg von maximal 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau; dies sehen viele Fachleute und die EU als Grenze an, ab der dramatische Schäden als Folge der Klimaänderungen drohen.

Auch nach dem Jahr 2100 kommt es in diesen Szenarios zu einer deutlichen Erwärmung. Blicke die Treibhausgas-Konzentration in der Atmosphäre ab dem Jahr 2100 auf dem Niveau des mittleren Szenarios A1B konstant, so betrüge die gesamte Erwärmung zwischen vorindustrieller Zeit und einem neuen Klimagleichgewicht etwa 4,8°C. Die weitere Erwärmung nach dem Zeitraum 2090-2099 würde in diesem Fall also noch einmal etwa 1,5°C betragen.

Hinsichtlich des projizierten **Anstiegs des Meeresspiegels** sind noch viele Fragen offen. Die ermittelte Bandbreite des Meeresspiegelanstiegs bis zum Ende des 21. Jahrhunderts beträgt im globalen Mittel für das niedrigere Emissionsszenario (B1) 18 bis 38 Zentimeter und für das höhere Emissionsszenario (A1FI) 26 bis 59 Zentimeter. Die Szenarios berücksichtigen allerdings noch nicht die polare Eisdynamik (beispielsweise das Abbrechen großer Eismassen in der Antarktis) und Unsicherheiten in den Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen: In einem wärmeren Klima reduziert sich die Aufnahmefähigkeit der Ozeane und der Landoberfläche für vom Menschen verursachtes CO₂, weil in wärmerem Wasser weniger Gas gelöst wird und die Böden bei höheren Temperaturen mehr Biomasse abbauen. Damit würden die atmosphärischen CO₂-Konzentrationen stärker steigen als ohne diesen Rückkopplungsmechanismus. Ein besseres Verständnis dieser Prozesse und deren Berücksichtigung in künftigen Modellsimulationen könnten zur Projektion höherer Meeresspiegelanstiege bis zum Ende des 21. Jahrhunderts führen.

Folge der erhöhten Kohlendioxidemissionen ist auch eine zunehmende **Versauerung der Ozeane**. Die Meere nahmen bisher etwa ein Drittel der vom Menschen verursachten CO₂-Emissionen auf, was bereits zu einer signifikanten Versauerung des Meerwassers führte. Eine ungebremsste Fortsetzung dieses Trends würde erhebliche Gefahren für das Leben im Meer bergen. Saures Wasser behindert die Kalkbildung, das heißt den Knochen- und Schalenaufbau der Meeresbewohner. Korallenriffe, die ohnehin im wärmeren Wasser unter Stress stehen und alle davon abhängigen Arten sind in ihrer Existenz gefährdet. Das könnte negative Auswirkungen für die gesamte Nahrungskette im Meer haben und damit auch für die menschliche Ernährung.

Die größte **Erwärmung** zeigen die Klimaprojektionen über dem Festland und in nördlichen Breiten. Mit der geringsten Erwärmung ist über dem südlichen Ozean und Teilen des Nordatlantiks zu rechnen. Die Modelle ergeben für alle Emissionsszenarios einen **Rückgang des Meereises** sowohl in der Arktis als auch in der Antarktis. In einigen Projektionen verschwindet in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts das Meereis in der Arktis im Sommer fast völlig.

Die **Niederschlagsmengen** werden in höheren Breiten sehr wahrscheinlich zunehmen, während sie über den meisten subtropischen Landregionen wahrscheinlich abnehmen.

Extremereignisse - wie Hitzewellen und Starkniederschläge - werden sehr wahrscheinlich weiterhin zunehmen. Darüber hinaus ist es wahrscheinlich (Eintrittswahrscheinlichkeit > 66 Prozent), dass tropische Wirbelstürme künftig intensiver werden und höhere Spitzenwindgeschwindigkeiten sowie mehr Starkniederschläge mit sich bringen werden.

Nach gegenwärtigen Erkenntnissen wird das Abschmelzen des Grönländischen Eisschildes nach 2100 weiterhin zum Meeresspiegelanstieg beitragen. Es besteht die Gefahr, dass bei einer Zunahme der globalen Mitteltemperatur von mehr als 2°C gegenüber dem vorindustriellen Wert das Grönländische Eisschild über Jahrhunderte hinweg vollständig abschmilzt und langfristig zu einem Meeresspiegelanstieg von etwa sieben Metern führt. Die Antarktis ist - nach gegenwärtigem Kenntnisstand - hingegen zu kalt für ein verbreitetes Abschmelzen des Festlandeises.

Die anthropogene Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg würden sich über Jahrhunderte fortsetzen, selbst falls es gelänge, die Treibhausgaskonzentrationen zu stabilisieren. Dies liegt an der langen, mit Klimaprozessen und Rückkopplungen im Klimasystem verbundenen Zeitskala.

4. Projizierte Klimaänderungen in Deutschland

Zur Einschätzung künftiger möglicher Klimaentwicklungen in Deutschland gibt es verschiedene regionale Klimamodelle. Ergebnisse aus einem dynamischen³ Regionalisierungsverfahren (REMO, entwickelt vom MPI für Meteorologie Hamburg) und einem statistischen Regionalisierungsverfahren (WETTREG, entwickelt von den Firmen MeteoResearch sowie CEC Potsdam GmbH) lassen für Deutschland eine rasche Erwärmung für das 21. Jahrhundert erwarten. Auf der Grundlage dieser Modelle ist unter Verwendung der Emissionsszenarien B1 und A1B für die Jahre 2071 - 2100 mit einem Anstieg der Jahresmitteltemperatur um 1,5 bis 3,7 °C gegenüber den Jahren 1961 - 1990 zu rechnen. Sehr wahrscheinlich ist dabei eine Erwärmung um 2 bis 3°C. Die so ermittelten Temperaturzunahmen sind - wegen der unterschiedlichen Bezugszeiträume - nicht direkt mit den in Kapitel 3 aufgeführten globalen Temperaturzunahmen vergleichbar. Um belastbare Aussagen bei statistischen Modellen - wie im Fall von WETTREG - zu erhalten, müssen Zeiträume von 30 Jahren zur Auswertung herangezogen werden.

Beim **Niederschlag** zeigen sich klare, jedoch gegenläufige Tendenzen für Sommer und Winter - und somit wenig Änderung des Jahresniederschlags. Im **Sommer** könnten die Niederschläge in Zukunft **großflächig abnehmen**. Abhängig vom genutzten Modell und vom verwendeten Emissionsszenario projiziert das Modell bis zum Ende dieses Jahrhunderts Niederschlagsrückgänge zwischen 20 und 40 Prozent. Besonders stark

³ Dynamische Verfahren simulieren mit einem höher aufgelösten dynamischen Modell Parameter für Teilgebiete des globalen Modellgebietes und nutzen dazu Eingangsdaten aus dem globalen Modell. Statistische Verfahren gehen davon aus, dass die globalen Modelle im großräumigen Maßstab in der Lage sind, die Muster der atmosphärischen Zirkulation treffend zu beschreiben. Bei den meisten dieser Verfahren werden statistische Beziehungen zwischen den großräumigen Mustern/Wetterlagen und den lokalen Auswirkungen identifiziert, wobei die aus der Vergangenheit oder Gegenwart gewonnenen Beziehungen auf die Projektionen der globalen Modelle angewendet werden. Das vom UBA genutzte statistische Modell WETTREG bestimmt das Klimasignal nicht direkt aus den Szenariorechnungen des globalen Klimamodells, sondern über die Kausalkette sich ändernder Häufigkeiten der Wetterlagen in den täglichen Realisierungen des Klimamodells, die hohe oder tiefe Temperaturwerte und geringen oder starken Niederschlag verursachen.

könnten sich die Niederschläge in Süd- und Südwestdeutschland sowie in Nordostdeutschland verringern. Hier könnten gegen Ende dieses Jahrhunderts etwa nur noch zwei Drittel oder sogar noch weniger Niederschläge fallen, verglichen mit heutigen Bedingungen. Hohe sommerliche Temperaturen könnten zusätzlich - neben diesen ungewohnt niedrigen Regenmengen - dafür sorgen, dass sich die Verdunstung der verbliebenen Niederschläge deutlich erhöhte. Dies könnte in Regionen, die schon heute Trockenheiten erleben - wie der Nordosten Deutschlands - ohne geeignete Anpassung zu Problemen, etwa in der Landwirtschaft, führen.

Wichtig ist, diese regionalen Klimaprojektionen nicht als Prognosen - also gewissermaßen als Wetterkarte der Zukunft - zu verstehen. Projektionen sind keine Vorhersagen, sondern zeigen allein, wie sich das Klima entwickeln könnte. Ferner sind die dargestellten möglichen Entwicklungen nur die Resultate zweier - wissenschaftlich fundierter - Klimamodelle, die mit weiteren Modellsimulationen zu ergänzen sind. Nur so wird es gelingen, ein umfassenderes und aussagekräftigeres Bild zu erhalten.

5. Der Blick auf das was kommt - wie Klimaänderungen wirken könnten

Falls die Klimaänderungen nicht gemildert und die Anpassungsfähigkeit von Mensch und Umwelt mit engagierten Maßnahmen nicht gefördert würden, erwarten Wissenschaftler für das 21. Jahrhundert weitreichende Wirkungen des Klimawandels auf verschiedene Erdsysteme und Sektoren. Welche Wirkungen bei welchem Temperaturanstieg zu erwarten sein könnten, zeigt Tabelle 2.

Temperaturerhöhung gegenüber 1980 - 1999	Globale Auswirkungen
Unter 1,5°C	<p>Gesundheitliche Beeinträchtigungen durch Hitzestress, Unterernährung, Durchfall- und Infektionskrankheiten</p> <p>Mehr Schäden durch Überschwemmungen und Stürme</p> <p>Bis zu 1,7 Milliarden Menschen sind von steigender Wasserknappheit betroffen</p> <p>Bis zu 30 Millionen Menschen mehr sind vom Hunger bedroht</p> <p>Verstärkte Korallenbleiche</p>
1,5 bis 3,5°C	<p>Bis zu 3 Millionen Menschen mehr sind durch Überflutungen der Küsten gefährdet</p> <p>Bis zu 2 Milliarden Menschen von Wasserknappheit betroffen</p> <p>Zunehmende Belastungen wegen Mangelernährung, Durchfall, Herzerkrankungen, Erkrankungen der Atmungsorgane und Infektionserkrankungen</p> <p>Weitgehender Verlust der biologischen Vielfalt; 20 bis 30 Prozent der Arten unterliegen zunehmendem Risiko des Aussterbens</p>

Temperaturerhöhung gegenüber 1980 - 1999	Globale Auswirkungen
	Beginn eines unumkehrbaren Abschmelzprozesses der Eisschilde Grönlands und der westlichen Antarktis
Größer 3,5°C	<p>Alle Systeme - biologische, physikalische und soziale - und besonders die menschliche Gesellschaft sind mit der Anpassung an die Wirkungen einer derartigen Erwärmung überfordert</p> <p>Bis zu 1/5 der Weltbevölkerung ist durch häufigere Überschwemmungen gefährdet</p> <p>Bis zu 15 Millionen Menschen mehr sind dem Risiko der Küstenüberflutung ausgesetzt</p> <p>Bis zu 3,2 Milliarden Menschen sind von steigender Wasserknappheit betroffen</p> <p>Bis zu 120 Millionen Menschen mehr sind vom Hunger bedroht</p> <p>Weltweites Artensterben - vor allem in Feuchtgebieten, Wäldern und Korallenriffen</p> <p>Etwa 30 Prozent der küstennahen Feuchtgebiete drohen abzusterben</p>

Tabelle 2: Auswirkungen verschiedener Größenordnungen der Zunahme des globalen Mittels der bodennahen Lufttemperatur im 21. Jahrhundert gegenüber dem Zeitraum 1980 - 1999

Von Klimaänderungen besonders bedroht sind Menschen in durch Armut gekennzeichneten Regionen, die gleichzeitig Hochrisikogebiete - zum Beispiel wegen erhöhter Gefahr von Dürren oder Überschwemmungen - sind. Für diese Menschen sind die Anpassungskapazitäten beschränkt. Die Menschen dort sind auch von klimasensitiven Ressourcen abhängiger, wie der lokalen Versorgung mit Wasser und Nahrungsmitteln. Zum Ende dieses Jahrhunderts werden mehrere Millionen Menschen zusätzlich wegen des steigenden Meeresspiegels von Überschwemmungsrisiken bedroht sein, besonders in dicht besiedelten und tief liegenden Gebieten, in denen die Anpassungsfähigkeit relativ gering ist und die bereits andere Gefahren, wie tropische Wirbelstürme und örtliche Absenkungen der Küste bedrohen. Die meisten Menschen werden in den Großdeltas Asiens und Afrikas betroffen sein. Kleine Inseln sind besonders verwundbar. Die Tabelle 3 veranschaulicht Auswirkungen der Klimaerwärmung in Europa.

Region	Auswirkungen
Nordeuropa	<p>Bei geringen Temperaturänderungen neben nachteiligen auch einige positive Effekte: verminderter Heizbedarf, steigende Ernteerträge, verstärktes Waldwachstum</p> <p>Bei fortgesetzter Klimaänderung negative Folgen - wie häufigere winterliche Hochwässer, gefährdete Ökosysteme und Gesundheitsrisiken</p>

Region	Auswirkungen
Mittel- und Osteuropa	<p>Stärkerer Wassermangel durch abnehmenden Sommerniederschlag</p> <p>Zunahme der Gesundheitsrisiken wegen häufigerer Hitzewellen</p> <p>Abnehmendes Waldwachstum und häufigere Moorbrände</p>
Südeuropa	<p>Mehr Hitzewellen und Dürren und in Verbindung damit: zunehmende Gesundheitsrisiken, mehr Flächenbrände, geringere Wasserverfügbarkeit und geringeres Wasserkraftpotenzial, geringere Ernteerträge</p> <p>Bis zu 120 Millionen Menschen mehr sind vom Hunger bedroht</p> <p>Artensterben vor allem in Feuchtgebieten, Wäldern und Korallenriffen</p> <p>Etwa 30 Prozent der küstennahen Feuchtgebiete drohen abzusterben</p>

Tabelle 3: Auswirkungen der globalen Erwärmung in Europa

6. Was die Europäische Union beim Klimaschutz tun will – Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 2°C

Angesichts der drohenden Konsequenzen einschneidender Klimaänderungen hat sich die EU zum Ziel gesetzt, den Temperaturanstieg auf 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit zu begrenzen. Zwischen 1906 und 2005 nahm die globale bodennahe Mitteltemperatur bereits um 0,74°C zu. Für das 2°C-Ziel darf die globale Mitteltemperatur also um nicht mehr als weitere rund 1,2°C steigen. Nur so lassen sich die schlimmsten Folgen des Klimawandels verhindern und die unvermeidbaren Folgen durch Anpassungen begrenzen. Um die 2°C-Grenze mit einer Wahrscheinlichkeit von wenigstens 75 Prozent einzuhalten, ist es notwendig, die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre bei 400 ppmv CO₂-Äquivalenten zu stabilisieren. Dazu ist der Zuwachs der globalen Treibhausgas-Emissionen bis 2020 zu stoppen. Anschließend müssen die weltweiten Emissionen bis zum Jahr 2050 um 50 Prozent gegenüber 1990 sinken – das heißt um etwa 60 Prozent gegenüber den heutigen Werten – und sie dürfen dann auch langfristig dieses Niveau nicht überschreiten.

Die dazu erforderlichen Klimaschutzmaßnahmen sollten so schnell wie möglich verstärkt werden, um die jetzige Zunahme der Emissionen bis 2020 tatsächlich zu stoppen. Ein späterer Beginn der Maßnahmen würde bei gleichem Emissionsminderungsziel zu erhöhten volkswirtschaftlichen Kosten führen, weil die gesamte wirtschaftliche Entwicklung und besonders die Infrastruktur sich dann bereits zu höheren Emissionen hin entwickelt hätten („Lock-In-Effekt“). Beispielsweise könnten zu diesem Zeitpunkt bereits zusätzliche Kohlekraftwerke mit ihren hohen spezifischen CO₂-Emissionen in Betrieb sein oder es wären noch mehr Straßen und Flughafenkapazitäten anstelle von neuen Schienenwegen entstanden. Die Möglichkeiten für niedrigere Stabilisierungsniveaus wären zudem stark eingeschränkt, und das Risiko schwerer Schäden aus einem stärkeren Klimawandel würde wachsen – mit heute noch nicht genau bekannten volkswirtschaftlichen Verlusten.

6.1 Klimaschutzszenarios zur Einhaltung des 2°C-Zieles

Im vierten Sachstandsbericht (AR4) hat die Arbeitsgruppe III des IPCC die Ergebnisse verschiedener Modelle dokumentiert, wie sich, vor allem mit welchen Techniken und zu welchen Kosten unterschiedliche Niveaus von Emissionsminderungen erreichbar wären.

Die vom IPCC dokumentierten niedrigsten Szenarios, nach denen sich die globale Erwärmung auch langfristig (das heißt über 2100 hinaus bis zum Erreichen eines neuen Gleichgewichtszustandes des Klimasystems) auf 2,0 bis 2,4°C gegenüber vorindustrieller Zeit begrenzen lässt, sind auf die langfristige Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgasemissionen zwischen 445 und 490 ppmv CO₂-Äquivalenten ausgerichtet.

Damit verbleiben auch die anspruchsvollsten, vom IPCC erfassten Szenarios (die so genannte Kategorie I) noch oberhalb des Wertes von 400 ppmv, den das UBA langfristig als erforderlich ansieht. Alle anderen Kategorien des IPCC würden mit sehr großer Wahrscheinlichkeit noch höhere Temperaturanstiege als 2,4°C nach sich ziehen.

Die IPCC-Szenarios der Kategorie I beschränken sich nicht nur auf CO₂, sondern nutzen die existierenden technischen Möglichkeiten, um die Emissionen aller sechs im Kyoto-Protokoll erfassten Gase (CO₂, N₂O, CH₄, SF₆, H-FKW, FKW)⁴ zu reduzieren, und zwar mit einer sehr breiten Vielfalt an Maßnahmen und in allen Wirtschaftssektoren (Energieversorgung, Verkehr, Gebäude, Industrie, Land-, Forst- und Abfallwirtschaft). Die Szenarios zeigen, dass das 2°C-Ziel mit Techniken erreichbar ist, die heute kommerziell verfügbar sind oder deren Serienreife der IPCC in den kommenden Jahrzehnten erwartet - jedoch nur, falls die Politik angemessene Anreize für Investitionen in die Entwicklung und Anwendung dieser Techniken setzte.

Die wichtigsten Maßnahmen beziehen sich auf die Reduzierung der energiebedingten CO₂-Emissionen, also jenem Teil der CO₂-Emissionen, die bei der Bereitstellung des Stroms und der Wärme sowie bei der Verbrennung fossiler Treibstoffe im Verkehr entstehen⁵:

- Effizienzsteigerungen bei der Energienutzung, vor allem mit besserer Gebäudedämmung und sparsameren Geräten, Maschinen und Fahrzeugen;
- Effizienzsteigerungen bei der Energieversorgung, vor allem mit modernen Kraftwerken und der Kraft-Wärme-Kopplung;
- Brennstoffwechsel: erneuerbare Energien und Erdgas statt Kohle und Öl („Fuel switch“). Der IPCC geht davon aus, dass erneuerbare Energien im Jahr 2030 mindestens einen Anteil von 30 bis 35 Prozent an der weltweiten Stromversorgung haben können.

⁴ CH₄ = Methan, SF₆ = Schwefelhexafluorid, H-FKW = teilfluorierte Kohlenwasserstoffe, FKW = vollfluorierte Kohlenwasserstoffe

⁵ Neben energiebedingten CO₂-Emissionen gibt es auch prozessbedingte CO₂-Emissionen. Diese entstehen bei chemischen Umsetzungsprozessen vornehmlich in der Industrie, z.B. bei der Reduktion von Eisenoxid zu Eisen mit Hilfe von Kohle-Brennstoffen oder dem Brennen des Rohstoffes Kalkstein (Calciumcarbonat) zu Brandtkalk (Calciumoxid). In Deutschland machen prozessbedingte CO₂-Emissionen etwa 10 Prozent der gesamten CO₂-Emissionen aus, weltweit dürfte dieser Betrag niedriger liegen als im hochindustrialisierten Deutschland.

Der IPCC nennt auch die Kernenergie als mögliche Emissionsminderungsoption. Jedoch schränkt er diese Option mit dem Hinweis deutlich ein, dass die Gefahr von Reaktorunfällen, die Weiterverbreitung von Atomwaffen und das ungelöste Entsorgungsproblem für radioaktive Abfälle verbleiben. Der vom IPCC als „technisch maximal möglich“ beurteilte Ausbau der Kernenergie würde dazu führen, dass - bei einem im Vergleich zu 2005 verdoppelten Weltstromverbrauch im Jahr 2030 - der relative Anteil der Kernenergie von heute 16 Prozent auf dann 18 Prozent der Stromerzeugung steigen könnte. Dieser sehr begrenzte Beitrag zum Klimaschutz würde erfordern, die Zahl der Atomreaktoren auf der Welt von heute 442 auf etwa 945 im Jahr 2030 zu steigern. Wegen der Außerbetriebnahme alter Reaktoren wäre für diese Steigerung der Bau von circa 650 neuen Reaktoren notwendig. Das UBA hält die daraus entstehenden massiven Umwelt- und Sicherheitsprobleme für nicht akzeptabel - und den Rückgriff auf die Kernenergie zudem für überflüssig. Es gibt ausreichend Möglichkeiten, die 2°C-Grenze ohne Kernenergie einzuhalten. Und zwar vor allem mit einer drastisch steigenden Energieeffizienz und dem schnelleren Ausbau der erneuerbaren Energien.

6.2 Kosten von Klimaschutzmaßnahmen

Im Jahr 2030 betragen die gesamtwirtschaftlichen Minderungen durch die Klimaschutzmaßnahmen in IPCC-Kategorie I weniger als 3 Prozent des globalen Bruttoinlandsprodukts (GDP - Gross Domestic Product). Diese Kosten ergeben sich beim Vergleich mit einer Referenzentwicklung ohne Klimaschutz und ohne jeglichen Klimawandel.⁶

Der Wert von 3 Prozent ist das Ergebnis eines Modells, das wesentlich höhere Kosten zeigt als der Rest der Modelle in Kategorie I; also eine konservative Schätzung. Die meisten Studien der Kategorie I geben Kosten zwischen 0 und 2 Prozent des GDP an. Dies entspricht einem CO₂-Preis zwischen 50 und 100 Dollar/Tonne vermiedenes CO₂.

Die Minderung des GDP-Wertes ist nicht zu verwechseln mit einer Minderung des GDP-Wachstums um diesen Betrag. So entspricht die Minderung des GDP im Jahr 2030 um drei Prozent gegenüber dem Referenzwert einer Verminderung des jährlichen GDP-Wachstums um weniger als 0,12 Prozent bis zu diesem Zeitpunkt. Insgesamt kommt es in den Szenarios der Kategorie I - trotz der Kosten des ambitionierten Klimaschutzes - weiterhin zu einem starken weltweiten Wirtschaftswachstum.⁷ Bei einem jährlichen Wachstum von 3,6 Prozent läge das weltweite GDP im Jahr 2030 ohne die Kosten des Klimaschutzes inflationsbereinigt bei 242 Prozent des Wertes von 2005. Mit den oben genannten Kosten von 3 Prozent Minderung des GDP im Jahr 2030 ergibt sich für 2030 also ein Wert von 235 Prozent. Vor

⁶ Vgl. Kapitel 5.3 in: Umweltbundesamt (2007): Ökonomische Bewertung von Umweltschäden: Methodenkonvention zur Schätzung externer Umweltkosten. Dessau, 2007.

http://www.umweltbundesamt.de/uba-info-medien/mysql_medien.php?anfrage=Kennummer&Suchwort=3193

⁷ Die SRES-A1-Referenzszenarien des IPCC gehen für den Zeitraum 1990-2050 von einem jährlichen Wachstum (Berechnung mit „constant prices, market exchange rates“) von durchschnittlich 3,6 Prozent aus - dies entspricht genau den Werten, die der Weltwährungsfonds (IMF) im World Economic Outlook für die Jahre 2004 bis 2007 angibt.

diesem Hintergrund erscheinen die maximalen Klimaschutzkosten in Höhe von drei Prozent als niedrige und lohnende Investition.

Das UBA geht auf der Grundlage verschiedener Studien^{8,9,10,11} davon aus, dass mit dem konsequenten Ausbau effizienter Energietechnik und erneuerbarer Energien die Kosten tatsächlich geringer sein werden, als im IPCC-Bericht dargestellt – auch wegen der zu erwartenden Kostensenkungen in Folge des technischen Fortschritts, den so genannten technologischen Lernkurven.

Auch der IPCC stellt klar, dass die angegebenen Kosten in einer volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung noch signifikant sinken, falls

- eine aktive Klimaschutzpolitik den technischen Wandel stimuliert (induced technological change), indem sie etwa Einnahmen aus einer CO₂-Steuer direkt in die Entwicklung klimafreundlicher Energien und Techniken investieren würde;
- andere Vorteile der Klimaschutzmaßnahmen berücksichtigt würden, vor allem geringere Gesundheitskosten als Folge einer niedrigeren Luftverschmutzung, erhöhte Energieversorgungssicherheit, eine ausgeglichene Handelsbilanz, mehr wertschöpfungsstarke Arbeitsplätze sowie eine erhöhte landwirtschaftliche Produktion aufgrund niedrigerer troposphärischer Ozonkonzentrationen.

Im Jahr 2050 betragen die Minderungen des GDP in IPCC-Kategorie I maximal 5,5 Prozent, und in den meisten Studien zwei bis drei Prozent des globalen GDP. Der maximale Wert von 5,5 Prozent im Jahr 2050 entspricht auch langfristig einer Verminderung des jährlichen GDP-Wachstums um weniger als 0,12 Prozent. Mit den oben genannten Zahlen zum wirtschaftlichen Wachstum ergäbe sich also bis 2050 statt eines jährlichen Wachstums von 3,6 Prozent eine Rate von mindestens 3,48 Prozent.

7. Internationale Verteilung der Emissionsminderungen

Der IPCC gibt – analog zu seinen Richtlinien – keine Empfehlung, wie die global notwendige Minderung der Treibhausgasemissionen auf die verschiedenen Staaten aufgeteilt werden sollte. Globale Gerechtigkeit stellt der IPCC aber als wichtiges Ziel heraus. Das UBA vertritt die Position, dass die Industriestaaten wegen ihrer wirtschaftlichen Spielräume bis zum Jahr 2050 mit einer eigenen Emissionsminderung von 80 Prozent (also auf ein Niveau von 20 Prozent ihrer Werte von 1990) zu einer globalen THG-Emissionsminderung von durchschnittlich 50 Prozent der 1990er-Werte beitragen sollten.

⁸ Krewitt et al.: The 2°C scenario - A sustainable world energy perspective. Energy Policy (2007)

⁹ WBGU (2003): Über Kioto hinaus denken - Klimaschutzstrategien für das 21. Jahrhundert. Berlin, 2003.
http://www.wbgu.de/wbgu_sn2003.html

¹⁰ Edenhofer et al. (eds) (2006): Endogenous Technological Change and the Economics of Atmospheric Stabilisation. A Special Issue of The Energy Journal, Vol. 27, International Association of Energy Economics, USA.

http://www.pik-potsdam.de/members/edenh/publications-1/ej_imcp_special_issue.pdf

¹¹ BMU (2007): Leitstudie 2007 "Ausbaustategie Erneuerbare Energien" Aktualisierung und Neubewertung bis zu den Jahren 2020 und 2030 mit Ausblick bis 2050.

<http://www.bmu.bund.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/leitstudie2007.pdf>

8. Emissionsreduzierung in Deutschland um 40 Prozent bis 2020

Deutschland senkte seine Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2005 bereits um mehr als 18 Prozent. Daher ist eine Reduzierung der THG-Emissionen um 40 Prozent bis zum Jahr 2020 ein ehrgeiziges, aber erreichbares Ziel auf dem Weg, die THG-Emissionen bis 2050 um 80 Prozent zu senken. Das UBA entwickelte für Deutschland ein Klimaschutz-Szenario, mit dem sich die Emissionen bis 2020 um 40 Prozent senken lassen.¹²

Die im IPCC-Bericht genannten Maßnahmen spielen auch hier eine wichtige Rolle. Die Kosten für dieses 40 Prozent-Szenario in Deutschland liegen aber deutlich unter den oben genannten Zahlen des IPCC, nämlich bei maximal 0,5 Prozent des Bruttoinlandsproduktes oder 11 Milliarden Euro jährlich im Jahr 2020. Das sind weniger als 25 Euro pro Haushalt und Monat. Das UBA erwartet dabei weitere Kostensenkungen bei emissionssparenden Techniken, besonders bei den erneuerbaren Energien.

Zudem kommt das UBA-Szenario ohne die Nutzung der Kernenergie aus. Energieeffizienz und erneuerbare Energien sowie eine starke Substitution der Kohle durch das klimafreundlichere Gas können diese Lücke schließen. Weitere Studien zeigen, dass auch eine Emissionsminderung um 80 Prozent bis 2050 technisch möglich und vor allem wirtschaftlich machbar ist.^{13, 14} Die beiden wichtigsten Voraussetzungen, um dies zu erreichen, sind eine Halbierung des Primärenergieverbrauches und der Ausbau der erneuerbaren Energien auf 50 Prozent der Energieversorgung.

Weiterführende Informationen gibt es unter:

<http://www.de-ipcc.de/>

<http://www.umweltbundesamt.de/klimaschutz/index.htm>

<http://www.umweltbundesamt.de/energie/index.htm>

¹² Umweltbundesamt (2007): Klimaschutz in Deutschland: 40 Prozent - Senkung der CO₂- Emissionen bis 2020 gegenüber 1990. Reihe „Climate Change“ Nr. 5/2007

<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3235.pdf>

¹³ Enquete-Kommission (2002), Endbericht an die Enquete-Kommission, „Nachhaltige Energieversorgung unter den Bedingungen der Globalisierung und der Liberalisierung“, Bundestagsdrucksache 14/9400 vom 7.7.2002

¹⁴ Umweltbundesamt (2002): Endbericht zum Forschungsprojekt „Langfristszenarien für eine nachhaltige Energienutzung in Deutschland“. Reihe „Climate Change“ Nr. 01/2002 und 02/2002