Klimaänderung 2007

I. Wissenschaftliche Grundlagen
II. Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten
III. Verminderung des Klimawandels

Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger

WMO

Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen
(Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC)

UNEP

Vierter Sachstandsbericht des IPCC (AR4)

Klimaänderung 2007: Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger

Deutsche Übersetzung herausgegeben von

sc | nat

ProClim–
Forum for Climate and Global Change
Forum of the Swiss Academy of Sciences

umweltbundesamt

deutsche IPCC koordinierungsstelle

Original herausgegeben von

Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen
(Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP)

Mitfinanziert durch:
Schweizerisches Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BAFU), www.bafu.admin.ch

Umweltbundesamt GmbH Österreich, www.umweltbundesamt.at

Bundesministerium für Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Umweltschutz und Wasserwirtschaft (BMLFUW), Österreich, www.lebensministerium.at

Deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), www.bmbf.de

Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), www.bmu.de

Greenpeace Deutschland, www.greenpeace.de

Original
Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP, www.ipcc.ch): Climate Change 2007, Summary for Policymakers

Als UN-Gremium publiziert das IPCC seine Berichte nur in den sechs offiziellen UN-Sprachen. Diese Übersetzung der Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger der drei Arbeitsgruppenberichte des IPCC-Berichts „Climate Change 2007" ist deshalb nicht eine offizielle Übersetzung durch das IPCC. Sie wurde von ProClim- (Schweiz), dem österreichischen Umweltbundesamt und der deutschen IPCC-Koordinationsstelle gemeinsam erstellt mit dem Ziel, die im Originaltext verwendete Sprache möglichst angemessen wiederzugeben.

Übersetzung und Layout
Übersetzung: Carola Best, Gregor Laumann, Urs Neu, Katja Pazdernik, Klaus Radunsky, Brigitte Read, Jens Tambke;

unter Mitarbeit von Karin Kartschall, Petra Mahrenholz, Axel Michaelowa, Pauline Midgley, Annette Münzenberg, Thomas Stocker, Esther Thalmann.

Layout: Esther Thalmann und Gabriele Müller-Ferch.

Herausgeber und Vertrieb
Zusätzliche Kopien der vorliegenden deutschen Fassung sind erhältlich:

- in der Schweiz von ProClim (Schwarztorstr. 9, CH-3007 Bern; Fax +41 (0)31 328 23 20, e-mail: proclim@scnat.ch), sFr. 25.-;
- in Österreich vom Umweltbundesamt GmbH (Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, Tel: +43 1 31304 3260, publikationen@umweltbundesamt.at), €25;
- in Deutschland von der deutschen IPCC-Koordinierungsstelle (Universität Stuttgart, Hessbrühlstr. 49a, D-70565 Stuttgart; Fax +49 (0)711 685 87873; e-mail: info@de-ipcc.de).

Übersetzungen sind ebenfalls in allen UNO-Sprachen (arabisch, englisch, französisch, russisch, spanisch) erhältlich, in unterschiedlicher Zusammenstellung der einzelnen Dokumente. Sie können beim IPCC-Sekretariat (7 bis, Avenue de la Paix, CH-1211 Geneva 2) bezogen werden.

Bern/Wien/Berlin, September 2007

ISBN-Nummer: 978-3-907630-28-0

Titelbild
Teile der blau-marmornen westlichen und östlichen Hemisphären. Diese Bilder verflechten Land, Ozean, Meereis und Wolkein in ein visuelles Abbild des Klimasystems der Erde. Sie basieren auf aus dem Weltraum gewonnenen Erdbeobachtungsdaten des NASA-MODIS (MODerate resolution Imaging Spectroradiometer)-Sensors auf den TERRA- und AQUA-Satelliten. Diese Bilder sind Teil des Blau-Marmor-Datensatzes, der auf http://bluemarble.nasa.gov frei zur Verfügung steht. Sie sind ausführlicher beschrieben in: Stöckli, R., Vermote, E., Saleous, N., Simmon, R., and Herring, D. (2006): Echtfarben-Erddatensätze umfassen die saisonale Dynamik. EOS, 87(5):49, 55

Inhalt

Vorwort IV

Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger

Wissenschaftliche Grundlagen (Arbeitsgruppe I) ***1***

Einleitung 2
Menschliche und natürliche Antriebskräfte der Klimaänderung 2
Direkte Beobachtung neuester Klimaänderungen 5
Eine paläoklimatische Perspektive 9
Verständnis und Zuordnung der Klimaänderung 10
Projektionen zukünftiger Änderungen des Klimas 12
Emissions-Szenarien 18

Auswirkungen, Anpassung und Verwundbarkeiten (Arbeitsgruppe II) ***19***

Einführung 20
Derzeitiger Kenntnisstand über beobachtete Auswirkungen der Klimaänderung auf die natürliche und menschliche Umwelt 20
Derzeitiger Kenntnisstand über künftige Auswirkungen 24
Derzeitiger Kenntnisstand zu Reaktionen auf Klimaänderungen 35
Systematischer Beobachtungs- und Forschungsbedarf 37

Verminderung des Klimawandels (Arbeitsgruppe III) ***41***

Einleitung 42
Entwicklung der Treibhausgasemissionen 42
Kurz- und mittelfristige Emissionsminderung (bis 2030) 48
Langfristige Emissionsminderung (nach 2030) 57
Politik, Maßnahmen und Instrumente für den Klimaschutz 61
Nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz 65
Wissenslücken 66

Autoren der Zusammenfassungen 69

Glossar 71

Abkürzungen, Akronyme, chemische Symbole, Einheiten 89

Vorwort

(Auszug aus den Vorwörtern von M. Jarraud, Generalsekretär der Welt-Meteorologie-Organisation WMO, und A. Steiner, Geschäftsführer des UNO-Umweltprogramms, zu den drei Teilberichten)

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) wurde gemeinsam von der Welt-Meteorologie-Organisation (WMO) und dem Umwelt-Programm der Vereinten Nationen (UNEP) gegründet mit der Aufgabe, eine verbindliche internationale Erklärung zum wissenschaftlichen Verständnis der Klimaänderung zu verfassen. Die periodischen Sachstandsberichte des IPCC zu den Ursachen und Auswirkungen sowie von möglichen Reaktionsstrategien auf die Klimaänderung sind die umfassendsten und aktuellsten verfügbaren Berichte zu diesem Thema. Sie bilden weltweit die Standardreferenz für alle mit der Klimaänderung beschäftigten Hochschulen, Regierungen und Industrien. In drei Arbeitsgruppen beurteilen viele Hunderte von Experten die Klimaänderung in diesem Vierten Sachstandsbericht. Der IPCC führt keine neue Forschung durch, sondern erarbeitet politisch relevante Beurteilungen der existierenden weltweiten Literatur zu den wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Aspekten der Klimaänderung.

Der vierte Sachstandsbericht (AR4) besteht aus den Berichten der drei Arbeitsgruppen I,II und III des IPCC.

- Band I („Wissenschaftliche Grundlagen“) konzentriert sich auf diejenigen Aspekte des aktuellen Verständnisses des physikalischen Wissens zur Klimaänderung, das als für politische Entscheidungsträger am sachdienlichsten eingeschätzt wird. Er besteht aus 11 Kapiteln, welche die Fortschritte in der Klimawissenschaft, die Änderungen der klimarelevanten atmosphärischen Bestandteile, die ausgedehnten zur Verfügung stehenden Beobachtungen am Boden und in der Atmosphäre, die Entwicklung des Klimas in der Vergangenheit, die Erkennung und Zuordnung von menschlichen Einflüssen auf die jüngste Klimaentwicklung, den Einsatz von Modellen für die Simulation des Klimas sowie Projektionen der Entwicklung des zukünftigen globalen und regionalen Klimas beschreiben.

- Band II („Auswirkungen, Anpassung und Verletzlichkeit“) ist auf die Umwelt-, sozialen und ökonomischen Folgen der Klimaänderung und mögliche Anpassungsmaßnahmen ausgerichtet. Er besteht aus 19 Kapiteln und behandelt die Empfindlichkeit, Anpassungsfähigkeit und Verwundbarkeit von natürlichen und sozioökonomischen Systemen bezüglich der Klimaänderung sowie die möglichen Folgen und Anpassungsmöglichkeiten auf regionaler und globaler Ebene.

- Band III („Verminderung der Klimaänderung“) besteht aus 13 Kapiteln und befasst sich mit kurz- und langfristigem Klimaschutz in den Sektoren Energie, Verkehr, Gebäude, Industrie, Land- und Forstwirtschaft und Abfall, mit den Zusammenhängen zwischen Klimaschutz und nachhaltiger Entwicklung sowie mit politischen Anstrengungen, Maßnahmen und Instrumenten für den Klimaschutz.

Die Erarbeitung dieser Berichte wurde durch das Engagement und die freiwillige Arbeit der führenden Klimaforschenden in der ganzen Welt ermöglicht. Wir möchten allen Koordinierenden Hauptautoren, Hauptautoren, mitwirkenden Autoren, begutachtenden Editoren und Begutachtern unseren Dank aussprechen. Wir möchten dem Mitarbeiterstab der technischen Unterstützungseinheiten der drei Arbeitsgruppen und dem IPCC-Sekretariat für ihren Einsatz bei der Koordination der Erarbeitung eines weiteren erfolgreichen IPCC-Berichts danken.

Zahlreiche Regierungen haben die Beteiligung ihrer Wissenschafter im IPCC-Prozess unterstützt und haben zum IPCC-Treuhänderfonds für die wichtige Beteiligung von Wissenschaftern aus Entwicklungs- und Schwellenländern beigetragen. Die Regierungen von Italien, China, Neuseeland und Norwegen haben die Arbeitssitzungen der Arbeitsgruppe I in

ihren Ländern beherbergt, die Regierungen von Österreich, Australien, Mexiko und Südafrika die Arbeitssitzungen der Arbeitsgruppe II, die Regierungen von Deutschland, Peru, China und Neuseeland die Arbeitssitzungen der Arbeitsgruppe III. Die französische Regierung hat die Abschlusssitzung der Arbeitsgruppe I organisiert, die belgische Regierung die Abschlusssitzung der Arbeitsgruppe II und die thailändische Regierung die Abschlusssitzung der Arbeitsgruppe III. Den Regierungen der USA, Grossbritannien und der Niederlande danken wir für die Finanzierung der technischen Unterstützungseinheiten der Arbeitsgruppen I, II bzw. III.

Wir möchten Dr. Rajendra Pachauri, dem Vorsitzenden des IPCC, für seine einwandfreie Leitung und unermüdliche und kompetente Führung des IPCC danken, sowie Dr. Susan Solomon und Prof. Dahe Qin, den Co-Vorsitzenden der Arbeitsgruppe I, Prof. Martin Perry und Dr. Osvaldo Canziani, den Co-Vorsitzenden der Arbeitsgruppe II und Dr. Bert Metz und Prof. Ogunlade Davidson (Sierra Leone), den Co-Vorsitzenden der Arbeitsgruppe III für die fachkundige Leitung ihrer Arbeitsgruppen während der Erarbeitung dieses Berichtes.

Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen

Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)

Autoren

Richard B. Alley, Terje Berntsen, Nathaniel L. Bindoff, Zhenlin Chen, Amnat Chidthaisong, Pierre Friedlingstein, Jonathan M. Gregory, Gabriele C. Hegerl, Martin Heimann, Bruce Hewitson, Brian J. Hoskins, Fortunat Joos, Jean Jouzel, Vladimir Kattsov, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Mario Molina, Neville Nicholls, Jonathan Overpeck, Dahe Qin, Graciela Raga, Venkatachalam Ramaswamy, Jiawen Ren, Matilde Rusticucci, Susan Solomon, Richard Somerville, Thomas F. Stocker, Peter A. Stott, Ronald J. Stouffer, Penny Whetton, Richard A. Wood, David Wratt

Autoren von Beiträgen

J. Arblaster, G. Brasseur, J.H. Christensen, K.L. Denman, D.W. Fahey, P. Forster, E. Jansen, P.D. Jones, R. Knutti, H. Le Treut, P. Lemke, G. Meehl, P. Mote, D.A. Randall, D.A. Stone, K.E. Trenberth, J. Willebrand, F. Zwiers

Einleitung

Der Beitrag der Arbeitsgruppe I zum Vierten Sachstandsbericht des IPCC beschreibt die Fortschritte im Verständnis der anthropogenen und natürlichen Antriebskräfte der Klimaänderung,[1] der beobachteten Änderung des Klimas, von Klimaprozessen und deren Zuordnung und der Abschätzung der projizierten zukünftigen Klimaänderung. Er baut auf vergangenen IPCC Sachstandsberichten auf und integriert neue Erkenntnisse aus der Forschung der vergangenen sechs Jahre. Der Fortschritt in der Wissenschaft seit dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) basiert auf einer grossen Menge von neuen und umfassenderen Daten, einer verfeinerten Datenauswertung, einem verbesserten Verständnis der Prozesse und deren Nachbildung in Modellen und einer ausführlicheren Untersuchung von Unsicherheitsbereichen.
Die Grundlagen wesentlicher Abschnitte in dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger sind in den in geschweiften Klammern angegebenen Kapitelpassagen enthalten.

Menschliche und natürliche Antriebskräfte der Klimaänderung

Änderungen in der atmosphärischen Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen, der Sonneneinstrahlung und der Beschaffenheit der Landoberfläche verändern die Energiebilanz des Klimasystems. Diese Änderungen werden in Form des Strahlungsantriebs[2] ausgedrückt, mit dessen Hilfe die wärmenden und kühlenden Einflüsse einer Anzahl von menschlichen und natürlichen Antrieben auf das globale Klima verglichen werden. Seit dem dritten Sachstandsbericht (TAR) haben neue Beobachtungen und damit verbundene Modellrechnungen von Treibhausgasen, Sonnenaktivität, Eigenschaften der Bodenoberfläche und einiger Aspekte von Aerosolen zu einer Verbesserung der quantitativen Abschätzungen des Strahlungsantriebs geführt.

Die globalen atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas sind als Folge menschlicher Aktivitäten seit 1750 markant gestiegen und übertreffen heute die aus Eisbohrkernen über viele Jahrtausende bestimmten vorindustriellen Werte bei Weitem (siehe Abbildung SPM.1). Der weltweite Anstieg der Kohlendioxidkonzentration ist primär auf den Verbrauch fossiler Brennstoffe und auf Landnutzungsänderungen zurückzuführen, während derjenige von Methan und Lachgas primär durch die Landwirtschaft verursacht wird. {2.3, 6.4, 7.3}

- Kohlendioxid ist das wichtigste anthropogene Treibhausgas (siehe Abbildung SPM.2). Die globale atmosphärische Kohlendioxidkonzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm auf 379 ppm[3] im Jahre 2005 angestiegen. Die atmosphärische Kohlendioxidkonzentration im Jahre 2005 übertrifft die aus Eisbohrkernen bestimmte natürliche Bandbreite der letzten 650'000 Jahre (180 bis 300 ppm) bei Weitem. Die jährliche Wachstumsrate der Kohlendioxidkonzentration war in den letzten 10 Jahren (Durchschnitt 1995–2005: 1,9 ppm pro Jahr) größer als in der Zeit seit Beginn der kontinuierlichen direkten atmosphärischen Messungen (Durchschnitt 1960–2005: 1,4 ppm pro Jahr), auch wenn die Wachstumsrate von Jahr zu Jahr schwankt. {2.3, 7.3}

- Die Hauptquelle der erhöhten atmosphärischen Kohlendioxidkonzentration seit der vorindustriellen Zeit ist der Verbrauch fossiler Brennstoffe, wobei Landnutzungsänderungen einen weiteren signifikanten, aber kleineren Beitrag liefern. Die jährlichen fossilen Kohlendioxidemissionen[4] stiegen von durchschnittlich 6.4 [6,0 bis 6,8][5] GtC (23,5 [22,0 bis 25,0] $GtCO_2$) pro Jahr in den 1990er Jahren auf 7,2 [6,9 bis 7,5] GtC (26,4 [25,3 bis 27,5] $GtCO_2$) pro Jahr von 2000–2005 (2004- und 2005-Daten sind vorläufige Schätzungen). Die mit Landnutzungsänderungen verbundenen Kohlen-

[1] *Klimaänderung* bezieht sich im Sprachgebrauch des IPCC auf jegliche Klimaänderung im Verlauf der Zeit, sei es aufgrund natürlicher Schwankungen oder als Folge menschlicher Aktivitäten. Dieser Gebrauch unterscheidet sich von demjenigen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, wo unter Klimaänderung eine Änderung des Klimas verstanden wird, die direkt oder indirekt menschlichen Aktivitäten, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, zugeordnet werden kann und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommt.

[2] Der *Strahlungsantrieb* ist ein Maß für den Einfluss, den ein Faktor auf die Änderung des Gleichgewichts von einfallender und abgehender Energie im System Erde-Atmosphäre hat, und ist ein Index für die Bedeutung eines Faktors als potentieller Mechanismus einer Klimaänderung. Ein positiver Antrieb führt tendenziell zur Erwärmung der Erdoberfläche während ein negativer Antrieb tendenziell zu einer Abkühlung führt. In diesem Bericht sind die Werte für den Strahlungsantrieb für das Jahr 2005, bezogen auf vorindustrielle Werte im Jahr 1750, definiert und werden in Watt pro Quadratmeter (Wm–2) ausgedrückt. Siehe Glossar und Kapitel 2.2 für weitere Details

[3] ppm (Teile pro Million) oder ppb (Teile pro Milliarde) ist das Verhältnis der Anzahl von Treibhausgasmolekülen zur Gesamtzahl der Moleküle in trockener Luft. 300 ppm bedeutet zum Beispiel 300 Treibhausgasmoleküle pro Million Moleküle trockener Luft.

[4] Fossile Kohlendioxidemissionen beinhalten diejenigen aus Produktion, Verteilung und Verbrauch von fossilen Brennstoffen sowie als Nebenprodukt der Zementproduktion. Die Emission von 1 GtC entspricht 3,67 $GtCO_2$.

[5] Im Allgemeinen werden Unsicherheitsbereiche von Ergebnissen in dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, sofern nicht anderweitig deklariert, als 90%-Unsicherheits-Intervalle angegeben 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 der Wert unterhalb dieses Bereichs liegen könnte. Ein bester Schätzwert ist aufgeführt sofern vorhanden. Die geschätzten Unsicherheitsintervalle sind nicht immer symmetrisch zum entsprechenden besten Schätzwert. Es ist zu beachten, dass eine Anzahl von Unsicherheitsbereichen im TAR der Arbeitsgruppe I auf der Basis von Expertenbeurteilung einem 2-Standardabweichungs-Bereich (95%) entsprachen.

Änderungen der Treibhausgase basierend auf Eisbohrkernen und modernen Daten

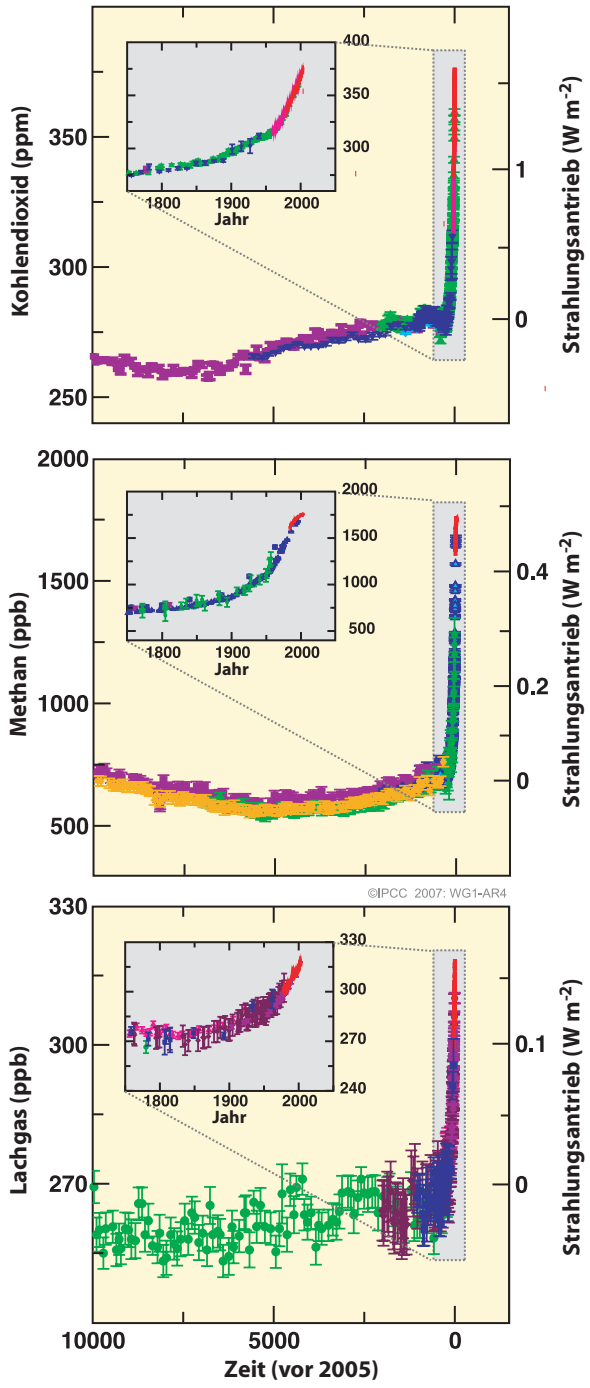


ABBILDUNG SPM.1. *Atmosphärische Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas in den letzten 10'000 Jahren (große Grafiken) und seit 1750 (eingefügte Grafiken). Dargestellt sind Messungen aus Eisbohrkernen (Symbole mit verschiedenen Farben für unterschiedliche Studien) und atmosphärischen Proben (rote Linien). Die entsprechenden Strahlungsantriebe sind auf der rechten Achse der großen Grafiken angegeben. {Abbildung 6.4}*

dioxidemissionen werden auf 1,6 [0,5 bis 2,7] GtC (5,9 [1,8 bis 9,9] $GtCO_2$) pro Jahr in den 1990er Jahren geschätzt, wobei diese Schätzungen große Unsicherheiten aufweisen. {7.3}

- Die globale atmosphärische Methan-Konzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 715 ppb auf 1732 ppb in den frühen 1990er Jahre gestiegen und liegt 2005 bei 1774 ppb. Die atmosphärische Methan-Konzentration im Jahr 2005 übertrifft die aus Eisbohrkernen bestimmte natürliche Bandbreite der letzten 650'000 Jahre (320 bis 790 ppb) bei Weitem. Die Wachstumsraten haben seit den frühen 1990er Jahren im Einklang mit den nahezu gleich gebliebenen gesamten Emissionen (Summe der anthropogenen und natürlichen Quellen) abgenommen. Es ist *sehr wahrscheinlich,*[6] dass der beobachtete Anstieg der Methan-Konzentration auf menschliche Aktivitäten, vor allem Landwirtschaft und Verbrauch fossiler Brennstoffe, zurückzuführen ist, aber die jeweiligen Beiträge von verschiedenen Quellentypen sind nicht gut bestimmt. {2.3, 7.4}

- Die globale atmosphärische Lachgas-Konzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 270 ppb auf 319 ppb im Jahr 2005 angestiegen. Die Wachstumsrate ist seit 1980 ungefähr konstant. Mehr als ein Drittel aller Lachgasemissionen sind anthropogen und primär durch die Landwirtschaft verursacht. {2.3, 7.4}

Das Verständnis der erwärmenden und kühlenden anthropogenen Einflüsse auf das Klima hat sich seit dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) verbessert und zu einem *sehr hohen Vertrauen* geführt[7], daß der globale durchschnittliche Netto-Effekt der menschlichen Aktivitäten seit 1750 eine Erwärmung war, mit einem Strahlungsantrieb von +1,6 [+0,6 bis +2,4] W m^{-2} (siehe Abbildung SPM.2). {2.3, 6.5, 2.9}

- Der gesamte Strahlungsantrieb aufgrund des Anstiegs von Kohlendioxid-, Methan- und Lachgas beträgt +2,30

[6] In dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger werden auf der Basis von Expertenbeurteilungen die folgenden Ausdrücke für die Bezeichnung der geschätzten Wahrscheinlichkeit von Ergebnissen oder Resultaten verwendet: *praktisch sicher* > 99% Eintrittswahrscheinlichkeit, *äußerst wahrscheinlich* > 95%, *sehr wahrscheinlich* > 90%, *wahrscheinlich* > 66%, *eher wahrscheinlich als nicht* > 50%, *unwahrscheinlich* < 33%, *sehr unwahrscheinlich* < 10%, *äußerst unwahrscheinlich* < 5%. (Siehe Kasten TS 1.1 für mehr Details).

[7] In dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger werden die folgenden Begriffe verwendet, um die Beurteilung der Richtigkeit der zugrunde liegenden Wissenschaft durch die Experten auszudrücken: *Sehr hohes Vertrauen:* Die Aussage ist in mindestens 9 von 10 Fällen richtig; *hohes Vertrauen:* Die Aussage ist in etwa 8 aus 10 Fällen richtig. (Siehe Kasten TS-1.1)

[+2,07 bis +2,53] W m^{-2}, und seine Wachstumsrate während des Industriezeitalters ist *sehr wahrscheinlich* seit über 10'000 Jahren beispiellos (siehe Abbildungen SPM.1 und SPM.2). Der Strahlungsantrieb durch Kohlendioxid ist zwischen 1995 und 2005 um 20% gewachsen, was die größte Änderung innerhalb eines Jahrzehnts während mindestens der letzten 200 Jahre darstellt. {2.3, 6.4}

- Die anthropogenen Beiträge zu den Aerosolen (vor allem Sulfat, organischer Kohlenstoff, Russ, Nitrat und Staub) erzeugen zusammengenommen einen kühlenden Effekt, mit einem gesamten direkten Strahlungsantrieb von -0,5 [-0,9 bis -0,1] W m^{-2} und einem indirekten Strahlungsantrieb durch die Albedo von Wolken von -0,7 [-1,8 bis -0,3] W m^{-2}. Diese Antriebe sind dank verbesserter Messungen *vor Ort*, Satelliten- und bodengestützter Messungen sowie umfassenderer Modellierungen nun besser verstanden als zur Zeit des TAR. Sie stellen jedoch weiterhin die dominierende Unsicherheit im Strahlungsantrieb dar. Aerosole beeinflussen auch die Lebensdauer von Wolken und die Niederschläge. {2.4, 2.9, 7.5}

- Mehrere weitere Quellen liefern signifikante anthropogene Beiträge zum Strahlungsantrieb. Änderungen des troposphärischen Ozons aufgrund der Emission von ozonbildenden Chemikalien (Stickstoffoxide,

Komponenten des Strahlungsantriebs

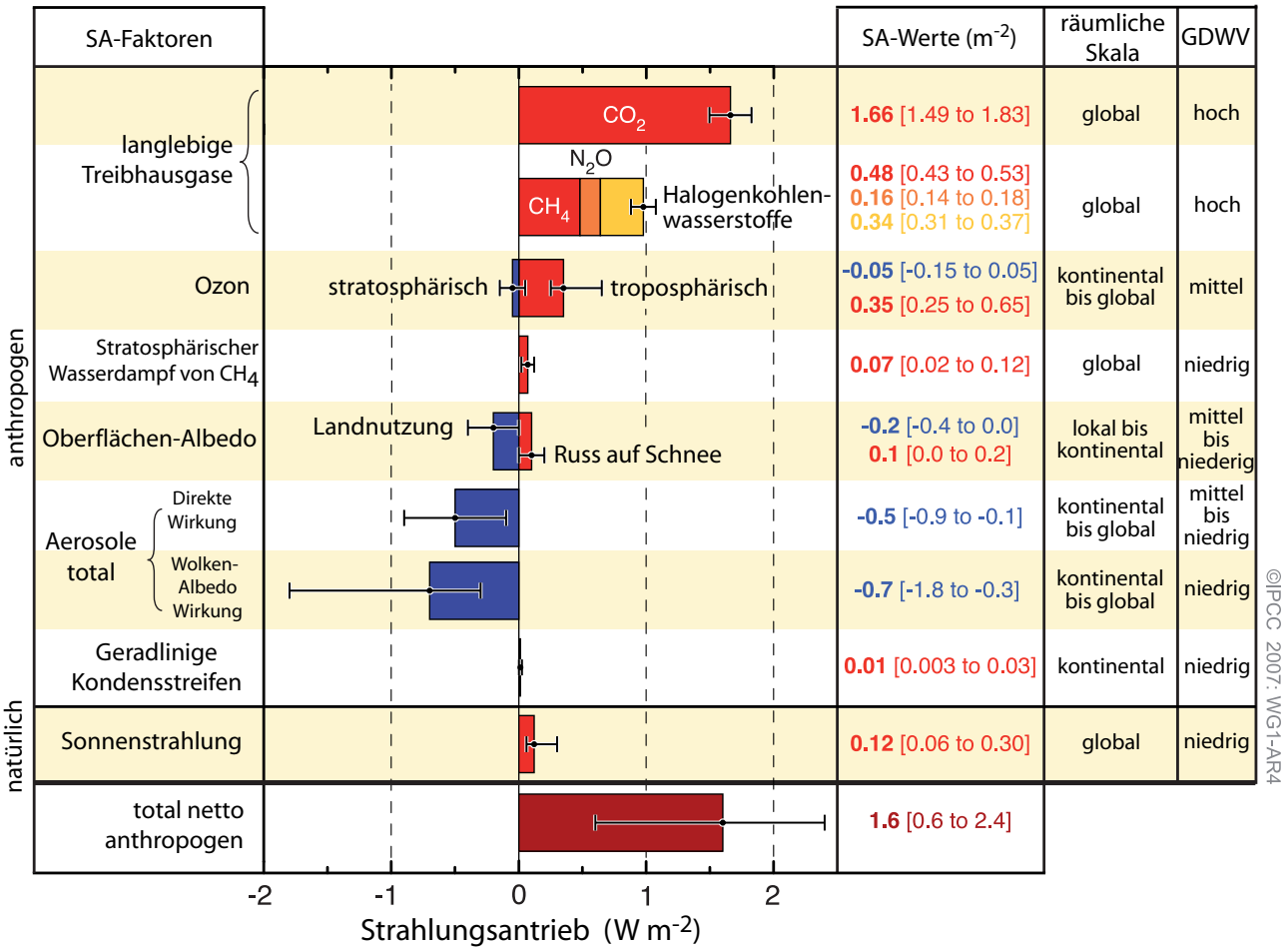


ABBILDUNG SPM.2. *Schätzungen und Bandbreiten des global gemittelten Strahlungsantriebs (SA) im Jahr 2005 für anthropogenes Kohlendioxid (CO_2), Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und andere wichtige Faktoren und Mechanismen, zusammen mit der typischen geographischen Ausdehnung (räumliche Skala) des Antriebs und der Beurteilung des Grades des wissenschaftlichen Verständnisses (GDWV). Der Nettobetrag und die Bandbreite des anthropogenen Strahlungsantriebs sind ebenfalls angeführt. Deren Berechnung benötigt die Summierung von asymmetrischen Unsicherheitsabschätzungen der einzelnen Faktoren und kann deshalb nicht durch einfache Addition durchgeführt werden. Für weitere hier nicht aufgeführte Strahlungsantriebe wird das GDWV als sehr niedrig eingeschätzt. Vulkanische Aerosole wirken als zusätzlicher natürlicher Antrieb, sind aber aufgrund ihres episodischen Charakters in dieser Abbildung nicht berücksichtigt. Der Bereich für geradlinige Kondensstreifen schließt andere mögliche Effekte des Luftverkehrs auf die Bewölkung nicht ein. {2.9, Abbildung 2.20}*

Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe) tragen +0,35 [+0,25 bis +0,65] W m^{-2} bei. Der direkte Strahlungsantrieb durch Veränderungen bei den Halogenkohlenwasserstoffen[8] beträgt +0,34 [+0,31 bis +0,37] W m^{-2}. Änderungen in der Albedo der Bodenoberfläche bedingt durch Änderungen in der Bodenbedeckung sowie die Ablagerung von Russpartikeln auf Schnee verursachen Antriebe von -0,2 [-0,4 bis 0,0] W m^{-2}, beziehungsweise +0,1 [0,0 bis +0,2] W m^{-2}. Weitere Beiträge kleiner als ±0,1 W m^{-2} sind in Abbildung SPM.2 aufgeführt. {2.3, 2.5, 7.2}

- Der seit 1750 durch Änderungen der Sonneneinstrahlung verursachte Strahlungsantrieb wird auf +0,12 [+0,06 bis +0,30] W m^{-2} geschätzt. Dies ist weniger als die Hälfte der im TAR aufgeführten Schätzung. {2.7}

Direkte Beobachtung neuester Klimaänderungen

Seit dem TAR wurden durch Verbesserungen und Erweiterungen zahlreicher Datensätze und Datenanalysen, durch breitere geographische Abdeckung, besseres Verständnis von Unsicherheiten und einer breiteren Auswahl von Messverfahren Fortschritte im Verständnis erreicht, wie sich das Klima in Raum und Zeit verändert. Seit den 1960er Jahren stehen zunehmend umfassendere Beobachtungen der Gletscher und der Schneebedeckungen sowie seit rund 10 Jahren der Meeresspiegelhöhe und der Eisschilder zur Verfügung. Trotzdem bleibt der Datenumfang in einigen Regionen begrenzt.

Die Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig, wie dies nun aufgrund der Beobachtungen des Anstiegs der mittleren globalen Luft- und Meerestemperaturen, des ausgedehnten Abschmelzens von Schnee und Eis und des Anstiegs des mittleren globalen Meeresspiegels offensichtlich ist (siehe Abbildung SPM.3). {3.2, 4.2, 5.5}

- Elf der letzten zwölf Jahre (1995–2006) gehören zu den zwölf wärmsten Jahren seit der instrumentellen Messung der globalen Erdoberflächentemperatur[9] (seit 1850). Der aktualisierte 100jährige lineare Trend (1906–2005) von 0,74 [0,56 bis 0,92] °C ist deshalb größer als der im TAR aufgeführte entsprechende Trend für 1901–2000 von 0,6 [0,4 bis 0,8] °C. Der lineare Erwärmungstrend über die letzten 50 Jahre (0,13 [0,10 bis 0,16] °C pro Jahrzehnt) ist fast zweimal so groß wie derjenige über die letzten 100 Jahre. Der gesamte Temperaturanstieg von 1850–1899 bis 2001–2005 beträgt 0,76 [0,57 bis 0,95] °C. Es existieren städtische Wärminsel-Effekte, sie sind aber lokal und haben einen vernachlässigbaren Einfluss (weniger als 0,006 °C pro Jahrzehnt über Land und Null über dem Ozean) auf diese Werte. {3.2}

- Neue Analysen von ballon- und satellitengestützten Temperaturmessungen in der unteren und mittleren Troposphäre zeigen ähnliche Erwärmungsraten wie die Aufzeichnungen der Erdoberflächentemperatur und stimmen im Rahmen der jeweiligen Unsicherheiten mit diesen überein. Damit wird eine im TAR festgehaltene Unstimmigkeit weitgehend ausgeräumt. {3.2, 3.4}

- Der durchschnittliche atmosphärische Wasserdampfgehalt ist mindestens seit den 1980er Jahren sowohl über dem Land und den Ozeanen als auch in der oberen Troposphäre angestiegen. Die Zunahme steht weitgehend im Einklang mit dem zusätzlichen Wasserdampf, den wärmere Luft aufnehmen kann. {3.4}

- Die Beobachtungen seit 1961 zeigen, dass die durchschnittliche Temperatur des Weltozeans bis in Tiefen von mindestens 3000 m angestiegen ist und dass der Ozean mehr als 80% der dem Klimasystem zugeführten Wärme absorbiert hat. Diese Erwärmung führt zu einer Ausdehnung des Meerwassers und trägt zum Anstieg des Meeresspiegels bei (Tabelle SPM.1). {5.2, 5.5}

- Gebirgsgletscher und Schneebedeckung haben im Mittel in beiden Hemisphären abgenommen. Die weit verbreitete Abnahme der Gletscher und Eiskappen hat zum Meeresspiegelanstieg beigetragen (Eiskappen schließen die Beiträge der grönländischen und antarktischen Eisschilde nicht mit ein) (siehe Tabelle SPM.1). {4.6, 4.7, 4.8, 5.5}

- Neue Daten seit dem TAR zeigen, dass die Verluste der Eisschilde in Grönland und der Antarktis *sehr wahrscheinlich* zum Meeresspiegelanstieg zwischen 1993 und 2003 beigetragen haben (Tabelle SPM.1). Die Fliessgeschwindigkeit einiger grönländischer und antarktischer Gletscher, die Eis aus dem Inneren der

[8] Der Strahlungsantrieb durch Halogenkohlenwasserstoffe wurde kürzlich im *IPCC-Sonderbericht über den Schutz der Ozonschicht und das globale Klimasystem* (2005) beurteilt.
[9] Der Durchschnitt der bodennahen Lufttemperatur über dem Land und der Meeresoberflächentemperatur.

Änderungen von Temperatur, Meeresspiegel und nordhemisphärischer Schneebedeckung

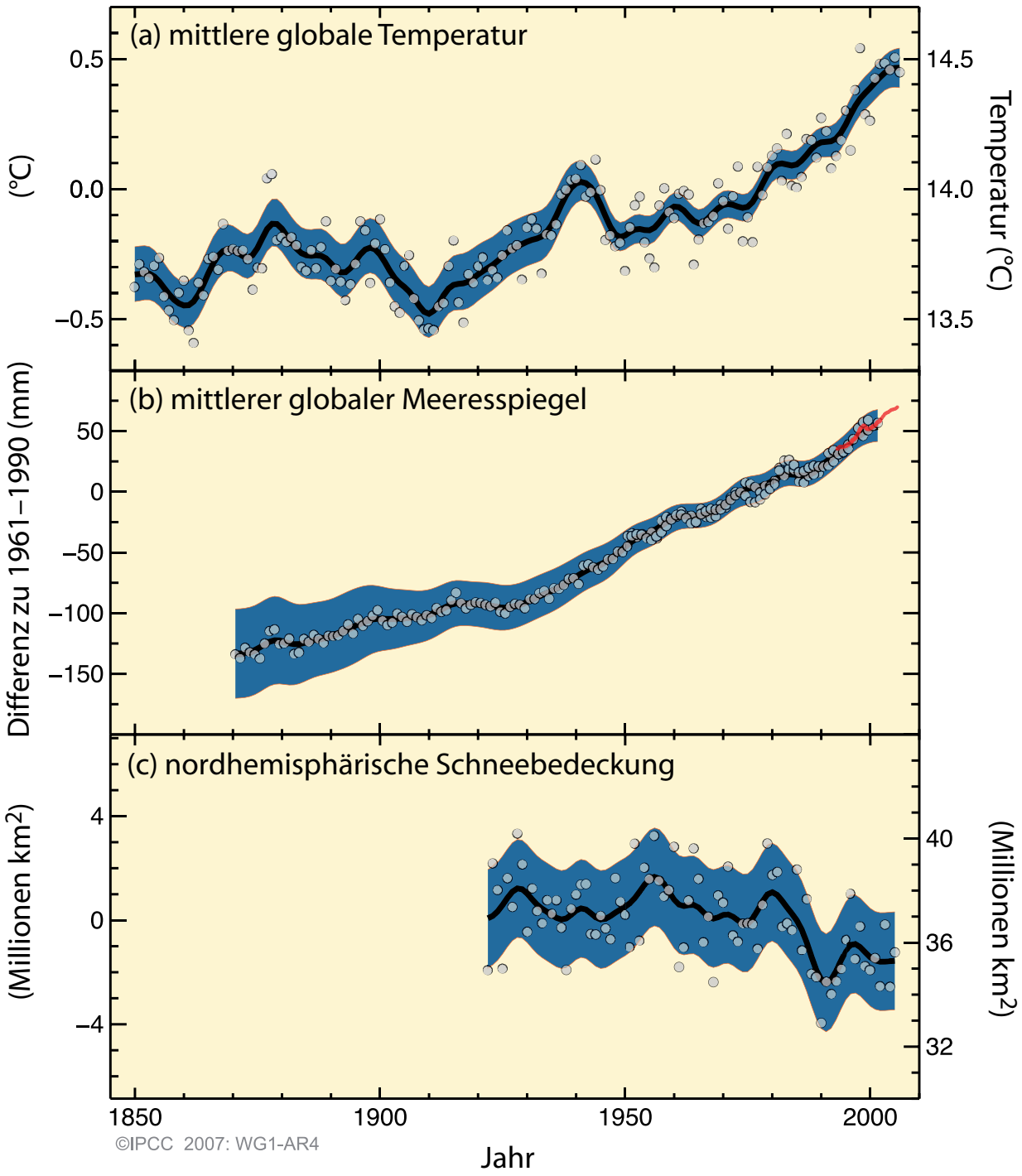


ABBILDUNG SPM.3. *Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur; (b) des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs aus Pegelmessungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April. Alle Änderungen beziehen sich auf das Mittel des Zeitraums 1961–1990. Die geglätteten Kurven repräsentieren die über ein Jahrzehnt gemittelten Werte, während Kreise die Jahreswerte darstellen. Die schattierten Flächen zeigen die geschätzten Unsicherheitsbereiche aufgrund einer umfangreichen Analyse bekannter Unsicherheiten (a und b) und aus den Zeitreihen (c). {FAQ 3.1, Abbildung 1, Abbildung 4.2 und Abbildung 5.13}*

Eisschilde ableiten (Auslassgletscher), ist angestiegen. Der damit verbundene Massenverlust der Eisschilder ist häufig auf die Ausdünnung, den Abbau oder den Verlust von Schelfeis oder den Verlust einer schwimmenden Gletscherzunge zurückzuführen. Ein solcher dynamischer Eisverlust reicht aus zur Erklärung des größten Teils des Netto-Massenverlustes in der Antarktis und ungefähr der Hälfte des Massenverlustes in Grönland. Der Rest des Massenverlustes in Grönland ist entstanden, weil die Verluste durch das Abschmelzen größer waren als der Zuwachs durch Schneefall. {4.6, 4.8, 5.5}

- Der mittlere globale Meeresspiegel ist von 1961 bis 2003 mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1.8 [1.3 bis 2.3] mm pro Jahr gestiegen. Die Geschwindigkeit war zwischen 1993 und 2003 mit ungefähr 3.1 [2.4 bis 3.8] mm pro Jahr größer. Es ist unklar, ob die größere Geschwindigkeit von 1993–2003 eine dekadische Schwankung oder eine Zunahme des langfristigen Trends widerspiegelt. Mit *hohem Vertrauen* hat die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs vom 19. zum 20. Jahrhundert zugenommen. Der gesamte Anstieg im 20. Jahrhundert beträgt geschätzte 0.17 [0.12 bis 0.22] m. {5.5}

- Die Summe der Klimabeiträge ist für 1993–2003 mit dem direkt beobachteten Meeresspiegelanstieg im Rahmen der Unsicherheiten im Einklang (siehe Tabelle SPM.1). Diese Schätzungen basieren auf nun vorhandenen verbesserten Satelliten- und Vor-Ort-Messungen. Für den Zeitraum von 1961 bis 2003 ist die Summe der geschätzten Klimabeiträge kleiner als der beobachtete Meeresspiegelanstieg. Der TAR enthielt eine ähnliche Unstimmigkeit für 1910 bis 1990. {5.5}

Auf der Skala von Kontinenten, Regionen und Ozeanbecken wurden zahlreiche langfristige Änderungen des Klimas beobachtet. Zu diesen gehören Änderungen der Temperaturen und des Eises in der Arktis sowie verbreitet Änderungen in den Niederschlagsmengen, im Salzgehalt der Ozeane, in Windmustern und bei Aspekten von extremen Wetterereignissen wie Trockenheit, Starkniederschlägen, Hitzewellen und der Intensität von tropischen Wirbelstürmen.[10] {3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 5.2}

- Die durchschnittlichen Temperaturen in der Arktis sind in den letzten 100 Jahren fast doppelt so schnell gestiegen wie im globalen Mittel. Die arktischen Temperaturen weisen eine hohe dekadische Variabilität auf, so wurde auch von 1925 bis 1945 eine warme Periode beobachtet. {3.2}

- Aus den Satellitendaten seit 1978 ist ersichtlich, dass die durchschnittliche jährliche Ausdehnung des

Tabelle SPM.1. *Beobachtete Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs und die geschätzten Beiträge verschiedener Quellen {5.5, Tabelle 5.3}*

Ursache des Meeresspiegelanstiegs	Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs (mm pro Jahr) 1961–2003	1993–2003
Thermische Ausdehnung	0.42 ± 0.12	1.6 ± 0.5
Gletscher und Eiskappen	0.50 ± 0.18	0.77 ± 0.22
Grönländischer Eisschild	0.05 ± 0.12	0.21 ± 0.07
Antarktischer Eisschild	0.14 ± 0.41	0.21 ± 0.35
Summe der individuellen Klimabeiträge zum Meeresspiegelanstieg	1.1 ± 0.5	2.8 ± 0.7
Beobachteter gesamter Meeresspiegelanstieg	1.8 ± 0.5[a]	3.1 ± 0.7[a]
Differenz (Beobachtungen minus die Summe der geschätzten Klimabeiträge)	0.7 ± 0.7	0.3 ± 1.0

Bemerkung:
[a] Daten vor 1993 stammen von Pegelstandsmessungen und nach 1993 aus der Satellitenaltimetrie.

[10] Tropische Wirbelstürme schliessen Hurrikane und Taifune ein.

arktischen Meereises um 2,7 [2,1 bis 3,3]% pro Jahrzehnt geschrumpft ist, wobei die Abnahme im Sommer mit 7,4 [5,0 bis 9,8]% pro Jahrzehnt größer ist. Diese Zahlen sind im Einklang mit denjenigen im TAR. {4.4}

- Die Temperaturen an der Obergrenze der Permafrostschicht sind in der Arktis seit den 1980er Jahren allgemein gestiegen (um bis zu 3 ºC). Die maximale Ausdehnung der Fläche mit saisonal gefrorenem Boden hat in der Nordhemisphäre seit 1990 um etwa 7% abgenommen, bei einer Abnahme von bis zu 15% im Frühjahr. {4.7}

- Für viele großräumige Regionen zeigen die Niederschlagsmengen langfristige Trends von 1900 bis 2005[11]. Signifikante Niederschlagszunahmen wurden in östlichen Teilen von Nord- und Südamerika, im Norden Europas und in Nord und Zentralasien beobachtet. Der Sahel, der Mittelmeerraum, das südliche Afrika und Teile von Südasien sind trockener geworden. Die Niederschläge schwanken räumlich und zeitlich sehr stark, und in einigen Regionen sind nicht genügend Daten vorhanden. In den anderen untersuchten großräumigen Regionen wurden keine langfristigen Trends beobachtet.[11] {3.3, 3.9}

Tabelle SPM.2. *Kürzliche Trends, Wissensstand bezüglich des menschlichen Einflusses auf den Trend und Projektionen für extreme Wetterereignisse, für die im 20. Jahrhundert ein Trend beobachtet wurde. {Tabellen 3.7, 3.8, 9.4, Abschnitte 3.8, 5.5, 9.7, 11.2–11.9}*

Phänomen[a] und Richtung des Trends	Wahrscheinlichkeit, dass ein Trend im späten 20. Jahrhundert (typischerweise nach 1960) auftrat	Wahrscheinlichkeit eines anthropogenen Beitrages zum beobachteten Trend[b]	Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Trends, basierend auf den Projektionen für das 21. Jahrhundert unter Verwendung der SRES-Szenarien
Wärmere und weniger kalte Tage und Nächte über den meisten Landflächen	*Sehr wahrscheinlich*[c]	*Wahrscheinlich*[d]	*Praktisch sicher*[d]
Wärmere und häufigere heisse Tage und Nächte über den meisten Landflächen	*Sehr wahrscheinlich*[e]	*Wahrscheinlich (Nächte)*[d]	*Praktisch sicher*[d]
Wärmeperioden / Hitzewellen. Zunahme der Häufigkeit über den meisten Landflächen	*Wahrscheinlich*	*Eher wahrscheinlich als nicht*[f]	*Sehr wahrscheinlich*
Starkniederschlagsereignisse. Die Häufigkeit (oder der Anteil der Starkniederschläge am Gesamtniederschlag) nimmt über den meisten Gebieten zu	*Wahrscheinlich*	*Eher wahrscheinlich als nicht*[f]	*Sehr wahrscheinlich*
Von Dürren betroffene Flächen nehmen zu	*Wahrscheinlich* in vielen Regionen seit 1970	*Eher wahrscheinlich als nicht*	*Wahrscheinlich*
Die Aktivität starker tropischer Wirbelstürme nimmt zu	*Wahrscheinlich* in vielen Regionen seit 1970	*Eher wahrscheinlich als nicht*[f]	*Wahrscheinlich*
Zunehmendes Auftreten von extrem hohem Meeresspiegel (ausgenommen Tsunamis)[g]	*Wahrscheinlich*	*Eher wahrscheinlich als nicht*[f,h]	*Wahrscheinlich*[i]

Bemerkungen:

[a] Siehe Tabelle 3.7 für weitere Details bezüglich Definitionen.

[b] Siehe Tabelle TS.4, Kasten TS.3.4 und Tabelle 9.4.

[c] Abnehmende Häufigkeit von kalten Tagen und Nächten (kälteste 10%).

[d] Erwärmung der extremsten Tage und Nächte jeden Jahres.

[e] Zunehmende Häufigkeit von heißen Tagen und Nächten (heißeste 10%).

[f] Die Größe der anthropogenen Beiträge wurde nicht untersucht. Die Zuordnung für diese Phänomene basiert mehr auf Experteneinschätzung als auf formellen Zuordnungsstudien.

[g] Extrem hohe Meeresspiegel hängen vom mittleren Meeresspiegel und regionalen Wettersystemen ab. Sie sind hier definiert als die höchsten 1% der stündlichen an einer Station beobachteten Meeresspiegel für einen bestimmten Bezugszeitraum.

[h] Änderungen in den beobachteten extrem hohen Meeresspiegeln folgen den Änderungen des mittleren Meeresspiegels sehr genau {5.5}. Es ist *sehr wahrscheinlich,* das menschliche Aktivitäten zum Anstieg des mittleren Meeresspiegels beigetragen haben. {9.5}

[i] Der projizierte mittlere globale Meeresspiegel für 2100 liegt in allen Szenarien höher als im Bezugszeitraum. {10.6} Die Auswirkungen von Veränderungen der regionalen Wettersysteme auf extreme Meeresspiegel wurde nicht untersucht.

[11] Die untersuchten Regionen entsprechen denjenigen des TAR-Kapitels über die regionalen Projektionen und des Kapitels 11 dieses Berichts.

- Der Salzgehalt im Wasser der mittleren und hohen Breiten nimmt ab, während er im Wasser der niedrigen Breiten zunimmt. Dies deutet auf Änderungen von Niederschlag und Verdunstung über den Ozeanen hin. {5.2}

- Die Westwinde in den mittleren Breiten sind in beiden Hemisphären seit den 1960er Jahren stärker geworden. {3.5}

- Seit den 1970er Jahren wurden insbesondere in den Tropen und Subtropen intensivere und länger andauernde Dürren über größeren Gebieten beobachtet. Zunehmende Austrocknung in Verbindung mit höheren Temperaturen und abnehmenden Niederschlägen hat zu diesen Veränderungen der Dürren beigetragen. Auch Änderungen der Meeresoberflächentemperatur (SST) und der Windmuster sowie die Abnahme der Schneemassen und Schneebedeckung wurden mit Dürren in Verbindung gebracht. {3.3}

- Die Häufigkeit von Starkniederschlagsereignissen hat über den meisten Landflächen zugenommen, im Einklang mit der Erwärmung und der beobachteten Zunahme des atmosphärischen Wasserdampfs. {3.8, 3.9}

- In den letzten 50 Jahren wurden weit verbreitete Änderungen bei den Temperaturextremen beobachtet. Kalte Tage, kalte Nächte und Frost sind weniger häufig geworden, während heiße Tage, heiße Nächte und Hitzewellen häufiger geworden sind (siehe Tabelle SPM.2). {3.8}

- Beobachtungen belegen eine zunehmende Aktivität starker tropischer Wirbelstürme im Nordatlantik seit ungefähr 1970, verbunden mit einem Anstieg der tropischen Meeresoberflächentemperaturen. Eine zunehmende Aktivität starker tropischer Wirbelstürme in einigen anderen Regionen, wo größere Bedenken bezüglich der Datenqualität bestehen, wird ebenfalls vermutet. Multidekadische Schwankungen und die Qualität der Aufzeichnungen von tropischen Wirbelstürmen vor den routinemäßigen Satellitenbeobachtungen ungefähr im Jahr 1970 erschweren die Erkennung von langfristigen Trends in der Aktivität tropischer Wirbelstürme. Es gibt keinen klaren Trend in der Anzahl tropischer Wirbelstürme pro Jahr. {3.8}

Bei einigen Klimaaspekten wurden keine Veränderungen beobachtet. {3.2, 3.8, 4.4., 5.3}

- Im TAR wurde von einer Abnahme des Temperaturtagesgangs berichtet, aber die vorhandenen Daten reichten damals nur von 1950 bis 1993. Auf den neuesten Stand gebrachte Beobachtungen zeigen, dass sich der Temperaturtagesgang von 1979 bis 2004 nicht verändert hat, da die Temperaturen sowohl während der Nacht als auch am Tag ungefähr gleich stark gestiegen sind. Die Trends variieren stark von einer Region zur anderen. {3.2}

- Die Ausdehnung des antarktischen Meereises zeigt weiterhin Schwankungen von Jahr zu Jahr sowie örtlich begrenzte Veränderungen, aber keine statistisch signifikanten mittlere Trends. Dies steht im Einklang mit den über die Region gemittelten atmosphärischen Temperaturen, die keinen Anstieg zeigen. {3.2, 4.4}

- Die Indizien für einen Trend in der thermohalinen Zirkulation des globalen Ozeans oder bei kleinskaligen Phänomenen wie Tornados, Hagel, Blitz oder Staubstürmen, sind ungenügend. {3.8, 5.3}

Eine paläoklimatische Perspektive

Paläoklimatische Studien verwenden Veränderungen in klimatisch sensitiven Indikatoren, um daraus Änderungen im vergangenen Klima auf der Zeitskala im Bereich von Dekaden bis zu Millionen von Jahren abzuleiten. Solche Proxy-Daten (z.B. die Breite von Baumringen) können sowohl durch die lokale Temperatur als auch durch andere Faktoren wie Niederschlag beeinflusst werden und sind oft eher für eine bestimmte Jahreszeit repräsentativ als für ganze Jahre. Studien seit dem TAR haben die Sicherheit durch zusätzliche Daten, die ein übereinstimmendes Verhalten von mehreren Indikatoren in verschiedenen Gegenden der Erde zeigen, erhöht. Allerdings steigen im Allgemeinen die Unsicherheiten für weiter zurückliegende Zeiten an, da die räumliche Abdeckung immer begrenzter wird.

Paläoklimatische Informationen stützen die Interpretation, dass die Wärme des letzten halben Jahrhunderts für mindestens die letzten 1300 Jahre ungewöhnlich ist. Das letzte Mal, als die Polargebiete für längere Zeit signifikant wärmer waren als heute (vor etwa 125'000 Jahren), führten die Rückgänge der polaren Eismassen zu einem Meeresspiegelanstieg von 4 bis 6 Metern. {6.4, 6.6}

- Die mittleren Temperaturen in der Nordhemisphäre waren in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts *sehr wahrscheinlich* höher als während jedes anderen 50-Jahr-Abschnitts in den letzten 500 Jahren und *wahrscheinlich* die höchsten in zumindest den letzten 1300 Jahren. Einige neue Studien lassen auf eine größere Variabilität der nordhemisphärischen Temperaturen schließen als im TAR erwähnt und deuten insbesondere auf das Auftreten kühlerer Perioden im 12. bis 14., 17. und 19. Jahrhundert hin. Wärmere Perioden vor dem 20. Jahrhundert liegen innerhalb des im TAR aufgeführten Unsicherheitsbereichs. {6.6}

- Der mittlere globale Meeresspiegel war während der letzten Zwischeneiszeit (vor etwa 125'000 Jahren) *wahrscheinlich* 4 bis 6 Meter höher als im 20. Jahrhundert, hauptsächlich aufgrund des Rückzugs des Polareises. Eisbohrkerndaten legen nahe, dass die durchschnittlichen polaren Temperaturen zu dieser Zeit aufgrund von Abweichungen in der Erdumlaufbahn um 3 bis 5 ºC höher lagen als heute. Der grönländische Eisschild und andere arktische Eisfelder trugen *wahrscheinlich* nicht mehr als 4 Meter zum beobachteten Meeresspiegelanstieg bei. Die Antarktis könnte ebenfalls zum Anstieg beigetragen haben. {6.4}

Verständnis und Zuordnung der Klimaänderung

Dieser Sachstandsbericht berücksichtigt, basierend auf Studien seit dem TAR, längere und verbesserte Messreihen, einen erweiterten Umfang von Beobachtungen und Verbesserungen in der Simulation vieler Aspekte des Klimas und dessen Variabilität. Er berücksichtigt auch die Resultate von neuen Zuordnungsstudien, die ausgewertet haben, ob beobachtete Änderungen mit der erwarteten Reaktion auf äußere Antriebe quantitativ übereinstimmen und mit alternativen physikalisch plausiblen Erklärungen unvereinbar sind.

Der größte Teil des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Temperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts ist *sehr wahrscheinlich* durch den beobachteten Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen verursacht.[12] Dies ist ein Fortschritt gegenüber der Schlussfolgerung des TAR, wonach „der größte Teil der beobachteten Erwärmung in den letzten 50 Jahren *wahrscheinlich* durch die Zunahme der Treibhausgaskonzentrationen verursacht wurde". Erkennbare menschliche Einflüsse weiten sich nun auf andere Aspekte des Klimas aus, einschließlich die Erwärmung der Ozeane, mittlere kontinentale Temperaturen, Temperaturextreme und Windmuster (siehe Abbildung SPM.4 und Tabelle SPM.2). {9.4, 9.5}

- Es ist *wahrscheinlich*, dass der Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen allein eine stärkere Erwärmung hervorgerufen hätte als die beobachtete, da vulkanische und anthropogene Aerosole einen Teil der Erwärmung, die sonst stattgefunden hätte, aufgehoben haben. {2.9, 7.5, 9.4}

- Die beobachtete weit verbreitete Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeans zusammen mit dem Eismassenverlust unterstützen die Schlussfolgerung, dass es *äußerst unwahrscheinlich* ist, dass die Klimaänderung der letzten 50 Jahre ohne äußeren Antrieb erklärt werden kann, und dass sie *sehr wahrscheinlich* nicht allein auf bekannte natürliche Ursachen zurückgeführt werden kann. {4.8, 5.2, 9.4, 9.5, 9.7}

- Eine Erwärmung des Klimasystems wurde bei den Änderungen der bodennahen und atmosphärischen Temperaturen, bei den Temperaturen der obersten paar hundert Meter des Ozeans und bei den Beiträgen zum Meeresspiegelanstieg festgestellt. Bei allen diesen Änderungen haben Zuordnungsstudien die anthropogenen Beiträge ermittelt. Das beobachtete Muster von troposphärischer Erwärmung und stratosphärischer Abkühlung ist *sehr wahrscheinlich* durch die kombinierten Einflüsse der Treibhausgaszunahme und des stratosphärischen Ozonabbaus verursacht. {3.2, 3.4, 9.4, 9.5}

- *Wahrscheinlich* hat im Durchschnitt über jedem Kontinent mit Ausnahme der Antarktis in den letzten 50 Jahren eine signifikante anthropogene Erwärmung stattgefunden (siehe Abbildung SPM.4). Die beobachteten Muster der Erwärmung, einschließlich der größeren Erwärmung über dem Land als über dem Ozean sowie deren Änderungen im Verlauf der Zeit, können nur durch Modelle nachgebildet werden, die den anthropogenen Antrieb miteinbeziehen.

[12] Die Berücksichtigung der verbleibenden Unsicherheiten basiert auf den aktuellen Methoden.

Globale und kontinentale Temperaturänderungen

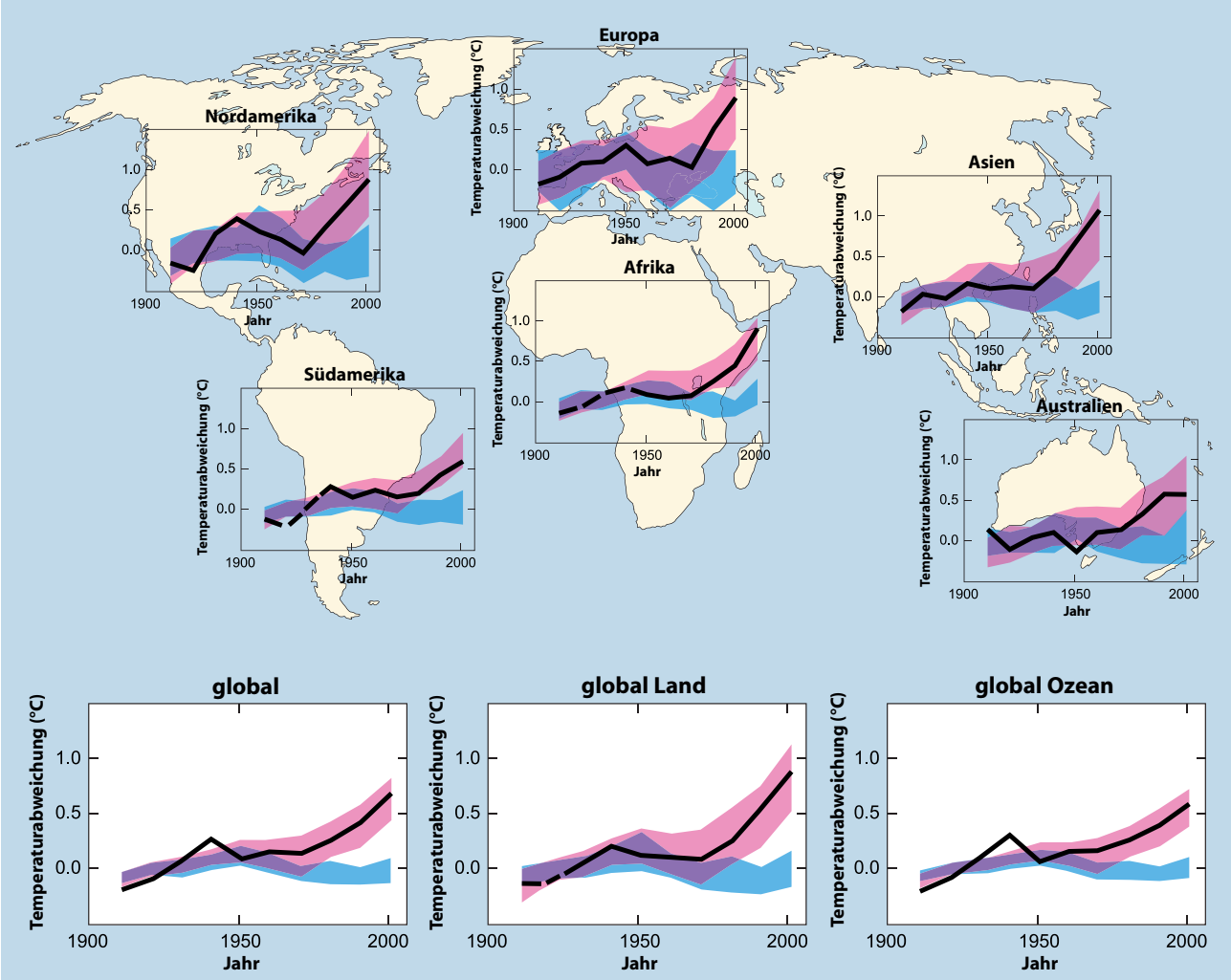


Abbildung SPM.4. *Vergleich der beobachteten Änderungen der Erdoberflächentemperatur auf kontinentaler und globaler Skala mit den von Klimamodellen auf Grund natürlicher und anthropogener Antriebe berechneten Resultaten. Die Jahrzehnt-Mittel der Beobachtungen sind für den Zeitraum 1906–2005 (schwarze Linie) im Zentrum des Jahrzehnts und relativ zum entsprechenden Mittel von 1901–1950 eingezeichnet. Die Linien sind gestrichelt, wenn die räumliche Abdeckung weniger als 50% beträgt. Blau schattierte Bänder zeigen die 5–95%-Bandbreite für 19 Simulationen von 5 Klimamodellen, welche nur die natürlichen Antriebe durch Sonnenaktivität und Vulkane berücksichtigen. Rot schattierte Bänder zeigen die 5–95%-Bandbreite für 58 Simulationen von 14 Klimamodellen unter Verwendung sowohl der natürlichen als auch der anthropogenen Antriebe. {FAQ 9.2, Abbildung 1}*

Die Fähigkeit von gekoppelten Klimamodellen, die beobachtete Entwicklung der Temperatur für alle sechs Kontinente nachzubilden, bietet einen stärkeren Beleg für den menschlichen Einfluss auf das Klima, als im TAR verfügbar. {3.2, 9.4}

- Es verbleiben Schwierigkeiten bei der glaubwürdigen Nachbildung und Zuordnung von kleinräumigeren beobachteten Temperaturänderungen. Auf diesen Skalen sind die natürlichen Klimaschwankungen vergleichsweise stärker, was die Abgrenzung zu den erwarteten Änderungen aufgrund äußerer Antriebe schwieriger macht. Unsicherheiten in lokalen Antrieben und Rückkopplungen erschweren auch die Abschätzung des Beitrages der Treibhausgaszunahmen an die beobachteten kleinräumigen Temperaturänderungen. {8.3, 9.4}

- Der anthropogene Antrieb hat *wahrscheinlich* zu den Änderungen der Windmuster beigetragen,[13] welche die außertropischen Zugbahnen der Stürme und Temperaturmuster in beiden Hemisphären beeinflussen. Allerdings sind die beobachteten Änderungen in der nordhemisphärischen Zirkulation stärker als die berechnete Reaktion auf die Änderungen des Antriebs im 20. Jahrhundert. {3.5, 3.6, 9.5, 10.3}

- Die Temperaturen der extremsten heißen Nächte, kalten Nächte und kalten Tage haben *wahrscheinlich* aufgrund des anthropogenen Antriebs zugenommen. Es ist *eher wahrscheinlich als nicht,* dass der anthropogene Antrieb das Risiko von Hitzewellen erhöht hat (siehe Tabelle SPM.2}. {9.4}

Die Analyse von Klimamodellen kombiniert mit Randbedingungen aus den Beobachtungen ermöglicht zum ersten Mal die Angabe einer geschätzten *wahrscheinlichen* Bandbreite der Klimasensitivität und verschafft ein höheres Vertrauen in das Verständnis der Reaktion des Klimasystems auf den Strahlungsantrieb. {6.6, 8.6, 9.6. Kasten 10.2}

- Die Gleichgewichts-Klimasensitivität ist ein Maß für die Reaktion des Klimasystems auf einen anhaltenden Strahlungsantrieb. Sie ist keine Projektion, sondern ist definiert als die mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche aufgrund einer Verdoppelung der Kohlendioxidkonzentration. Sie liegt *wahrscheinlich* in der Bandbreite von 2 bis 4,5 ºC, mit einem besten Schätzwert von etwa 3 ºC, und es ist *sehr unwahrscheinlich,* dass sie kleiner als 1.5 ºC ist. Wesentlich höhere Werte als 4.5 ºC können nicht ausgeschlossen werden, aber die Übereinstimmung von Modellen mit den Beobachtungen ist für diese Werte nicht so gut. Änderungen des Wasserdampfes repräsentieren die stärkste Rückkopplung bezüglich der Klimasensitivität und werden nun besser verstanden als im TAR. Rückkopplungen durch Wolken bleiben die größte Unsicherheitsquelle. {8.6, 9.6, Kasten 10.2}

- Es ist *sehr unwahrscheinlich,* daß die Klimaänderungen der mindestens sieben letzten Jahrhunderte vor 1950 allein auf Schwankungen innerhalb des Klimasystems zurückzuführen sind. Ein signifikanter Teil der rekonstruierten nordhemisphärischen interdekadischen Temperaturschwankungen in diesen Jahrhunderten kann *sehr wahrscheinlich* Vulkaneruptionen und Änderungen der Sonnenstrahlung zugeordnet werden. Der anthropogene Antrieb hat *wahrscheinlich* zur Erwärmung im frühen 20. Jahrhundert beigetragen, die in diesen Aufzeichnungen ersichtlich ist. {2.7, 2.8, 6.6, 9.3}

Projektionen zukünftiger Änderungen des Klimas

Ein wichtiger Fortschritt dieses Sachstandsberichts gegenüber dem TAR stellt die große Zahl von Simulationen von einer breiteren Auswahl von Modellen dar. Sie bieten zusammen mit zusätzlichen Informationen von Beobachtungen eine quantitative Basis für die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit von vielen Aspekten der zukünftigen Klimaänderung. Modellrechnungen decken eine Bandbreite von Szenarien der möglichen Zukunft einschließlich idealisierter Emissions- und Konzentrationsannahmen ab. Diese beinhalten die illustrativen SRES[14]-Musterszenarien für den Zeitraum 2000–2100 sowie Modellexperimente, bei welchen nach den Jahren 2000 bzw. 2100 die Treibhausgas- und Aerosolkonzentrationen konstant gehalten werden.

Für die nächsten zwei Jahrzehnte wird für eine Reihe von SRES-Szenarien eine Erwärmung von 0,2 ºC pro Jahrzehnt projiziert. Selbst wenn die Konzentrationen aller Treibhausgase und Aerosole auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant gehalten würden, wäre eine weitere Erwärmung von 0,1 ºC pro Jahrzehnt zu erwarten. {10.3, 10.7}

- Seit dem ersten IPCC-Bericht von 1990 deuteten die geschätzten Projektionen für 1990–2005 auf einen mittleren globalen Temperaturanstieg von etwa 0,15 bis 0,3 ºC pro Jahrzehnt hin. Dies kann nun mit den beobachteten Werten von ca. 0,2 ºC pro Jahrzehnt verglichen werden. Dadurch wird das Vertrauen in kurzfristige Projektionen gestärkt. {1.2, 3.2}

[13] Im Speziellen den „Southern" und „Northern Annular Mode" und damit verbundene Änderungen der Nordatlantischen Oszillation. {3.6, 9.5, Box TS.2}

[14] SRES bezieht sich auf den IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (2000). Die SRES-Szenarienfamilien und illustrativen Fallbeispiele, welche keine zusätzlichen Klimainitiativen beinhalteten, sind in einem Kasten am Ende dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger zusammengefasst. Die ungefähren CO_2-Äquivalent-Konzentrationen, die dem auf der Basis der anthropogenen Treibhausgase und Aerosole im Jahr 2100 (siehe S. 823 im TAR) berechneten Strahlungsantrieb für die illustrativen SRES-Musterszenarien B1, A1T, B2, A1B, A2 und A1FI entsprechen, betragen 600, 700, 800, 850, 1250 bzw. 1550 ppm. Die Szenarien B1, A1B und A2 standen im Mittelpunkt von Modellvergleichsstudien, wobei viele der entsprechenden Resultate in diesem Bericht beurteilt werden.

- Modellexperimente zeigen, dass in den nächsten zwei Jahrzehnten sogar dann ein weiterer Erwärmungstrend mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,1 °C pro Jahrzehnt zu beobachten wäre, wenn alle Strahlungsantriebs-Faktoren auf dem Niveau des Jahres 2000 konstant gehalten würden. Dies ist hauptsächlich auf die langsame Reaktion der Ozeane zurückzuführen. Liegen die Emissionen innerhalb der Bandbreite der SRES-Szenarien, so wäre eine etwa doppelt so starke Erwärmung zu erwarten (0,2 °C pro Jahrzehnt). Die besten Schätzwerte der Modellprojektionen weisen darauf hin, dass die über ein Jahrzehnt gemittelte Erwärmung bis 2030 auf allen bewohnten Kontinenten nicht von der Wahl des SRES-Szenarios abhängig ist. Sie wird *sehr wahrscheinlich* mindestens doppelt so groß wie die von den Modellen geschätzte natürliche Schwankung während des 20. Jahrhunderts sein. {9.4, 10.3, 10.5, 11.2–11.7, Abbildung TS-29}

Andauernd gleich hohe oder höhere Treibhausgasemissionen als heute würden eine weitere Erwärmung verursachen und im 21. Jahrhundert viele Änderungen im globalen Klimasystem bewirken, die *sehr wahrscheinlich* größer wären als die im 20. Jahrhundert beobachteten. {10.3}

- Fortschritte in der Modellierung der Klimaänderung ermöglichen nun beste Schätzungen und die Angabe von *wahrscheinlichen* Unsicherheitsbereichen für die projizierte Erwärmung für verschiedene Emissionsszenarien. Die Ergebnisse für verschiedene Emissionsszenarien sind in diesem Bericht explizit dargestellt, um einen Verlust dieser politisch relevanten Information zu verhindern. Die projizierten global gemittelten Temperaturzunahmen an der Erdoberfläche für das Ende des 21. Jahrhunderts (2090–2099) verglichen mit 1980–1999 sind in Tabelle SPM.3 dargestellt. Sie veranschaulichen die Unterschiede zwischen niedrigeren und höheren SRES-Emissionsszenarien und die mit diesen Szenarien verbundenen Unsicherheiten der projizierten Erwärmung. {10.5}

- In diesem Bericht sind beste Schätzungen und *wahrscheinliche* Bandbreiten für die mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche für sechs SRES-Muster-Emissionsszenarien aufgeführt und in Tabelle SPM.3 dargestellt. Beispielsweise liegt die beste Schätzung für das niedrige Szenario (B1) bei 1,8 °C (*wahrscheinliche* Bandbreite von 1,1 °C bis 2,9 °C) und die beste Schätzung für das hohe Szenario (A1FI) beträgt 4,0 °C (*wahrscheinliche* Bandbreite von 2,4 °C bis 6,4 °C). Obwohl diese Projektionen weitgehend mit der im TAR angegebenen Spannweite (1,4 °C bis 5,8 °C) übereinstimmen, sind sie nicht direkt

Tabelle SPM.3. *Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche und Meeresspiegelanstieg am Ende des 21. Jahrhunderts {10.5, 10.6, Tabelle 10.7}*

	Temperaturänderung (°C; 2090–2099 verglichen mit 1980–1999)[a]		Meeresspiegelanstieg (m; 2090–2099 verglichen mit 1980–1999)
Fall	Beste Schätzung	*Wahrscheinliche* Bandbreite	Modellbasierte Bandbreite ohne zukünftige rapide Änderungen des Eisflusses
Konstante Jahr-2000-Konzentrationen[b]	0.6	0.3 – 0.9	NA
B1-Szenario	1.8	1.1 – 2.9	0.18 – 0.38
A1T-Szenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.45
B2-Szenario	2.4	1.4 – 3.8	0.20 – 0.43
A1B-Szenario	2.8	1.7 – 4.4	0.21 – 0.48
A2-Szenario	3.4	2.0 – 5.4	0.23 – 0.51
A1FI-Szenario	4.0	2.4 – 6.4	0.26 – 0.59

Bemerkungen:
[a] Diese Schätzungen wurden basierend auf einer Hierarchie von Modellen vorgenommen, welche ein einfaches Klimamodell, mehrere Modelle mittlerer Komplexität (EMICs) und eine große Anzahl von Globalen Atmosphäre-Ozean-Klimamodellen (AOGCMs) umfassen.
[b] Die Zahlen für den Fall konstanter Jahr-2000-Konzentrationen wurden nur aus AOGCMs abgeleitet.

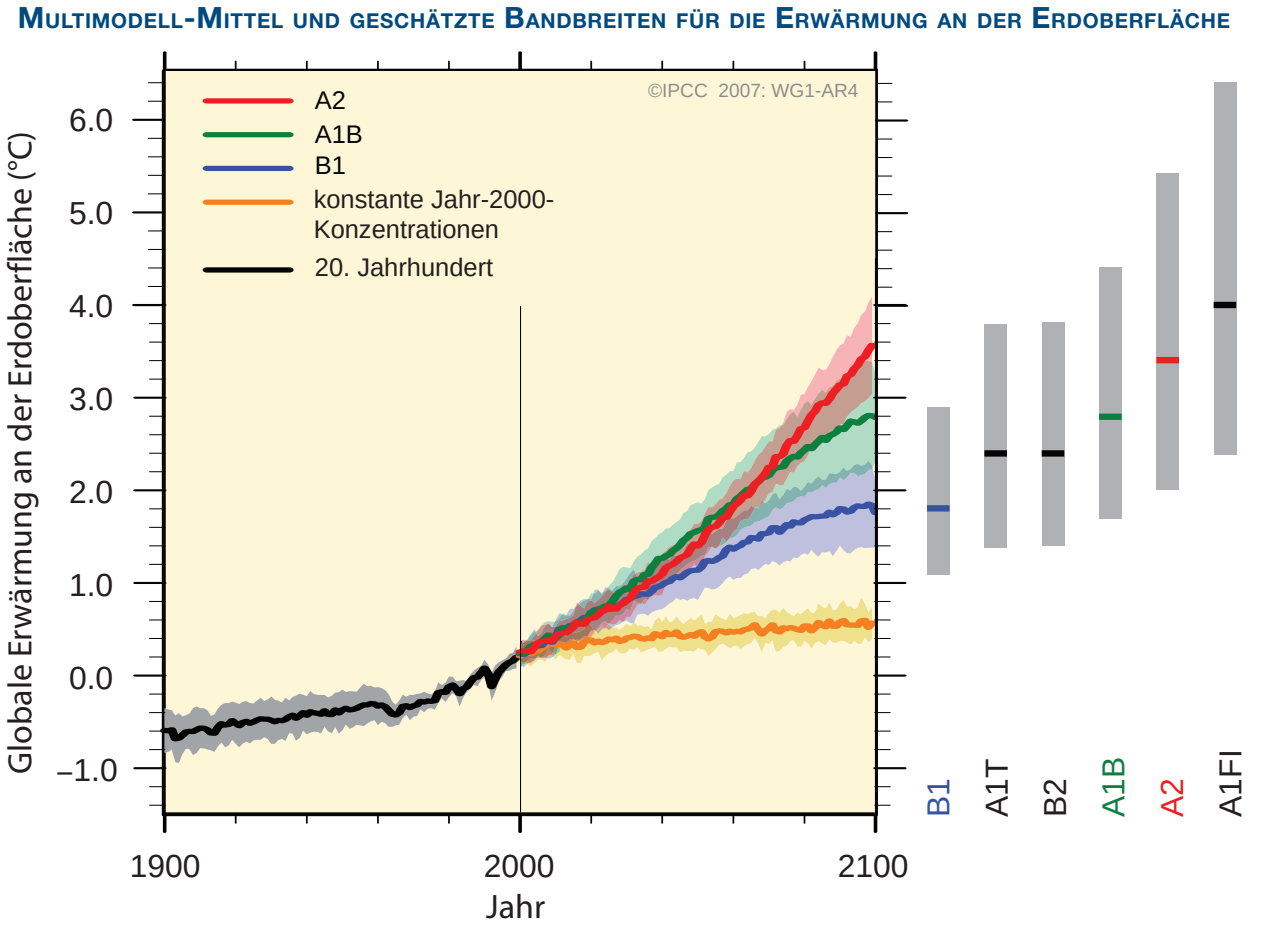


Abbildung SPM.5. *Die durchgezogenen Linien sind globale Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche (relativ zu 1980–99) für die Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Verlängerungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die Schattierung kennzeichnet die Bandbreite von plus/minus einer Standardabweichung der einzelnen Modell-Jahresmittel. Die orange Linie stellt das Resultat des Experiments dar, bei dem die Konzentrationen auf Jahr-2000-Werten konstant gehalten wurden. Die grauen Balken auf der rechten Seite zeigen die beste Schätzung (durchgezogene Linie innerhalb des Balkens) und die abgeschätzte wahrscheinliche Bandbreite für die sechs SRES-Musterszenarien. Die Herleitung der besten Schätzungen und wahrscheinlichen Bandbreiten in den grauen Balken beinhaltet sowohl die AOGCMs im linken Teil der Abbildung als auch die Resultate einer Hierarchie von unabhängigen Modellen sowie beobachtungsgestützte Randbedingungen. {Abbildungen 10.4 und 10.29}*

vergleichbar (siehe Abbildung SPM.5). Der AR4 ist insofern weiter fortgeschritten, als er für jedes der Musterszenarien beste Schätzungen und geschätzte Wahrscheinlichkeitsbereiche zur Verfügung stellt. Die neue Bemessung der *wahrscheinlichen* Bandbreiten stützt sich nun auf eine größere Anzahl von zunehmend komplexeren und realistischeren Klimamodellen sowie auf neue Informationen bezüglich der Rückkopplungseigenschaften des Kohlenstoffkreislaufs und der durch Beobachtungen bestimmten Randbedingungen für die Reaktion des Klimas. {10.5}

- Eine Erwärmung führt tendenziell zu einer Verringerung der Aufnahme atmosphärischen Kohlendioxids durch Land und Ozeane, wodurch der Anteil der in der Atmosphäre verbleibenden anthropogenen Emissionen erhöht wird. Für das A2-Szenario erhöht die Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung beispielsweise die entsprechende mittlere globale Erwärmung im Jahr 2100 um mehr als 1 °C. Die geschätzten oberen Bereiche der Temperaturprojektionen sind hauptsächlich deshalb größer als im TAR (siehe Tabelle SPM.3), weil der größere Teil der nun zur Verfügung stehenden Modelle eine stärkere Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung nahelegt. {7.3, 10.5}

- Tabelle SPM.3 zeigt die Modell-basierten Projektionen des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs am Ende des 21. Jahrhunderts (2090–2099). Für jedes Szenario liegt der Mittelpunkt der Bandbreiten in Tabelle SPM.3 innerhalb von maximal 10% Abweichung vom Modelldurchschnitt für 2090–2099 im TAR. Die

Bandbreiten sind hauptsächlich aufgrund verbesserter Informationen bezüglich einiger Unsicherheiten bei den projizierten Beiträgen enger als im TAR.[15] {10.6}

- Die zur Zeit verwendeten Modelle beinhalten weder Unsicherheiten in den Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen noch die vollen Auswirkungen von Änderungen des Eisschildflusses, da eine entsprechende Grundlage in der publizierten Literatur fehlt. Die Projektionen enthalten zwar einen Beitrag aufgrund des verstärkten Eisflusses von Grönland und der Antarktis mit der von 1993–2003 beobachteten Geschwindigkeit, aber diese Fliessgeschwindigkeiten könnten in Zukunft zu- oder abnehmen. Würde dieser Beitrag beispielsweise linear mit der Änderung der mittleren globalen Temperatur anwachsen, würde der obere Bereich des Meeresspiegelanstiegs für die in Tabelle SPM.3 aufgeführten SRES-Szenarien um 0,1 bis 0,2 m zunehmen. Größere Werte können nicht ausgeschlossen werden, aber das Verständnis dieser Effekte ist zu begrenzt, um die Wahrscheinlichkeit beurteilen zu können oder eine beste Schätzung oder eine obere Grenze für den Meeresspiegelanstieg angeben zu können. {10.6}

- Steigende atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen führen zu einer zunehmenden Versauerung der Ozeane. Die auf den SRES-Szenarien basierenden Projektionen zeigen über das 21. Jahrhundert Abnahmen des mittleren globalen Meeresoberflächen-pHs[16] von 0,14 bis 0,35 Einheiten, zusätzlich zur bisherigen Abnahme von 0,1 Einheiten seit der vorindustriellen Zeit. {5.4, Kasten 7.3, 10.4}

Das Vertrauen in projizierte Erwärmungsmuster und andere regionale Besonderheiten, einschließlich Veränderungen der Windmuster, Niederschläge und einige Aspekte von Extremereignissen und Eis, ist nun höher. {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

Modellprojektionen der Erdoberflächentemperatur

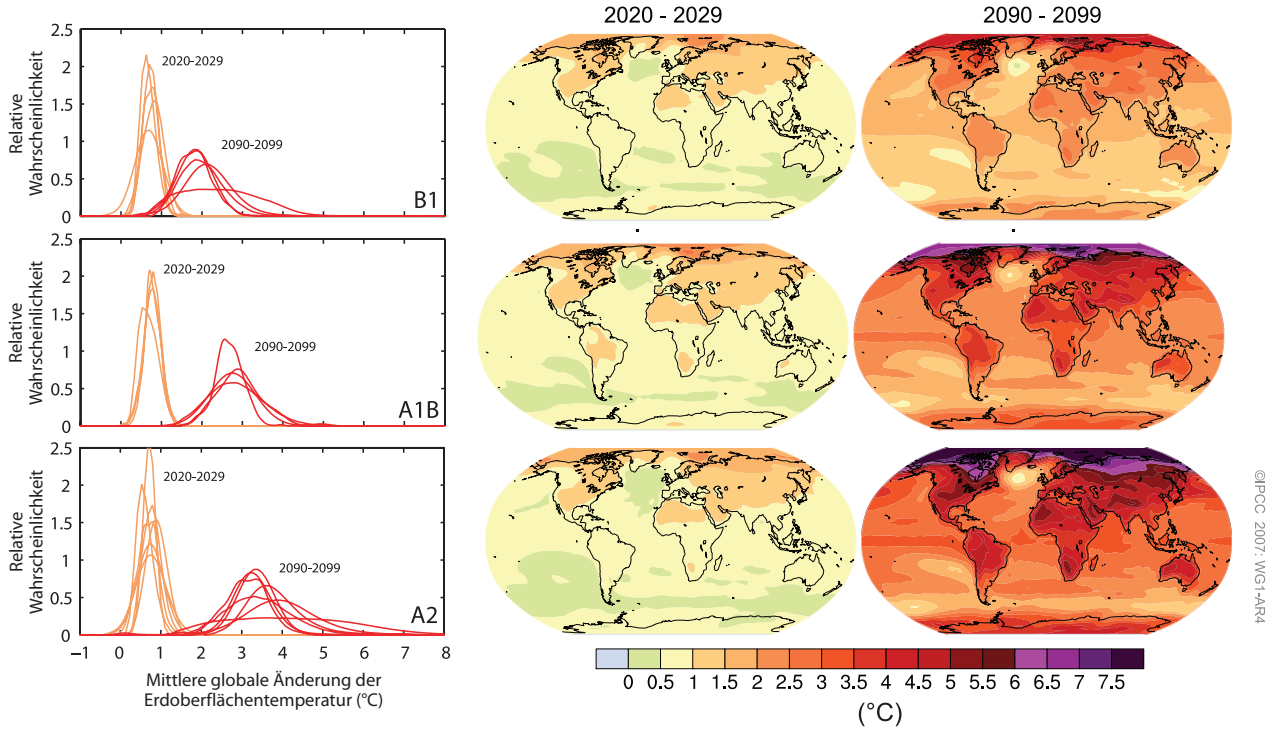


Abbildung SPM.6. *Projizierte Änderungen der Erdoberflächentemperatur für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Zeitraum 1980–1999. Die mittleren und rechten Grafiken zeigen die AOGCM-Multimodell-Mittel-Projektionen für die B1- (oben), A1B- (Mitte) und A2- (unten) -SRES-Szenarien, gemittelt über die Jahrzehnte 2020–2029 (Mitte) und 2090–2099 (rechts). Die linken Grafiken zeigen die entsprechenden Unsicherheiten als relative Wahrscheinlichkeiten der geschätzten mittleren globalen Erwärmung aus mehreren unterschiedlichen AOGCM- und EMIC-Studien für die gleichen Zeiträume. Einige Studien bieten nur Resultate für einen Teil der SRES-Szenarien oder für verschiedene Modellversionen. Deshalb ist die Anzahl der in den linken Grafiken gezeigten Kurven einzig wegen der unterschiedlichen Verfügbarkeit von Resultaten unterschiedlich. {Abbildungen 10.8 und 10.28}*

[15] Die TAR-Projektionen wurden für 2100 angegeben, während die Projektionen in diesem Bericht für 2090-2099 gelten. Der TAR hätte ähnliche Bereiche wie diejenigen in Tabelle SPM.3 erhalten, wenn er die Unsicherheiten in gleicher Weise behandelt hätte.

[16] Abnahmen des pH entsprechen Zunahmen des Säuregehaltes einer Lösung. Siehe Glossar für weitere Details.

Projizierte Änderungsmuster der Niederschläge

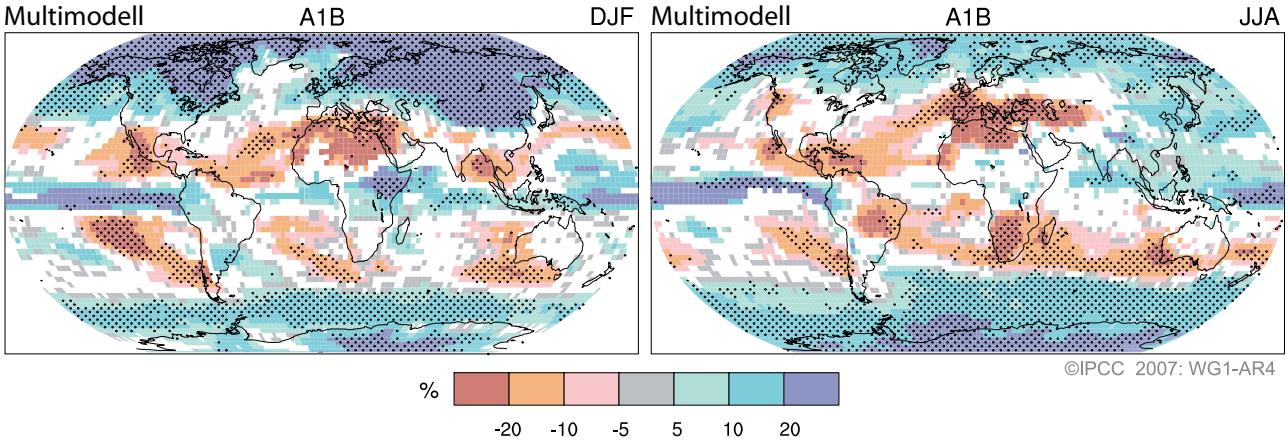


Abbildung SPM.7. *Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für den Zeitraum 2090–2099 im Vergleich zu 1980–1999. Die Werte sind Multimodell-Mittel, basierend auf dem SRES-A1B-Szenario für Dezember bis Februar (links) und Juni bis August (rechts). Flächen, für welche weniger als 66% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderung übereinstimmen, sind weiß; solche, für welche mehr als 90% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderungen übereinstimmen, sind punktiert. {Abbildung 10.9}*

- Die projizierte Erwärmung im 21. Jahrhundert zeigt szenariounabhängige geographische Muster, welche den über die letzten paar Jahrzehnte beobachteten ähnlich sind. Die größte Erwärmung wird über dem Land und in den meisten hohen nördlichen Breiten erwartet, die kleinste über dem südlichen Ozean und über Teilen des Nordatlantischen Ozeans (siehe Abbildung SPM.6). {10.3}

- Es wird eine Abnahme der Schneebedeckung projiziert. Die Projektionen zeigen weit verbreitete Zunahmen der Auftautiefe in den meisten Permafrostregionen. {10.3, 10.6}

- Es wird für alle SRES-Szenarien eine Schrumpfung des Meereises sowohl in der Arktis als auch der Antarktis projiziert. In einigen Projektionen verschwindet in der Arktis im letzten Teil des 21. Jahrhunderts das Meereis im Spätsommer fast vollständig. {10.3}

- Heiße Extreme, Hitzewellen und Starkniederschlags-Ereignisse werden *sehr wahrscheinlich* weiterhin zunehmen. {10.3}

- Es ist, basierend auf einer Auswahl von Modellen, *wahrscheinlich*, dass zukünftige tropische Wirbelstürme (Taifune und Hurrikane) in Verbindung mit dem laufenden Anstieg der tropischen Meeresoberflächentemperaturen intensiver werden, mit höheren Spitzenwindgeschwindigkeiten und mehr Starkniederschlägen. Das Vertrauen in Projektionen einer globalen Abnahme der Anzahl tropischer Wirbelstürme ist weniger gut. Der sichtbare Anstieg des Anteils an sehr intensiven Stürmen in einigen Regionen seit 1970 ist viel größer als von den aktuellen Modellen für diesen Zeitraum berechnet. {9.5, 10.3, 3.8}

- Es wird eine Verschiebung der außertropischen Zugbahnen der Stürme polwärts mit entsprechenden Änderungen der Wind-, Niederschlags- und Temperaturmuster projiziert. Dies bedeutet eine Fortführung des groben Musters der beobachteten Trends über das letzte halbe Jahrhundert. {3.6, 10.3}

- Seit dem TAR hat sich das Verständnis der projizierten Niederschlagsmuster verbessert. Die Niederschlagsmengen nehmen in höheren Breiten *sehr wahrscheinlich* zu, während Abnahmen über den meisten subtropischen Landregionen (um bis zu 20% im A1B-Szenario bis 2100, siehe Abbildung SPM.7) *wahrscheinlich* sind. Dies bedeutet eine Fortführung der beobachteten Muster in den aktuellen Trends. {3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2 bis 11.9}

- Basierend auf aktuellen Modellrechnungen ist es *sehr wahrscheinlich,* dass sich die atlantische meridionale Umwälzungsströmung (MOC) während des 21. Jahrhunderts abschwächen wird. Im Mittel von Multi-Modellrechnungen beträgt die Abnahme für das SRES-Emissionsszenario A1B 25% (Bandbreite von

Null bis 50%). Die Projektionen zeigen trotz dieser Änderungen einen Temperaturanstieg in der Atlantik-Region, da die Erwärmung aufgrund des projizierten Anstiegs der Treibhausgase viel größer ist. Es ist *sehr unwahrscheinlich,* dass die MOC im 21. Jahrhundert eine große abrupte Änderung erfahren wird. Langfristigere Änderungen der MOC können nicht vertrauenswürdig beurteilt werden. {10.3, 10.7}

Die anthropogene Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg würden aufgrund der Zeitskalen, die mit Klimaprozessen und Rückkopplungen verbunden sind, über Jahrhunderte andauern, selbst wenn die Treibhausgaskonzentrationen stabilisiert würden. {10.4, 10.5, 10.7}

- Es wird erwartet, dass die Kopplung von Klima und Kohlenstoffkreislauf der Atmosphäre Kohlendioxid hinzufügt wenn sich das Klimasystem erwärmt, aber die Stärke dieser Rückkopplung ist unsicher. Dies erhöht die Unsicherheit in Bezug auf den für die Erreichung eines bestimmten Stabilisationsniveaus der Kohlendioxidkonzentration nötigen Verlauf der Kohlendioxid-Emissionen. Modellstudien, die auf dem aktuellen Verständnis der Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung basieren, legen nahe, dass zur Stabilisierung auf 450 ppm Kohlendioxid eine Reduktion der über das 21. Jahrhundert kumulierten Emissionen von einem Durchschnitt von ungefähr 670 [630 bis 710] GtC (2460 [2310 to 2600] $GtCO_2$) auf ungefähr 490 [375 bis 600] GtC (1800 [1370 to 2200] $GtCO_2$) nötig sein könnte. Ebenso könnte diese Rückkopplung für eine Stabilisierung auf 1000 ppm eine Reduktion der kumulativen Emissionen von einem Modell-Durchschnitt von ungefähr 1415 [1340 bis 1490] GtC (5190 [4910 to 5460] $GtCO_2$) auf ungefähr 1100 [980 bis 1250] GtC (4030 [3590 to 4580] $GtCO_2$) nötig machen. {7.3, 10.4}

- Falls der Strahlungsantrieb im Jahr 2100 auf B1- oder A1B-Niveau[14] stabilisiert werden würde, wäre immer noch ein weiterer Anstieg der mittleren globalen Temperatur um etwa 0,5 ºC zu erwarten, größtenteils bis ins Jahr 2200. {10.7}

- Falls der Strahlungsantrieb im Jahr 2100 auf A1B-Niveau[14] stabilisiert werden würde, würde allein die thermische Ausdehnung zu einem Meeresspiegelanstieg von 0,3 bis 0,8 m bis 2300 (im Vergleich zu 1980–1999) führen. Die thermische Ausdehnung würde aufgrund der für den Wärmetransport in die Tiefen des Ozeans benötigten Zeit über viele Jahrhunderte andauern. {10.7}

- Es wird projiziert, dass die Schrumpfung des grönländischen Eisschildes nach 2100 fortgesetzt zum Meeresspiegelanstieg beiträgt. Aktuelle Modelle legen nahe, dass die Eismassenverluste mit der Temperatur schneller ansteigen als die Gewinne aufgrund von Niederschlägen und dass die Oberflächen-Massenbilanz bei einer mittleren globalen Erwärmung (im Vergleich zu vorindustriellen Werten) von mehr als 1.9 bis 4.6 ºC negativ wird. Falls eine negative Oberflächen-Massenbilanz über Jahrtausende aufrechterhalten werden würde, würde dies zu einer praktisch vollständigen Elimination des grönländischen Eisschildes und zu einem daraus folgenden Beitrag von etwa 7 m zum Meeresspiegelanstieg führen. Die entsprechenden zukünftigen Temperaturen in Grönland sind vergleichbar mit den für die letzte Zwischeneiszeit vor 125'000 Jahren geschätzten Temperaturen, für welche paläoklimatische Informationen eine Reduktion der Ausdehnung der polaren Landeismassen und einen Meeresspiegelanstieg von 4 bis 6 m nahelegen. {6.4, 10.7}

- Mit dem Eisfluss verbundene dynamische Prozesse, die in den aktuellen Modellen nicht berücksichtigt sind, aber durch neueste Beobachtungen nahegelegt werden, könnten die Anfälligkeit der Eisschilder gegenüber Erwärmung und damit den Meeresspiegelanstieg erhöhen. Das Verständnis dieser Prozesse ist beschränkt, und es gibt keinen Konsens über deren Ausmaß. {4.6, 10.7}

- Aktuelle globale Modellstudien projizieren, dass der antarktische Eisschild zu kalt für ein verbreitetes Schmelzen an der Oberfläche bleibt und dass ein Massenzuwachs aufgrund zunehmender Schneefälle zu erwarten ist. Allerdings könnte ein Netto-Eismassenverlust auftreten, wenn der dynamische Eisabfluss die Massenbilanz des Eisschildes dominiert. {10.7}

- Sowohl vergangene als auch zukünftige anthropogene Kohlendioxidemissionen werden aufgrund der für eine Entfernung dieses Gases aus der Atmosphäre benötigten Zeitskala für länger als ein Jahrtausend fortgesetzt zur Erwärmung und zum Meeresspiegelanstieg beitragen. {7.3, 10.3}

Die Emissions-Szenarien des IPCC-Sonderberichtes über Emissions-Szenarien (SRES)[17]

A1. Die A1-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei gleichzeitiger substantieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstossrichtung: fossil-intensiv (A1FI), nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme eines ähnlichen Verbesserungspotentials für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien).

A2. Die A2-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

B1. Die B1- Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine sich näher kommende Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1-Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von sauberen und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

B2. Die B2-Modellgeschichte bzw. -Szenarien-Familie beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür vielfältigerem technologischem Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Obwohl das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt der Schwerpunkt auf der lokalen und regionalen Ebene.

Für jede der sechs Szenarien-Gruppen A1B, A1FI, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein illustratives Szenario gewählt. Alle sollten als gleich stichhaltig betrachtet werden.

Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen, d.h. es sind keine Szenarien berücksichtigt, die ausdrücklich eine Umsetzung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) oder den Emissionszielsetzungen des Kyoto-Protokolls annehmen.

[17] Emissionsszenarien wurden in diesem Bericht der IPCC-Arbeitsgruppe I nicht untersucht. Dieser Kasten mit der Zusammenfassung der SRES-Szenarien wurde vom TAR übernommen und wurde zu einem früheren Zeitpunkt vom Ausschuss Zeile für Zeile verabschiedet.

Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten

Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)

Autoren

Neil Adger, Pramod Aggarwal, Shardul Agrawala, Joseph Alcamo, Abdelkader Allali, Oleg Anisimov, Nigel Arnell, Michel Boko, Osvaldo Canziani, Timothy Carter, Gino Casassa, Ulisses Confalonieri, Rex Victor Cruz, Edmundo de Alba Alcaraz, William Easterling, Christopher Field, Andreas Fischlin, B. Blair Fitzharris, Carlos Gay García, Clair Hanson, Hideo Harasawa, Kevin Hennessy, Saleemul Huq, Roger Jones, Lucka Kajfe_ Bogataj, David Karoly, Richard Klein, Zbigniew Kundzewicz, Murari Lal, Rodel Lasco, Geoff Love, Xianfu Lu, Graciela Magrín, Luis José Mata, Roger McLean, Bettina Menne, Guy Midgley, Nobuo Mimura, Monirul Qader Mirza, José Moreno, Linda Mortsch, Isabelle Niang-Diop, Robert Nicholls, Béla Nováky, Leonard Nurse, Anthony Nyong, Michael Oppenheimer, Jean Palutikof, Martin Parry, Anand Patwardhan, Patricia Romero Lankao, Cynthia Rosenzweig, Stephen Schneider, Serguei Semenov, Joel Smith, John Stone, Jean-Pascal van Ypersele, David Vaughan, Coleen Vogel, Thomas Wilbanks, Poh Poh Wong, Shaohong Wu, Gary Yohe

Diese Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger sollte zitiert werden als:

IPCC 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten. Beitrag der Arbeitsgruppe II zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, C.E. Hanson and P.J. van der Linden, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK.

A. Einleitung

Die vorliegende Zusammenfassung legt die wichtigsten politisch relevanten Erkenntnisse des Vierten Sachstandsberichts (AR4) der Arbeitsgruppe II des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) dar.

Der Bericht spiegelt den aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu den Auswirkungen von Klimaänderungen auf natürliche, bewirtschaftete und menschliche Systeme, ihrer Anpassungsfähigkeit und ihrer Verwundbarkeit[1] wider. Er baut auf früheren Bewertungen des IPCC auf und integriert die seit dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) neu gewonnenen Erkenntnisse.

Die in dieser Zusammenfassung getroffenen Aussagen stützen sich auf Kapitel des Sachstandsberichts. Die wichtigsten Quellen sind am Ende jedes Absatzes angegeben.[2]

B. Derzeitiger Kenntnisstand über beobachtete Auswirkungen von Klimaänderungen auf die natürliche und menschliche Umwelt

Eine umfassende Betrachtung der beobachteten Klimaänderungen ist im Vierten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I des IPCC berücksichtigt. Der hier vorliegende Teil der Zusammenfassung der Arbeitsgruppe II befasst sich mit dem Zusammenhang zwischen den beobachteten Klimaänderungen und den neuesten beobachteten Veränderungen in der natürlichen und menschlichen Umwelt.

Die hier vorliegenden Aussagen basieren größtenteils auf Datensätzen, die den Zeitraum seit 1970 erfassen. Die Anzahl der Studien, die beobachtete Trends in der physikalischen und biologischen Umwelt in ihrer Beziehung zu regionalen Klimaänderungen untersuchten, ist seit dem Dritten Sachstandsbericht im Jahr 2001 erheblich gestiegen, ebenso die Qualität der Datenbestände. Jedoch sind Daten und Literatur über beobachtete Veränderungen geografisch bei weitem nicht ausgewogen – es bestehen beträchtliche Lücken, vor allem in den Entwicklungsländern.

Jüngste Studien haben ein, im Vergleich zum Dritten Sachstandsbericht, breiteres und höheres Maß an Vertrauen bei der Bewertung des Zusammenhangs zwischen beobachteter Erwärmung und Auswirkungen ermöglicht. Der Dritte Sachstandsbericht kam zu dem Schluss, dass „mit hohem Vertrauen[3] regionale Temperaturveränderungen der jüngeren Vergangenheit erkennbare Auswirkungen auf zahlreiche physikalische und biologische Systeme hatten“.

Aus der aktuellen Bewertung schließen wir Folgendes:

Beobachtungen von allen Kontinenten und den meisten Ozeanen zeigen, dass zahlreiche natürliche Systeme von regionalen Klimaänderungen – vor allem von Temperaturerhöhungen – betroffen sind.

Hinsichtlich der Veränderungen von Eis, Schnee und gefrorenem Boden (inklusive Permafrost)[4], besteht hohes Vertrauen darin, dass natürliche Systeme betroffen sind. Beispiele dafür sind:

- Vergrößerung und vermehrte Anzahl von Gletscherseen [1.3];
- Erhöhte Instabilität des Bodens in Permafrostgebieten sowie Bergstürze in Gebirgsregionen [1.3];
- Veränderungen einiger arktischer und antarktischer Ökosysteme, einschließlich Veränderungen von Meereisbiomen sowie bei Raubtieren an der Spitze der Nahrungskette [1.3, 4.4, 15.4].

Eine wachsende Anzahl von Hinweisen hat zu einem hohen Vertrauen geführt, dass weltweit folgende Auswirkungen in hydrologischen Systemen eintreten:

- Erhöhter Abfluss und früher eintretende Abflusshöchstmengen im Frühling bei zahlreichen von Gletschern und Schnee gespeisten Flüssen [1.3];
- Erwärmung von Seen und Flüssen in vielen Regionen mit Auswirkungen auf die thermische Struktur und die Wasserqualität [1.3].

Eine größere Zahl von Hinweisen über ein breiteres Spektrum von Arten hat zu einem sehr hohen Vertrauen geführt, dass terrestrische biologische Systeme von der jüngsten Erwärmung stark betroffen sind – einschließlich von Veränderungen wie:

[1] Siehe Kasten 1 am Ende dieser Zusammenfassung für Definitionen.
[2] Die Quellen zu den Aussagen sind in eckigen Klammern angeführt. [3.3] verweist z.B. auf Kapitel 3, Abschnitt 3. Quellenbezeichnungen: Abb. = Abbildung, T = Tabelle, K = Kasten und ES = Executive Summary
[3] Siehe Kasten 2 am Ende dieser Zusammenfassung.
[4] Siehe IPCC-Arbeitsgruppe I, Vierter Sachstandsbericht.

- Früheres Eintreten von Frühlingsereignissen wie z. B. Blattentfaltung, Vogelzug und Eiablage [1.3];
- Verschiebung der geografischen Verbreitungsgebiete von Pflanzen- und Tierarten polwärts und in höhere Lagen [1.3, 8.2, 14.2].

Satellitenbeobachtungen seit den frühen 1980er-Jahren haben zu einem hohen Vertrauen geführt, dass in vielen Gebieten aufgrund der jüngsten Erwärmung ein Trend zum früheren „Ergrünen“[5] der Vegetation im Frühling – in Verbindung mit längeren thermischen Vegetationsperioden – stattgefunden hat [1.3, 14.2].

Umfangreiche neue Hinweise haben zu einem hohen Vertrauen geführt, dass zwischen den in biologischen Meer- und Süßwassersystemen beobachteten Veränderungen und den ansteigenden Wassertemperaturen – sowie den damit verbundenen Veränderungen der Eisdecke, Salz- und Sauerstoffgehalte und der ozeanischen Zirkulation – ein Zusammenhang besteht [1.3]. Diese Veränderungen beinhalten:

- Verschiebungen geografischer Verbreitungsgebiete sowie Veränderungen des Auftretens von Algen, Plankton und Fischen in den Ozeanen der hohen Breiten [1.3];
- Zunahme der Algen- und Zooplanktonmengen in höher gelegenen Seen sowie in Seen der hohen Breiten [1.3];
- Veränderungen der Verbreitungsgebiete und frühzeitigere Wanderungen von Fischen in den Flüssen [1.3].

Eine globale Bewertung der Daten seit 1970 hat gezeigt, dass es wahrscheinlich[6] ist, dass die anthropogene Erwärmung bereits einen erkennbaren Einfluss auf viele physikalische und biologische Systeme hatte.

Die Aufnahme von anthropogenem Kohlenstoff seit 1750 hat – bei einer durchschnittlichen Abnahme des pH-Gehalts von 0,1 Einheiten [IPCC-Arbeitsgruppe I, Vierter Sachstandsbericht] – zu einer zunehmenden Versauerung des Ozeans geführt. Auswirkungen der beobachteten Versauerung der Ozeane auf die Meeresbiosphäre sind bis jetzt jedoch noch nicht dokumentiert [1.3].

In den letzten fünf Jahren haben sich die Hinweise darauf verdichtet, dass zwischen den Veränderungen in zahlreichen physikalischen und biologischen Systemen und der anthropogenen Erwärmung ein Zusammenhang besteht. Diese Schlussfolgerung wird – bei gemeinsamer Betrachtung – von vier Gruppen von Hinweisen unterstützt:

1. Der Vierte Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I kam zu dem Schluss, dass der größte Teil des seit Mitte des 20. Jahrhunderts beobachteten Anstiegs der globalen mittleren Temperatur sehr wahrscheinlich auf den beobachteten Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen zurückzuführen ist.

2. Über 29.000 durch Beobachtung erhobene Datenreihen[7] aus 75 Studien zeigen eine signifikante Veränderung in zahlreichen physikalischen und biologischen Systemen. Hiervon stehen mehr als 89 % im Einklang mit dem Trend, der als Reaktion auf die Erwärmung zu erwarten war (Abbildung SPM.1.) [1.4].

3. Eine globale Synthese der Studien in der vorliegenden Bewertung zeigt deutlich: Es ist sehr unwahrscheinlich, dass die weltweite räumliche Übereinstimmung zwischen Regionen mit signifikanter regionaler Erwärmung und Orten mit beobachteten signifikanten mit der Erwärmung im Einklang stehenden Veränderungen vieler Systeme allein auf die natürliche Variabilität der Temperatur oder auf die natürliche Variabilität der Systeme zurückzuführen ist (Abbildung SPM.1.) [1.4].

4. Schlussendlich liegen mehrere Modellstudien vor, die zwischen den Reaktionen in einigen physikalischen und biologischen Systemen und der anthropogenen Erwärmung einen Zusammenhang hergestellt haben. Dabei wurden die in diesen Systemen beobachteten Veränderungen mit modellierten Reaktionen verglichen, in denen die natürlichen Antriebe (durch Sonnenaktivität und Vulkane) und die anthropogenen Antriebe (Treibhausgase und Aerosole) ausdrücklich getrennt gehalten wurden. Modelle, in denen die natürlichen und anthropogenen Antriebe gemeinsam berücksichtigt sind, simulieren die beobachteten Reaktionen signifikant besser als Modelle, in denen nur die natürlichen Antriebe Beachtung finden [1.4].

[5] Gemessen am Vegetationsindex der normalisierten Differenz, welcher ein relatives Maß für das Grün der Vegetation auf Satellitenbildern darstellt.
[6] Siehe Kasten 2 am Ende dieser Zusammenfassung
[7] Von etwa 80.000 Datenreihen aus 577 Studien wurde ein Teilsatz von etwa 29.000 Datenreihen ausgewählt. Diese entsprachen folgenden Kriterien: (1) 1990 oder später endend; (2) einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren umspannend und (3) eine signifikante Veränderung in die eine oder andere Richtung aufweisend, wie in Einzelstudien untersucht.

Eine vollständigere Zuordnung der Ursachen für beobachtete Reaktionen der Systeme auf die anthropogene Erwärmung ist aufgrund bestehender Einschränkungen und Lücken nicht möglich. Erstens sind die verfügbaren Analysen im Hinblick auf die Zahl der Systeme und Standorte begrenzt. Zweitens ist die natürliche Variabilität der Temperatur auf regionaler Ebene höher als auf globaler Ebene, was die Feststellung von Veränderungen aufgrund äußerer Antriebe erschwert. Zusätzlich sind auf regionaler Ebene weitere Faktoren (wie etwa Landnutzungsänderungen, Verschmutzung und eingewanderte Arten) von Einfluss [1.4].

Dennoch ist die Konsistenz zwischen den beobachteten und den in mehreren Studien modellierten Veränderungen und die räumliche Übereinstimmung zwischen signifikanter regionaler Erwärmung und entsprechender Auswirkungen auf globaler Ebene ausreichend, um mit einem hohen Vertrauen darauf zu schließen, dass die anthropogene Erwärmung in den letzten drei Jahrzehnten einen erkennbaren Einfluss auf viele physikalische und biologische Systeme hatte. [1.4]

Weitere Auswirkungen regionaler Klimaänderungen auf die natürliche und menschliche Umwelt zeichnen sich ab, obwohl sie durch Anpassung und nicht-klimatische Antriebselemente schwieriger zu erkennen sind.

Folgende Auswirkungen von Temperaturerhöhungen wurden dokumentiert (mittleres Vertrauen):

- Auswirkungen auf die Land- und Forstwirtschaft in den hohen Breiten der nördlichen Hemisphäre, wie frühere Frühjahrsaussaat von Getreide sowie Veränderungen der Störungssysteme von Wäldern infolge von Bränden und Schädlingsbefall [1.3];
- Einige Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit, wie hitzebedingte Sterblichkeit in Europa, Übertragung von Infektionskrankheiten in einigen Gebieten und allergene Pollen in den hohen und mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre [1.3, 8.2, 8.ES];
- Einige menschliche Tätigkeiten in der Arktis (z. B. Jagd und Verkehr über Schnee und Eis) und in tiefer liegenden alpinen Gebieten (z. B. Berg- und Wintersport) [1.3].

Die jüngsten Klimaänderungen und -schwankungen beginnen sich auf zahlreiche andere natürliche und menschliche Systeme auszuwirken. Der veröffentlichten Literatur zufolge haben sich diese Auswirkungen jedoch noch nicht als Trends etabliert. Folgende Beispiele sind hierfür anzuführen:

- Für Siedlungen in Gebirgsregionen besteht – infolge des Abschmelzens der Gletscher – ein erhöhtes Risiko durch Fluten nach Gletscherseeausbrüchen. In einigen Gebieten haben Regierungsinstitutionen damit begonnen, mit dem Bau von Dämmen und Abflussanlagen darauf zu reagieren [1.3].
- Im Sahelgebiet Afrikas haben wärmere und trockenere Bedingungen zu einer Verkürzung der Vegetationszeiten geführt, mit nachteiligen Auswirkungen auf die Ernte. Im südlichen Afrika sind längere Trockenperioden und größere Unsicherheit bezüglich der Regenfälle Anlass zu Anpassungsmaßnahmen [1.3].
- In zahlreichen Gebieten tragen der Anstieg des Meeresspiegels und die menschliche Entwicklung gemeinsam zu Verlusten von Küstenfeuchtgebieten und Mangroven sowie in zahlreichen Gebieten zu zunehmenden Schäden infolge von Küstenüberflutungen bei [1.3].

Veränderungen in physikalischen und biologischen Systemen sowie der Oberflächentemperatur 1970-2004

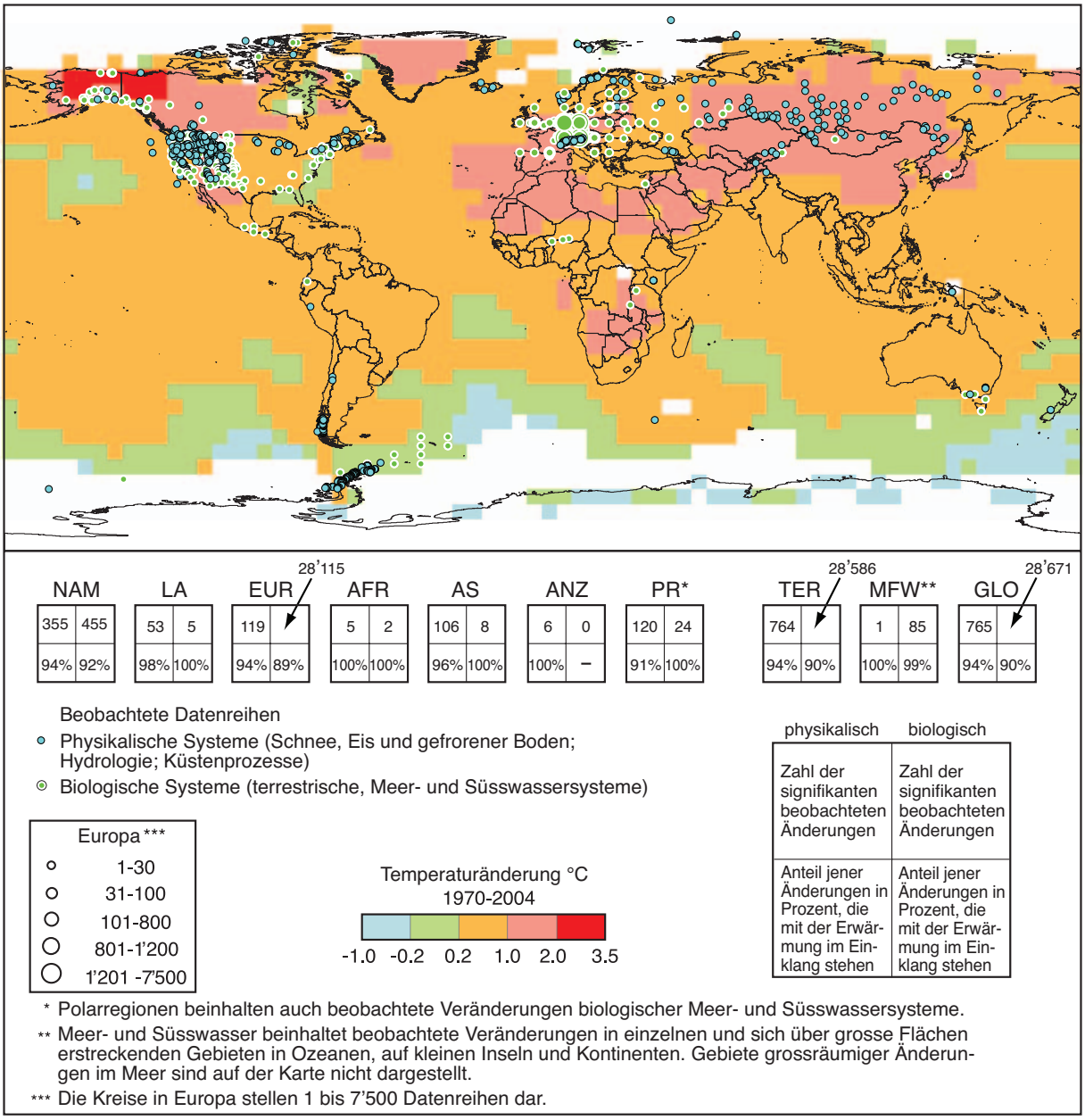


Abbildung SPM.1. *Gemeinsame Darstellung der örtlichen Lage signifikanter Veränderungen bei den Datenreihen physikalischer Systeme (Schnee, Eis, gefrorener Boden; Hydrologie; und Küstenprozesse) und biologischer Systeme (terrestrische, Meer- und Süßwassersysteme) und Veränderungen der Oberflächentemperaturen im Zeitraum 1970-2004. Von etwa 80.000 Datenreihen aus 577 Studien wurde ein Teilsatz von ungefähr 29.000 Datenreihen ausgewählt. Diese Datenreihen entsprachen folgenden Kriterien: (1) 1990 oder später endend; (2) einen Zeitraum von mindestens 20 Jahren umfassend und (3) eine signifikante Veränderung in die eine oder andere Richtung aufweisend, wie in Einzelstudien festgestellt. Diese Datenreihen sind etwa 75 Studien entnommen (von denen ~70 seit dem dritten Sachstandsbericht neu sind) und beinhalten etwa 29.000 Datenreihen, von denen etwa 28.000 aus europäischen Studien stammen. Für die weiß markierten Regionen sind die klimatischen Beobachtungsdaten nicht ausreichend, um einen Temperaturtrend abschätzen zu können. Die 2 x 2 Kästen zeigen die Gesamtzahl der Datenreihen mit signifikanten Veränderungen (obere Zeile) und den Anteil jener Änderungen (in Prozent), die mit der Erwärmung im Einklang stehen (untere Zeile) für (i) kontinentale Gebiete: Nordamerika (NAM), Lateinamerika (LA), Europa (EUR), Afrika (AFR), Asien (AS), Australien und Neuseeland (ANZ) und die Polarregionen (PR) sowie (ii) auf globaler Ebene: terrestrisch (TER), Meer- und Süßwasser [Marine and Freshwater (MFW)] und global (GLO). Die Zahlen der Studien in den sieben Regional-Kästen (NAM, …, PR) entsprechen in der Summe nicht den Endsummen auf globaler Ebene (GLO), weil die Zahlen für die Regionen – außer für die Polarregionen – die Zahlen für Meer- und Süßwassersysteme (MFR) nicht mit einschließen. Gebiete großräumiger Änderungen im Meer sind auf der Karte nicht dargestellt [Arbeitsgruppe II, Vierter Sachstandsbericht Abb.1.8, Abb.1.9; Arbeitsgruppe I, Vierter Sachstandsbericht Abb.3.9b].*

C. Derzeitiger Kenntnisstand über künftige Auswirkungen

Im Folgenden wird eine Auswahl der wesentlichsten Erkenntnisse bezüglich der projizierten Auswirkungen für die vom IPCC für dieses Jahrhundert[8] prognostizierte – und für den Menschen und die Umwelt als relevant erachtete[9] – Bandbreite (ungemilderter) Klimaänderungen dargestellt und einige Erkenntnisse über Verwundbarkeiten und Anpassungsstrategien in jedem System, Sektor und in jeder Region festgehalten. Die Auswirkungen spiegeln häufig – neben Änderungen der Temperatur, des Meeresspiegels und der atmosphärischen Kohlendioxidkonzentrationen – prognostizierte Niederschlagsänderungen und andere Klimavariablen wider. Das Ausmaß und der Zeitpunkt der Auswirkungen werden je nach Umfang und Zeitpunkt der Klimaänderung sowie – in manchen Fällen – je nach Anpassungsfähigkeit variieren. Diese Fragen werden in späteren Abschnitten dieser Zusammenfassung vertieft.

Genauere Informationen bezüglich der Art zukünftiger Auswirkungen sind nun für eine breite Palette von Systemen und Sektoren – einschließlich einiger Bereiche, die in früheren Bewertungen nicht erfasst waren – verfügbar.

Süßwasserressourcen und ihre Bewirtschaftung

Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird der mittlere Jahresabfluss in Flüssen und die Wasserverfügbarkeit in hohen Breiten und einigen feuchten Tropengebieten ein Anstieg von 10-40 % projiziert, für einige trockene Gebiete in den mittleren Breiten sowie für trockene Tropengebiete, die derzeit unter Wassermangel leiden, hingegen eine Abnahme um 10-30%. An einigen Orten und während bestimmter Jahreszeiten weichen die Veränderungen von diesen jährlichen Zahlenangaben ab. ** E[10] [3.4]

Es ist wahrscheinlich, dass sich von Dürre betroffene Gebiete flächenmäßig ausdehnen. Schwere Niederschlagsereignisse, bei denen eine Häufigkeitszunahme sehr wahrscheinlich ist, werden das Überschwemmungsrisiko erhöhen. ** N [Arbeitsgruppe I, Vierter Sachstandsbericht, Tabelle SPM.2.; Arbeitsgruppe II, Vierter Sachstandsbericht 3.4]

Für den Verlauf dieses Jahrhunderts wird für die in Gletschern und Schneedecken gespeicherten Wassermengen ein Rückgang projiziert. Dadurch nimmt die Wasserverfügbarkeit in Regionen, die vom Schmelzwasser der großen Gebirgsketten versorgt werden und in denen derzeit mehr als ein Sechstel der Weltbevölkerung lebt, ab. ** N [3.4]

In einigen Ländern und Regionen, welche die hydrologischen Veränderungen und damit verbundene Unsicherheiten erkannt haben, werden Anpassungsmaßnahmen und Praktiken für ein Risikomanagement im Wassersektor entwickelt. *** N [3.6]

Ökosysteme

Es ist wahrscheinlich, dass die Widerstandsfähigkeit zahlreicher Ökosysteme in diesem Jahrhundert aufgrund einer noch nie da gewesenen Kombination von Klimaänderung, damit verbundenen Störungen (z.B. Überschwemmungen, Dürre, Flächenbrände, Insekten, Ozeanversauerung) und anderen Antriebselementen des globalen Wandels (z.B. Landnutzungsänderungen, Verschmutzung, Übernutzung von Ressourcen) überschritten wird. ** N [4.1 bis 4.6]

Die Nettoaufnahme von Kohlenstoff durch terrestrische Ökosysteme wird wahrscheinlich vor der Mitte dieses Jahrhunderts einen Höchststand erreichen, anschließend schwächer werden - oder sich sogar umkehren[11] - und dadurch eine Verstärkung der Klimaänderung bewirken. ** N [4.ES, Abb.4.2]

Wenn der Anstieg der mittleren globalen Temperatur 1,5-2,5°C überschreitet, ist ein erhöhtes Aussterberisiko für ca.

8 Temperaturänderungen werden als Differenz zum Zeitraum 1980-1999 ausgedrückt. Um diese in Bezug zum Zeitraum 1850-1899 zu setzen, müssen 0,5 °C addiert werden.

9 Auswahlkriterien: Ausmaß und Zeitpunkt der Auswirkung, Vertrauen in die Bewertung, repräsentative Erfassung des Systems, Sektors und der Region.

10 Im Text unter Abschnitt C werden folgende Begriffe verwendet:

Verhältnis zum Dritten Sachstandsbericht (TAR):

E Weiterentwicklung einer Schlussfolgerung aus dem Dritten Sachstandsbericht

N Neue Schlussfolgerung, im Dritten Sachstandsbericht nicht enthalten

Vertrauensniveau für die Aussage insgesamt:

*** Sehr hohes Vertrauen

** Hohes Vertrauen

* Mittleres Vertrauen

11 Unter der Annahme fortgesetzter Treibhausgasemissionen mit derzeitiger oder höherer Anstiegsrate und anderen globalen Veränderungen, einschließlich Landnutzungsänderungen.

20-30 % der bisher untersuchten Tier- und Pflanzenarten wahrscheinlich. * N [4.4, T4.1]

Bei einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um mehr als 1,5-2,5°C und einem gleichzeitigen Anstieg der CO2-Konzentration in der Luft werden erhebliche Veränderungen der Struktur und Funktion von Ökosystemen sowie der ökologischen Interaktionen und geografischen Verbreitung von Arten – mit hauptsächlich negativen Folgen für die Biodiversität sowie für Güter und Leistungen der Ökosysteme wie z.B. Wasser- und Nahrungsmittelversorgung – projiziert. ** N [4.4]

Es ist zu erwarten, dass sich die fortschreitende Versauerung der Ozeane aufgrund des steigenden atmosphärischen Kohlendioxidgehalts negativ auf marine schalenbildende Lebewesen (z.B. Korallen) und die von ihnen abhängigen Arten auswirkt. *N[B4.4, 6.4]

Nahrungsmittel, Faserstoffe und Produkte des Waldes

Bei einem Anstieg der lokalen mittleren Temperatur um bis zu 1-3°C wird für das Ernteertragspotenzial in mittleren bis hohen Breiten – abhängig von der Nutzpflanze – ein leichter Anstieg, bei Temperaturen oberhalb dieser Schwelle für einige Regionen ein Rückgang projiziert. * E [5.4]

In niedrigeren Breiten, insbesondere saisonal trockenen und Tropengebieten, wird für das Ernteertragspotenzial eine Abnahme selbst bei geringem Anstieg der lokalen Temperatur (1-2°C) projiziert, was ein erhöhtes Hungerrisiko zur Folge haben würde. * E [5.4]

Global gesehen wird bei einem Anstieg der lokalen mittleren Temperatur im Bereich von 1-3°C eine Steigerung des Potenzials für die Nahrungsmittelproduktion, bei einem Anstieg darüber hinaus hingegen eine Verringerung projiziert. * E [5.4, 5.6]

Bei zunehmender Häufigkeit von Dürren und Überschwemmungen wird ein negativer Einfluss auf die Produktion vor Ort, insbesondere in den für die Existenz notwendigen Sektoren in den niedrigen Breiten, projiziert. ** E [5.4, 5.ES]

Eine Anpassung, wie etwa veränderte Sorten sowie Anpflanzungs- bzw. Aussaatzeiten, ermöglicht – bei mäßiger Erwärmung – in mittleren bis hohen Breiten, die Getreideerträge auf derzeitigem oder höherem Niveau zu halten. * N [5.5]

Global gesehen ist in der Holzproduktion bei einer Klimaänderung kurz- bis mittelfristig ein mäßiger Anstieg der wirtschaftlichen Ertragsfähigkeit – mit großen regionalen Schwankungen um den globalen Trend – zu verzeichnen. * E [5.4]

Infolge fortschreitender Erwärmung sind bei der Verbreitung und Produktion bestimmter Fischarten regionale Veränderungen – mit projizierten nachteiligen Auswirkungen für Aquakulturen und Fischereien – zu erwarten. ** E [5.4]

Küstensysteme und tief liegende Gebiete

Es wird projiziert, dass die Küsten infolge der Klimaänderung und des Anstiegs des Meeresspiegels immer größeren Risiken – einschließlich Küstenerosion – ausgesetzt sein werden. Dieser Effekt wird durch den zunehmenden Druck, den der Mensch auf die Küstengebiete ausübt, noch verschärft. *** E [6.3, 6.4]

Korallen sind durch Hitzestress verwundbar und haben eine geringe Anpassungskapazität. Bei einem Anstieg der Meeresoberflächentemperatur um ca. 1-3°C werden – sofern es bei den Korallen zu keiner Anpassung an die Erwärmung oder Akklimatisierung kommt – ein vermehrtes Eintreten von Korallenbleiche und ein großräumiges Absterben projiziert. *** E [B6.1, 6.4]

Für Küstenfeuchtgebiete – einschließlich Salzmarschen und Mangroven – werden durch den Anstieg des Meeresspiegels negative Auswirkungen projiziert, insbesondere dort, wo landeinwärts Hemmnisse bestehen oder kaum Sediment vorhanden ist. *** E [6.4]

Aufgrund des Anstiegs des Meeresspiegels wird projiziert, dass bis zu den 2080er-Jahren viele Millionen Menschen mehr pro Jahr von Überschwemmungen betroffen sein werden. Für dicht besiedelte Standorte sowie tief liegende Gebiete, in denen die Anpassungskapazität relativ gering ist und die bereits durch andere Gefahren wie etwa Tropenstürme und örtliche Absenkung der Küsten bedroht sind, ist das Risiko besonders hoch. Die Anzahl der betroffenen Menschen wird in den Großdeltas Asiens und Afrikas am höchsten sein, während die kleinen Inseln in besonderem Maße verwundbar sind. *** E [6.4]

Die Anpassung in Küstengebieten stellt für Entwicklungsländer aufgrund ihrer begrenzten Anpassungskapazität eine größere Herausforderung dar als für Industrieländer. ** E [6.4, 6.5, T6.11]

Industrie, Siedlungen und Gesellschaft

Kosten und Nutzen der Klimaänderung für Industrie, Siedlungen und Gesellschaft werden – je nach Ort und Umfang – sehr unterschiedlich ausfallen. Insgesamt betrachtet werden sich die Auswirkungen jedoch tendenziell umso negativer darstellen, je größer die Klimaänderung ausfällt. ** N [7.4, 7.6]

Am verwundbarsten sind Industrien, Siedlungen und Gesellschaften im Allgemeinen in Küsten- oder Flussschwemmgebieten sowie dort, wo die Wirtschaft eng an klimatisch sensible Ressourcen gebunden ist, aber auch in Gebieten, die für extreme Wetterereignisse anfällig sind - insbesondere dort, wo die Urbanisierung rasch voranschreitet. ** E [7.1, 7.3, 7.4, 7.5]

Arme Bevölkerungsgruppen können besonders verwundbar sein, vor allem wenn sie konzentriert in Hochrisikogebieten leben. Meist verfügen sie über eingeschränktere Anpassungskapazitäten und sind in höherem Maß abhängig von klimatisch sensiblen Ressourcen wie der örtlichen Wasser- und Nahrungsmittelversorgung. ** N [7.2, 7.4, 5.4]

Wo extreme Wetterereignisse intensiver und/oder häufiger werden, wird es zu einem Anstieg der damit verbundenen wirtschaftlichen und sozialen Kosten kommen. Dieser Anstieg wird in den am unmittelbarsten betroffenen Gebieten erheblich ausfallen. Aufgrund weit reichender und komplexer Verflechtungen wird eine Ausweitung der Auswirkungen der Klimaänderung von unmittelbar betroffenen Gebieten und Sektoren auf weitere Gebiete und Sektoren die Folge sein. ** N [7.4, 7.5]

Gesundheit

Projizierte, durch Klimaänderungen bedingte, Belastungen werden voraussichtlich den Gesundheitszustand von Millionen von Menschen – vor allem jener mit geringer Anpassungskapazität – in Mitleidenschaft ziehen, durch

- wachsende Unterernährung und Folgeerkrankungen, mit Auswirkungen auf Wachstum und Entwicklung von Kindern;
- erhöhte Sterblichkeit sowie mehr Erkrankungen und Verletzungen aufgrund von Hitzewellen, Überschwemmungen, Stürmen, Bränden und Dürren;
- erhöhte Belastung durch Durchfallserkrankungen;
- vermehrte Häufigkeit von Herz- und Atemwegserkrankungen aufgrund höherer Konzentrationen von bodennahem Ozon, welche durch Klimaänderung bedingt sind, sowie
- eine veränderte räumliche Verbreitung der Überträger einiger Infektionskrankheiten

** E [8.4, 8.ES, 8.2]

Die Klimaänderung wird voraussichtlich in manchen Fällen uneinheitliche Folgen haben – so z. B. eine Ab- oder Zunahme von Ausbreitungsgebieten und -möglichkeiten der Malaria in Afrika. ** E [8.4]

Studien in gemäßigten Gebieten[12] haben gezeigt, dass die Klimaänderung voraussichtlich gewisse Vorteile für die Gesundheit mit sich bringen wird, wie z.B. einen Rückgang von durch Kälte verursachten Todesfällen. Insgesamt ist zu erwarten, dass weltweit – insbesondere in den Entwicklungsländern – die negativen Effekte steigender Temperaturen auf die Gesundheit die Vorteile überwiegen. ** E [8.4]

Das Verhältnis zwischen positiven und negativen Auswirkungen für die Gesundheit wird von Ort zu Ort unterschiedlich sein und sich bei einem weiteren Temperaturanstieg im Verlauf der Zeit ändern. Faktoren, die einen direkten Einfluss auf die Gesundheit der Bevölkerung haben – wie z.B. das Bildungs- und Gesundheitswesen, die öffentliche Gesundheitsvorsorge sowie Infrastruktur und die wirtschaftliche Entwicklung – werden von entscheidender Bedeutung sein. *** N [8.3]

Genauere Informationen bezüglich der Art zukünftiger Auswirkungen sind nun quer über die Regionen der Welt – einschließlich einiger Gegenden, die in früheren Bewertungen nicht erfasst waren – verfügbar.

Afrika

Es wird projiziert, dass bis zum Jahr 2020 75 bis 250 Millionen Menschen aufgrund der Klimaänderung unter zunehmender Wasserknappheit leiden. In Verbindung mit einem erhöhten Bedarf wird sich dies negativ auf den

[12] Studien hauptsächlich in Industrieländern.

Lebensunterhalt auswirken und zu einer Verschlimmerung wasserbedingter Probleme führen. ** E [9.4, 3.4, 8.2, 8.4]

Durch Klimaschwankungen und -änderungen werden für viele Länder und Regionen Afrikas schwerwiegende Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Produktion – einschließlich des Zugangs zu Nahrungsmitteln – projiziert. Vor allem am Rande arider und semi-arider Gebiete wird die für die Landwirtschaft geeignete Fläche, ebenso wie Vegetationszeiten und das Ertragspotenzial, voraussichtlich zurückgehen. Dies würde die Nahrungsmittelsicherheit beeinträchtigen und die Unterernährung auf dem Kontinent verstärken. In einigen Ländern könnten sich die Erträge aus der vom Regen abhängigen Landwirtschaft bis 2020 um bis zu 50 % reduzieren. ** N [9.2, 9.4, 9.6]

Für die örtliche Nahrungsmittelversorgung werden – durch abnehmende Fischressourcen aufgrund steigender Wassertemperaturen in großen Seen – negative Auswirkungen projiziert, die durch fortgesetzte Überfischung noch verschlimmert werden können. ** N [9.4, 5.4, 8.4]

Gegen Ende des 21. Jahrhunderts wird der projizierte Anstieg des Meeresspiegels eine Bedrohung für tief liegende, bevölkerungsreiche Küstengebiete darstellen. Die Kosten für Anpassungsmaßnahmen könnten mindestens 5-10 % des Bruttoinlandsprodukts (BIP) betragen. Für die Mangroven und Korallenriffe werden ein weiterer Rückgang und – damit verbunden – zusätzliche Folgen für Fischerei und Tourismus projiziert. ** E [9.4]

Neue Studien belegen, dass Afrika aufgrund von Mehrfachbelastungen und niedriger Anpassungskapazität einer der verwundbarsten Kontinente gegenüber Klimaschwankungen und -änderungen ist. Zwar findet eine Anpassung an derzeitige Klimaschwankungen in gewissem Maß statt, doch dürfte diese – im Hinblick auf zukünftige Veränderungen des Klimas – unzureichend sein. ** N [9.5]

Asien

Als Folge der Gletscherschmelze werden im Himalaya-Gebirge für den Zeitraum der nächsten zwei bis drei Jahrzehnte vermehrt Überschwemmungen, Bergstürze an destabilisierten Hängen sowie Beeinträchtigungen der Wasserressourcen projiziert. Danach wird es durch das Zurückweichen der Gletscher zu einer Abnahme der Abflussmenge in Flüssen kommen. * N [10.2, 10.4]

In Zentral-, Süd-, Ost- sowie Südostasien wird vor allem in großen Flusseinzugsgebieten infolge der Klimaänderung ein Rückgang des verfügbaren Süßwassers projiziert, welcher sich – in Verbindung mit dem Bevölkerungszuwachs und einem aufgrund des steigenden Lebensstandards erhöhten Bedarf – bis zu den 2050er-Jahren für mehr als eine Milliarde Menschen nachteilig auswirken könnte. ** N [10.4]

Für Küstengebiete, insbesondere dicht besiedelte Regionen großer Küstendeltas in Süd-, Ost- und Südostasien, wird das Risiko für zunehmende Meeres- und – in einigen Großdeltas - Flussüberflutungen am größten sein. ** E [10.4]

Die Klimaänderung wird voraussichtlich auf die nachhaltige Entwicklung der meisten Entwicklungsländer Asiens einen Einfluss haben, da sie – in Verbindung mit rascher Urbanisierung, Industrialisierung und wirtschaftlicher Entwicklung – den Druck auf die natürlichen Ressourcen und die Umwelt zusätzlich erhöht. ** E [10.5]

Während für die Ernteerträge in Ost- und Südostasien ein möglicher Anstieg um bis zu 20 % projiziert wird, könnten Zentral- und Südasien bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts Rückgänge um bis zu 30 % zu verzeichnen haben. Bei gemeinsamer Betrachtung – und unter Berücksichtigung des Einflusses von raschem Bevölkerungswachstum und der Urbanisierung – wird das Hungerrisiko in mehreren Entwicklungsländern voraussichtlich stark erhöht bleiben. * N [10.4]

Endemische Krankheiten und Todesfälle infolge von – vorrangig in Verbindung mit Überschwemmungen und Dürren auftretenden – Durchfallserkrankungen werden in Ost-, Süd- und Südostasien aufgrund projizierter, mit der globalen Erwärmung in Verbindung stehender Änderungen des hydrologischen Kreislaufs voraussichtlich zunehmen. Eine Erhöhung der Wassertemperatur in Küstengebieten würde ein vermehrtes Auftreten und/oder eine erhöhte Toxizität der Cholera in Südasien bewirken. ** N [10.4]

Australien und Neuseeland

Die Probleme bei der Wasserversorgung in Süd- und Ostaustralien sowie in Neuseeland, im Northland und in einigen Regionen im Osten werden sich voraussichtlich bis 2030 durch abnehmende Niederschläge und vermehrte Verdunstung verstärken. ** E [11.4]

Für einige ökologisch reiche Gebiete, wie z.B. das Great Barrier Reef und die feuchten Tropengebiete von Queensland, werden signifikante Verluste der Biodiversität bis 2020 projiziert. Zu weiteren gefährdeten Gebieten zählen die Kakadu-Feuchtgebiete, Südwestaustralien, die Inseln der Subantarktis und die alpinen Bereiche in beiden Ländern. *** E [11.4]

Für Gebiete wie z.B. Cairns und Südost-Queensland (Australien) sowie für Northland bis zur Bay of Plenty (Neuseeland) werden durch die anhaltende Entwicklung an der Küste und den Bevölkerungszuwachs bis 2050 ein erhöhtes Risiko durch Anstieg des Meeresspiegels sowie an Stärke und Häufigkeit zunehmende Stürme und Küstenüberflutungen projiziert. *** E [11.4, 11.6]

Bis zum Jahr 2030 wird die land- und forstwirtschaftliche Produktion aufgrund vermehrt auftretender Dürre und Brände in weiten Teilen Süd- und Ostaustraliens sowie in Teilen des östlichen Neuseelands voraussichtlich einen Rückgang verzeichnen. In Neuseeland hingegen werden - aufgrund längerer Vegetationszeiten, eines geringeren Frostrisikos und vermehrter Regenfälle - für die Land- und Forstwirtschaft in den westlichen und südlichen Gebieten sowie im Nahbereich von Flüssen anfängliche Vorteile projiziert. ** N [11.4]

Zwar verfügt die Region aufgrund ihrer gut entwickelten Wirtschaft und wissenschaftlichen und technischen Leistungsfähigkeit über beachtliche Anpassungskapazitäten; hinsichtlich ihrer Umsetzung bestehen jedoch erhebliche Einschränkungen. Ebenso stellen die Veränderungen extremer Ereignisse bedeutende Herausforderungen dar. Natürliche Systeme verfügen über eine begrenzte Anpassungskapazität. ** N [11.2, 11.5]

Europa

Erstmals sind nun weit reichende Auswirkungen von Veränderungen des derzeit herrschenden Klimas dokumentiert: Rückzug der Gletscher, längere Vegetationszeiten, eine Verlagerung der Verbreitungsgebiete von Arten und Auswirkungen auf die Gesundheit aufgrund einer Hitzewelle von noch nie da gewesenem Ausmaß. Die oben beschriebenen beobachteten Veränderungen stehen mit jenen, die für künftige Klimaänderungen projiziert werden, im Einklang. *** N [12.2, 12.4, 12.6]

Für nahezu alle Regionen Europas werden durch einige künftige Auswirkungen der Klimaänderung nachteilige Beeinträchtigungen erwartet, die für viele Wirtschaftssektoren Herausforderungen darstellen. In Bezug auf natürliche Ressourcen und Güter wird die Klimaänderung voraussichtlich regionale Differenzen in Europa verstärken. Zu den negativen Auswirkungen zählen ein erhöhtes Risiko durch flutartige Überschwemmungen im Landesinneren, an Häufigkeit zunehmende Küstenüberschwemmungen und eine verstärkte Erosion (durch Gewitter und Meeresspiegelanstieg). Für die überwiegende Mehrheit von Organismen und Ökosystemen wird sich eine Anpassung an den Klimawandel als schwierig erweisen. In den Gebirgsregionen wird es zu einem Rückzug der Gletscher, einem Rückgang der Schneedecke und des Wintertourismus und zu einem erheblichen Verlust der Arten (in Hochemissions-Szenarien in manchen Gebieten um bis zu 60 % bis 2080) kommen. *** E [12.4]

Für Südeuropa – eine Region, die der Klimavariabilität gegenüber bereits heute verwundbar ist – werden infolge der Klimaänderung schlechtere Bedingungen (hohe Temperaturen und Dürre), geringere Wasserverfügbarkeit und geringeres Wasserkraft-Potenzial sowie ein Rückgang des Sommertourismus und der Ernteertragsfähigkeit im Allgemeinen, aber auch ein erhöhtes Gesundheitsrisiko durch Hitzewellen sowie eine vermehrte Häufigkeit von Waldbränden projiziert. ** E [12.2, 12.4, 12.7]

Für Mittel- und Osteuropa werden abnehmende Niederschläge im Sommer und damit eine zunehmende Wasserknappheit sowie ein zunehmendes gesundheitliches Risiko als Folge von Hitzewellen projiziert. Die Ertragsfähigkeit des Waldes wird voraussichtlich ab-, die Häufigkeit von Moorbränden zunehmen. ** E [12.4]

Die für Nordeuropa projizierten Effekte der Klimaänderung werden anfänglich uneinheitlich ausfallen und auch einige Vorteile – z.B. verminderter Heizbedarf, steigende Ernteerträge und verstärktes Waldwachstum – mit sich bringen. Bei fortgesetzter Klimaänderung werden jedoch wahrscheinlich die negativen Auswirkungen (darunter häufigere winterliche Hochwässer, gefährdete Ökosysteme und anwachsende Bodeninstabilität) die Vorteile überwiegen. ** E [12.4]

Eine Anpassung an die Klimaänderung wird wahrscheinlich von Erfahrungen profitieren, die bei Reaktionen auf extreme Klimaereignisse gewonnen wurden, speziell durch die Umsetzung von Anpassungsplänen für ein proaktives Klimaänderungs-Risikomanagement. *** N [12.5]

Lateinamerika

Bei einem Anstieg der Temperatur und einer damit verbundenen Abnahme der Bodenfeuchtigkeit wird im östlichen Amazonien bis zur Mitte des Jahrhunderts eine allmähliche Umwandlung tropischer Wälder in Savannen projiziert. Die semi-aride Vegetation wird tendenziell einer ariden Bodenvegetation weichen. Infolge des Aussterbens von Arten besteht für viele tropische Gebiete Lateinamerikas das Risiko eines signifikanten Biodiversitätsverlust. ** E [13.4]

In trockeneren Gebieten führt die Klimaänderung voraussichtlich zu Versalzung und Wüstenbildung von landwirtschaftlich genutzten Flächen. Für die Ertragsfähigkeit einiger wichtiger Nutzpflanzen, ebenso wie für die Produktivität in der Viehhaltung, wird ein Rückgang mit ungünstigen Folgen für die Nahrungsmittelsicherheit projiziert. In den gemäßigten Zonen wird ein Anstieg der Erträge von Sojabohnen projiziert. ** N [13.4, 13.7]

Für tief liegende Gebiete wird auf Grund des Anstiegs des Meeresspiegels ein erhöhtes Risiko durch Überschwemmungen projiziert. Infolge des Anstiegs der Meeresoberflächentemperatur, welche durch die Klimaänderung bedingt ist, werden nachteilige Auswirkungen auf die mittelamerikanischen Korallenriffe sowie örtliche Verlagerungen des südostpazifischen Fischbestands projiziert. ** N [13.4, 13.7]

Für die Verfügbarkeit von Wasser für den menschlichen Verbrauch sowie für Landwirtschaft und Energieerzeugung werden signifikante Beeinträchtigungen durch veränderte Niederschlagsmuster und das Verschwinden von Gletschern projiziert. ** E [13.4]

Einige Länder haben Anstrengungen zur Anpassung unternommen, insbesondere im Hinblick auf den Schutz von Schlüsselökosystemen, Frühwarnsysteme, Risikomanagement in der Landwirtschaft, Strategien zum Überschwemmungs-, Dürre- und Küstenmanagement und Krankheitsüberwachungssysteme. Allerdings wird die Wirksamkeit dieser Bemühungen u.a. durch folgende Mängel aufgewogen: das Fehlen grundlegender Informations-, Beobachtungs- und Monitoringsysteme; das Fehlen von Kompetenzaufbau sowie von geeigneten politischen, institutionellen und technologischen Rahmenbedingungen; durch niedriges Einkommen und durch Ansiedelung in verwundbaren Gebieten. ** E [13.2]

Nordamerika

Durch die Erwärmung im westlichen Gebirge wird eine Verringerung der Schneedecke, eine Zunahme der Überschwemmungen im Winter sowie ein Rückgang der sommerlichen Abflussmengen und dadurch eine Verschärfung des Wettbewerbs um übernutzte Wasserressourcen projiziert. *** E [14.4, B14.2]

Für die Wälder werden in zunehmendem Maß Störungen durch Schädlinge, Krankheiten und Brände sowie ein, über einen längeren Zeitraum hinausgehendes, hohes Brandrisiko und eine starke Zunahme verbrannter Flächen projiziert. *** N [14.4, B14.1]

Für die vom Regen abhängige Landwirtschaft wird infolge einer mäßigen Klimaänderung in den ersten Jahrzehnten zu Beginn des Jahrhunderts ein Anstieg der Gesamterträge um 5-20 % projiziert – allerdings mit erheblichen Schwankungen zwischen den Regionen. Für Nutzpflanzen, die bereits in der Nähe des warmen Endes ihrer entsprechenden Verbreitungsgebiete liegen oder von stark genutzten Wasserressourcen abhängen, werden sich bedeutende Herausforderungen ergeben. ** E [14.4]

Städte, die bereits jetzt Hitzewellen zu verzeichnen haben, werden solchen im Laufe des Jahrhunderts voraussichtlich in vermehrtem, intensiverem und länger anhaltendem Ausmaß ausgesetzt sein, ebenso wie den damit verbundenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen. Der Anteil der älteren Bevölkerung ist hiervon am stärksten betroffen. *** E [14.4]

Bevölkerung und Lebensräume in den Küstengebieten werden durch die Auswirkungen der Klimaänderung – zusammen mit Einflüssen von Entwicklung und Verschmutzung – in zunehmendem Maße belastet werden. Der Bevölkerungszuwachs und der steigende Wert der Infrastruktur in Küstengebieten erhöhen die Verwundbarkeit gegenüber Klimaschwankungen und zukünftigen Klimaänderungen – mit einem absehbaren Anstieg an Verlusten, wenn die Tropenstürme an Intensität zunehmen. Die gegenwärtigen Anpassungsmaßnahmen sind uneinheitlich und die Bereitschaft in Bezug auf die wachsende Gefährdung ist gering. *** N [14.2, 14.4]

Polarregionen

Zu den wesentlichen projizierten biophysikalischen Auswirkungen in den Polarregionen zählen der Rückgang

der Dicke und Ausdehnung von Gletschern und Eisschilden sowie Veränderungen natürlicher Ökosysteme mit nachteiligen Auswirkungen für zahlreiche Organismen, wie z.B. Wandervögel, Säugetiere und Raubtiere an der Spitze der Nahrungskette. Zu den zusätzlichen Auswirkungen in der Arktis zählen Rückgänge in der Ausdehnung von Meereis- und Permafrostflächen, zunehmende Küstenerosion und der Anstieg der saisonalen Tautiefe in Permafrostregionen. ** E [15.3, 15.4, 15.2]

Die für menschliche Gemeinschaften in der Arktis projizierten Auswirkungen – insbesondere infolge veränderter Bedingungen von Schnee und Eis – werden unterschiedlich ausfallen. Zu den nachteiligen Auswirkungen wären Folgen für die Infrastruktur sowie für die traditionelle indigene Lebensweise zu zählen. ** E [15.4]

Zu den vorteilhaften Auswirkungen wären niedrigere Heizkosten und eine bessere Schiffbarkeit der nördlichen Meeresrouten zu zählen. * E [15.4]

Für beide Polarregionen zeigen die Projektionen eine Verwundbarkeit spezifischer Ökosysteme und Lebensräume durch das Eindringen von Arten infolge niedrigerer klimatischer Barrieren. ** E [15.6, 15.4]

Menschliche Gemeinschaften in der Arktis passen sich bereits an die Klimaänderung an, doch stellen externe wie auch interne Belastungsfaktoren eine Herausforderung ihrer Anpassungskapazität dar. Trotz der historisch erwiesenen Belastbarkeit indigener Bevölkerungsgruppen der Arktis sind nunmehr einige traditionelle Lebensweisen gefährdet und beträchtliche Investitionen zur Anpassung oder Umsiedlung von materiellen Bauten und Bevölkerungsgruppen erforderlich. ** E [15.ES; 15.4, 15.5, 15.7]

Kleine Inseln

Kleine Inseln, sowohl in den Tropen als auch in höheren Breiten, sind aufgrund ihrer Merkmale den Folgen der Klimaänderung, dem Anstieg des Meeresspiegels und extremen Ereignissen gegenüber besonders verwundbar. *** E [16.1, 16.5]

Die beispielsweise durch Erosion der Strände sowie Korallenbleiche hervorgerufene Verschlechterung des Küstenzustandes wird voraussichtlich eine Beeinträchtigung örtlicher Ressourcen, wie z.B. der Fischerei, zur Folge haben und die Attraktivität dieser Ziele für den Tourismus verringern. ** E [16.4]

Der Anstieg des Meeresspiegels wird voraussichtlich zu einer Verstärkung von Überschwemmungen, Sturmfluten, Erosion und anderen Küstengefahren führen und dadurch die lebensnotwendige Infrastruktur sowie Siedlungen und Einrichtungen, die dem Lebensunterhalt der Inselbevölkerung zugrunde liegen, gefährden. *** E [16.4]

Die Projektionen für zahlreiche kleine Inseln – z.B. in der Karibik und im Pazifik – zeigen, dass die Wasserressourcen durch die Klimaänderung bis zur Mitte des Jahrhunderts auf eine Menge verringert werden, die nicht ausreicht, um den Bedarf in Zeiten geringer Regenfälle zu decken. *** E [16.4]

Mit höheren Temperaturen wird voraussichtlich eine vermehrte Einwanderung nicht-heimischer Arten auftreten, vor allem auf den Inseln der mittleren und hohen Breiten. ** N [16.4]

Die Ausmaße dieser Auswirkungen können nun für verschiedene mögliche Anstiege der mittleren globalen Temperatur systematischer abgeschätzt werden.

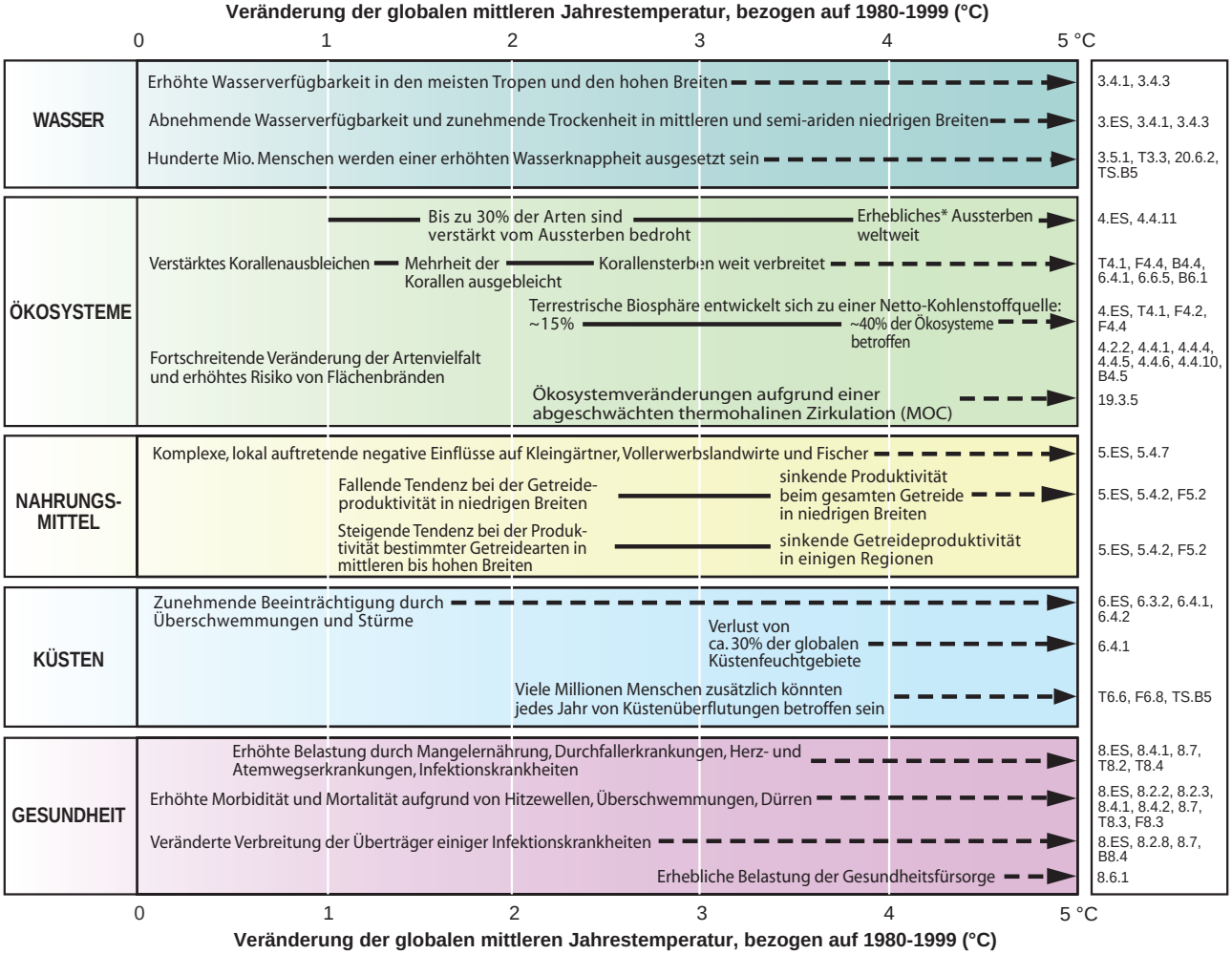
Seit dem Dritten IPCC-Sachstandsbericht haben viele zusätzliche Studien, insbesondere in zuvor wenig erforschten Regionen, zu einem systematischeren Verständnis dafür geführt, wie Zeitpunkt und Ausmaß der Auswirkungen von Änderungen des Klimas und des Meeresspiegels – welche wiederum mit Änderungen der globalen Durchschnittstemperatur unterschiedlichen Ausmaßes und unterschiedlicher Geschwindigkeit in Zusammenhang stehen – beeinflusst werden können.

Beispiele für diese neuen Erkenntnisse sind in Abbildung SPM.2. dargestellt. Die ausgewählten Einträge sind solche, die für Mensch und Umwelt als relevant erachtet wurden und für die ein hohes Vertrauen in deren Bewertung besteht. Alle Einträge über die Auswirkungen sind Kapiteln des Sachstandsberichts entnommen, in denen nähere Erläuterungen enthalten sind.

Basierend auf einer Reihe von Kriterien in der Literatur (Ausmaß, Zeitpunkt, Fortdauer/Umkehrbarkeit, Anpassungspotenzial, Aspekte der Verbreitung, Wahrscheinlichkeit und „Bedeutung“ der Auswirkungen) konnten – je nach Sachlage – einige dieser Auswirkungen

mit Haupt-Verwundbarkeiten assoziiert werden. Eine Bewertung solcher potenzieller Haupt-Verwundbarkeiten soll Informationen über Geschwindigkeit und Grad der Klimaänderung liefern und den Entscheidungsträgern helfen, auf Gefahren der Klimaänderung angemessen zu reagieren. [19.ES, 19.1]

Die im Dritten Sachstandsbericht festgehaltenen „Gründe zur Besorgnis" bilden einen nach wie vor gültigen Rahmen bei der Berücksichtigung von Haupt-Verwundbarkeiten. Die Erkenntnisse des Dritten Sachstandsberichts wurden durch neu durchgeführte Forschungsarbeiten aktualisiert. [19.3]



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

Abbildung SPM.2. *Illustrative Beispiele für projizierte globale Auswirkungen von Klimaänderungen (und, falls relevant, von Meeresspiegel und atmosphärischem Kohlendioxid), in Verbindung mit Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur unterschiedlichen Ausmaßes im 21. Jahrhundert [T20.8]. Die schwarzen Linien verbinden die Auswirkungen untereinander, die gestrichelten Pfeile zeigen die bei steigender Temperatur fortgesetzten Auswirkungen. Die Einträge sind so platziert, dass die linke Seite des Textes den ungefähren Beginn einer Auswirkung angibt. Mengenmäßige Einträge bezüglich Wasserknappheit und Überschwemmungen stellen zusätzliche Auswirkungen der Klimaänderung dar, und zwar in Bezug auf die innerhalb der Bandbreite der SRES-Szenarien (A1F1, A2, B1 und B2; siehe Kasten 3 am Ende dieser Zusammenfassung) projizierten Bedingungen. Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung sind in diesen Abschätzungen nicht enthalten. Alle Einträge sind veröffentlichten Studien entnommen, die in den Kapiteln des Sachstandsberichts verzeichnet sind. Die Quellenangaben befinden sich in der Spalte rechts von der Tabelle. Für alle Aussagen besteht ein hohes Vertrauensniveau.*

Die Auswirkungen werden sich sehr wahrscheinlich durch geänderte Häufigkeiten und Intensitäten von extremen Wetter-, Klima und Meeresspiegelereignissen, verändern.

Seit dem Dritten Sachstandsbericht des IPCC hat das Vertrauen zugenommen, dass einige Wetterereignisse und -extreme im Laufe des 21. Jahrhunderts häufiger, ausgedehnter und/oder intensiver werden; außerdem weiß man besser über die potenziellen Effekte solcher Änderungen Bescheid. Eine Auswahl dieser Auswirkungen ist in Tabelle SPM.1. dargestellt.

Die Richtung von Trends und Wahrscheinlichkeit der Phänomene beziehen sich auf IPCC-SRES Projektionen der Klimaänderung.

Einige großskalige Klimaereignisse haben das Potenzial sehr umfangreiche Auswirkungen zu verursachen, insbesondere nach dem 21. Jahrhundert.

Sehr starke Anstiege des Meeresspiegels, wie sie ein weitgehendes Abschmelzen der Eisschilder Grönlands und der Westantarktis bewirken würde, ziehen erhebliche Änderungen von Küstenstrukturen und Ökosystemen sowie Überschwemmungen tief liegender Gebiete nach sich, wobei die Auswirkungen in den Flussdeltas am größten sind. Eine Umsiedlung der Bevölkerung, der Wirtschaftstätigkeiten und der Infrastruktur wäre kostspielig und eine Herausforderung. Es besteht mittleres Vertrauen, dass bei einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um 1-4° C (bezogen auf 1990-2000) das Grönländische Eisschild und möglicherweise auch das Westantarktische Eisschild über einen Zeitraum, der sich über Jahrhunderte bis zu Jahrtausenden erstreckt, zumindest teilweise abschmelzen würden und damit einen Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels von 4-6 m oder mehr verursachen würden. Ein vollständiges Abschmelzen der Grönländischen und Westantarktischen Eisschilde würde einen Beitrag zum Anstieg des Meeresspiegels von bis zu 7 m bzw. von etwa 5 m bewirken [Vierter Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I 6.4, 10.7; Vierter Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe II 19.3].

Wenn man von den Ergebnissen der Klimamodelle ausgeht, ist es sehr unwahrscheinlich, dass die thermohaline Zirkulation [Meridional Overturning Circulation (MOC)] im Nordatlantik im 21. Jahrhundert einen großräumigen abrupten Wandel erfährt. Eine Verlangsamung der MOC in diesem Jahrhundert ist sehr wahrscheinlich, wobei aber die Temperaturen über dem Atlantik und über Europa aufgrund der globalen Erwärmung voraussichtlich trotzdem ansteigen werden. Es ist wahrscheinlich, dass die Auswirkungen großräumiger und anhaltender Änderungen der MOC auch Änderungen der Produktivität mariner Ökosysteme sowie der Fischerei, der Aufnahme von Kohlendioxid durch die Ozeane, der Sauerstoffkonzentrationen der Ozeane und der terrestrischen Vegetation mit sich bringen werden [Vierter Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I 10.3, 10.7, Vierter Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe II 12.6, 19.3].

Die Auswirkungen der Klimaänderung werden regional unterschiedlich sein. Es ist jedoch sehr wahrscheinlich, dass sie – aggregiert und auf die Gegenwart diskontiert – jährliche Nettokosten verursachen, die sich mit zunehmendem globalem Temperaturanstieg im Verlauf der Zeit immer weiter erhöhen werden.

Dieser Bericht verdeutlicht, dass die Auswirkungen der Klimaänderung für verschiedene Regionen unterschiedlich sein werden. Bei einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um weniger als 1-3°C (gegenüber 1990) werden für einige Auswirkungen an manchen Orten und in manchen Sektoren Vorteile, an anderen Orten und in anderen Sektoren Kosten projiziert. Für einige Regionen der niedrigen Breiten und im Bereich der Pole werden jedoch selbst bei einem geringen Temperaturanstieg Nettokosten projiziert. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sich bei einem Temperaturanstieg um mehr als etwa 2-3°C in allen Regionen entweder die Nettovorteile verringern oder die Nettokosten erhöhen werden [9.ES, 9.5, 10.6, T10.9, 15.3, 15.ES]. Diese Beobachtungen bestätigen die im dritten Sachstandsbericht enthaltenen Hinweise darauf, dass – während Entwicklungsländer voraussichtlich Verluste im Ausmaß eines höheren prozentualen Anteils hinnehmen müssen – die mittleren globalen Verluste bei einer Erwärmung um 4°C 1-5 % des Bruttoinlandsproduktes (BIP) betragen könnten [Abb.20.3].

Es stehen heute viele Schätzungen der aggregierten volkswirtschaftlichen Nettokosten, die durch Schäden aufgrund von Klimaänderungen weltweit entstehen (d.h. externe Kosten des Kohlenstoffs (social cost of carbon (SCC), ausgedrückt als zukünftiger Nettonutzen und zukünftige Kosten, jeweils auf die Gegenwart diskontiert) zur Verfügung. In von Experten begutachteten Schätzungen werden die SCC für 2005 mit einem mittleren Wert von US$ 43 pro Tonne Kohlenstoff angegeben (d.h. US$ 12 pro Tonne Kohlendioxid). Die Bandbreite um diesen Mittelwert ist jedoch groß. In einer Studie mit 100 Schätzungen reichten beispielsweise die Werte von US$ 10 pro Tonne Kohlenstoff (US$ 3 pro Tonne Kohlendioxid) bis zu US$ 350 pro Tonne Kohlenstoff (US$ 95 pro Tonne Kohlendioxid) [20.6].

Die großen Bandbreiten für die SCC beruhen größtenteils auf unterschiedlichen Annahmen bezüglich Klimasensitivität, Reaktionsverzögerungen, Umgang mit Risiken und Gerechtigkeit, wirtschaftlicher und nicht-wirtschaftlicher Folgen sowie Einbezug potenziell katastrophaler Verluste und Diskontraten. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die Schadenskosten bei den global aggregierten Zahlen unterschätzt werden, weil viele nicht quantifizierbare Auswirkungen nicht miteinbezogen werden können. Insgesamt zeigt die Bandbreite der veröffentlichten Anhaltspunkte, dass sich die Netto-Schadenskosten für Klimaänderungen wahrscheinlich als signifikant erweisen und sich im Verlauf der Zeit weiter erhöhen werden [T20.3, 20.6, Abb.20.4].

Es ist praktisch sicher, dass die aggregierten Kostenabschätzungen signifikante Unterschiede in den Auswirkungen in einzelnen Sektoren, Regionen, Ländern und Bevölkerungen verschleiern. An manchen Orten und bei manchen Bevölkerungsgruppen mit hoher Belastung, großer Empfindlichkeit und/oder niedriger Anpassungskapazität, werden die Nettokosten signifikant höher als die globale Gesamtsumme sein [20.6, 20.ES, 7.4].

Phänomen[a] und Richtung des Trends	Wahrscheinlichkeit eines zukünftigen Trends, basierend auf den Projektionen für das 21. Jahrhundert unter Verwendung der SRES-Szenarien	Beispiele für wesentliche projizierte Auswirkungen nach Sektoren			
		Land- und Forstwirtschaft und Ökosysteme [4.4, 5.4]	Wasserressourcen [3.4]	Menschliche Gesundheit [8.2]	Industrie/Siedlungen/Gesellschaft [7.4]
Über den meisten Landflächen wärmere und weniger kalte Tage und Nächte; wärmere und häufiger heiße Tage und Nächte	Praktisch sicher[b]	Höhere Erträge in kälteren Gebieten; geringere Erträge in wärmeren Gebieten; zunehmende Massenvermehrung von Insekten	Auswirkungen auf von der Schneeschmelze abhängige Wasserressourcen; manchmal Auswirkungen auf die Wasserversorgung;	Rückgang menschlicher Sterblichkeit durch geringere Kälteexposition	Geringere Energienachfrage für Heizung; höherer Bedarf an Kühlung; abnehmende Luftqualität in Städten; weniger Transportunterbrechungen durch Schnee, Eis; Auswirkungen auf den Wintertourismus
Wärmeperioden/ Hitzewellen: Zunahme der Häufigkeit über den meisten Landflächen	Sehr wahrscheinlich	Geringere Erträge in wärmeren Regionen durch Hitzebelastung; erhöhte Gefahr durch Flächenbrände	Erhöhter Wasserbedarf; Probleme mit der Wasserqualität, z.B. Algenblüte	Erhöhtes Risiko für hitzebedingte Sterblichkeit, insbesondere für ältere Menschen und chronisch Kranke, Kleinkinder und gesellschaftlich isolierte Menschen	Verminderung der Lebensqualität für Menschen in warmen Gebieten ohne zweckmäßige Wohnung; Auswirkungen auf ältere Menschen, Kleinkinder und Arme
Starkniederschlagsereignisse: Die Häufigkeit nimmt über den meisten Gebieten zu	Sehr wahrscheinlich	Ernteschäden; Bodenerosion, Verhinderung des Anbaus durch Vernässung der Böden	Nachteilige Auswirkungen auf die Qualität von Oberflächen- und Grundwasser; Verunreinigungen der Wasserversorgung; Abhilfe bei Wasserknappheit möglich	Erhöhtes Risiko für Todesfälle, Verletzungen, Infektions-, Atemwegs- und Hauterkrankungen	Beeinträchtigung von Siedlungen, Handel, Verkehr und einzelnen Bevölkerungsgruppen infolge von Überschwemmungen; starke Belastung städtischer und ländlicher Infrastrukturen; Verlust von Eigentum
Von Dürre betroffene Gebiete nehmen zu	Wahrscheinlich	Bodenbeeinträchtigung, geringere Erträge/Ernteschäden und -ausfälle; vermehrtes Viehsterben; erhöhtes Risiko von Flächenbränden	Größere Verbreitung von Wasserknappheit	Erhöhtes Risiko für Nahrungsmittel- und Wasserknappheit; erhöhtes Risiko für Mangel- und Fehlernährung; erhöhtes Risiko für Krankheiten, die durch Wasser oder Nahrungsmittel übertragen werden	Wasserknappheit für Siedlungen, Industrie und einzelne Bevölkerungsgruppen; geringere Potentiale für Wasserkrafterzeugung; Potenzial für Bevölkerungsmigration
Die Aktivität starker tropischer Wirbelstürme nimmt zu	Wahrscheinlich	Ernteschäden; Windwurf (Entwurzelungen) von Bäumen; Schäden an Korallenriffen	Unterbrechung der Stromversorgung bewirken Unterbrechung der öffentlichen Wasserversorgung	Erhöhtes Risiko für Todesfälle, Verletzungen, Krankheiten, die durch Wasser oder Nahrungsmittel übertragen werden; posttraumatische Belastungsstörungen	Störungen durch Hochwasser und starken Wind; Rückzug der Privatversicherer aus der Risikodeckung in verwundbaren Gebieten; Potenzial für Bevölkerungsmigration; Verlust von Eigentum
Zunehmendes Auftreten von extrem hohem Meeresspiegel (ausgenommen Tsunamis)[c]	Wahrscheinlich[d]	Versalzung des Wassers für die Bewässerung, in Flussmündungen und Süßwassersystemen	Abnahme der Verfügbarkeit von Süßwasser durch das Eindringen von Salzwasser	Erhöhtes Risiko für Todesfälle durch Ertrinken infolge des hohen Wasserstandes sowie für Verletzungen; migrationsbedingte gesundheitliche Auswirkungen	Kosten für den Küstenschutz stehen den Kosten einer Landnutzungsverlagerung gegenüber; Potenzial für Bevölkerungs- und Infrastrukturverlagerung; siehe auch tropische Wirbelstürme oben

a Bezüglich Definitionen siehe Tabelle 3.7 im Vierten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I

b Erwärmung der extremsten Tage und Nächte jedes Jahres

c Extrem hohe Meeresspiegel hängen vom mittleren Meeresspiegel und den regionalen Wettersystemen ab. Sie sind hier definiert als das höchste 1 % der stündlichen an einer Station beobachteten Meeresspiegel für einen bestimmten Bezugszeitraum.

d Der projizierte mittlere globale Meeresspiegel für 2100 liegt in allen Szenarien höher als im Bezugszeitraum [Vierter Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I 10.6]. Die Auswirkungen von Veränderungen der regionalen Wettersysteme auf extreme Meeresspiegel wurden nicht untersucht.

Tabelle SPM.1. *Beispiele für mögliche Auswirkungen der Klimaänderung durch Veränderungen extremer Wetter- und Klimaereignisse, basierend of Projektionen für Mitte bis Ende des 21. Jahrhunderts. Nicht berücksichtigt sind etwaige Änderungen oder Entwicklungen bei der Anpassungskapazität. Beispiele für alle Einträge sind in den Kapiteln des vollständigen Sachstandsberichtes (siehe Quellenangaben in den Spalten oben) enthalten. Die ersten beiden Spalten dieser Tabelle sind direkt der Zusammenfassung für Entscheidungsträger der Arbeitsgruppe I (Tabelle SPM-2) entnommen. Die Bewertungen der Wahrscheinlichkeit in Spalte 2 beziehen sich auf die in Spalte 1 beschriebenen Phänomene. Die Richtung des Trends und die Wahrscheinlichkeit der Phänomene gelten für die IPCC-SRES-Projektionen der Klimaänderung.*

D. Derzeitiger Kenntnisstand zu Reaktionen auf die Klimaänderung

Eine gewisse Anpassung an beobachtete und projizierte zukünftige Klimaänderungen findet bereits statt, allerdings auf begrenzter Basis.

Seit dem Dritten Sachstandsbericht des IPCC gibt es vermehrt Hinweise darauf, dass sich menschliche Aktivitäten an beobachtete und absehbare Klimaänderungen anpassen. So wird die Klimaänderung z.B. bei der Gestaltung von Infrastrukturprojekten – wie dem Küstenschutz auf den Malediven und in den Niederlanden sowie der Konföderationsbrücke in Kanada – berücksichtigt. Zu weiteren Beispielen zählen die Prävention von Sturzfluten aus Gletscherseen (GLOFs) in Nepal sowie Maßnahmen und Strategien wie z.B. die Wasserbewirtschaftung in Australien und Reaktionen von Regierungen auf Hitzewellen, beispielsweise in einigen europäischen Ländern. [7.6, 8.2, 8.6, 17.ES, 17.2, 16.5, 11.5].

Eine Anpassung wird notwendig sein, um den Auswirkungen zu begegnen, die aus der bereits nicht mehr zu vermeidenden Erwärmung aufgrund von Emissionen der Vergangenheit resultieren.

Selbst wenn die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf dem Wert von 2000 blieben, werden die Emissionen der Vergangenheit eine gewisse, nicht zu vermeidende Erwärmung (um weitere ca. 0,6° C bis zum Ende des Jahrhunderts, bezogen auf 1980-1999) bewirken (siehe Vierter Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I). Für einige Auswirkungen ist Anpassung die einzig verfügbare und geeignete Möglichkeit um auf diese zu reagieren. Angaben zu diesen Auswirkungen finden sich in Abbildung SPM.2.

Eine breite Palette von Möglichkeiten zur Anpassung steht zur Verfügung. Jedoch bedarf es einer umfangreicheren Anpassung als derzeit, um die Verwundbarkeit gegenüber künftigen Klimaänderungen zu verringern. Dies stößt auf Hindernisse, Grenzen und Kosten, die allerdings nicht zur Gänze verstanden sind.

Bei einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur werden sich die Auswirkungen verstärken, wie Abbildung SPM.2. zeigt. Obwohl viele frühe Auswirkungen der Klimaänderung durch Anpassung effektiv bewältigt werden können, verringern sich bei zunehmenden Klimaänderungen die Möglichkeiten für eine erfolgreiche Anpassung, und die damit verbundenen Kosten steigen. Derzeit besteht noch kein genaues Bild über die Grenzen einer Anpassung oder die Kosten – zum Teil deshalb, weil wirksame Anpassungsmaßnahmen zum einen stark von spezifischen, geografischen und klimatischen Risikofaktoren, zum anderen von Einschränkungen institutioneller, politischer und finanzieller Art abhängen [7.6, 17.2, 17.4].

Die Palette der möglichen Anpassungsmaßnahmen, die den menschlichen Gesellschaften zur Verfügung steht, ist sehr umfangreich und reicht von rein technologischen (z.B. Schutzbauten am Meer) über verhaltensbezogene (z. B. Änderungen bei der Auswahl von Nahrungsmitteln und Freizeitbeschäftigungen) bis hin zu Bewirtschaftungsmaßnahmen (z.B. Änderungen der landwirtschaftlichen Praxis) und zur Politik (z. B. Planungsbestimmungen). Wenn auch die meisten Technologien und Strategien bekannt sind und in einigen Ländern entwickelt wurden, so geht aus der untersuchten Literatur nicht hervor, wie erfolgreich sich die unterschiedlichen Möglichkeiten[13] hinsichtlich einer vollständigen Verringerung der Risiken (vor allem bei einem höheren Grad der Erwärmung und den damit verbundenen Auswirkungen) und im Hinblick auf verwundbare Gruppen erweisen. Zusätzlich stößt die Umsetzung von Anpassungsmaßnahmen auf gewaltige wirtschaftliche Hindernisse – ebenso wie auf Umwelt-, Informations-, soziale, Einstellungs- und Verhaltensbarrieren. Für die Entwicklungsländer sind vor allem die Verfügbarkeit von Ressourcen und der Aufbau der Anpassungskapazität von Bedeutung. [Siehe Abschnitte 5 und 6 der Kapitel 3-16; siehe auch 17.2, 17.4].

Anpassung alleine wird voraussichtlich nicht alle projizierten Folgen der Klimaänderung bewältigen können – insbesondere nicht auf lange Sicht, da die meisten Auswirkungen in ihrem Ausmaß zunehmen [Abbildung SPM.2.].

Die Verwundbarkeit gegenüber der Klimaänderung kann durch andere vorhandene Stressfaktoren verstärkt werden.

[13] Eine Tabelle mit Möglichkeiten ist in der Technischen Zusammenfassung aufgelistet.

Nicht-klimatische Belastungen (Stressfaktoren) können die Verwundbarkeit gegenüber Klimaänderungen durch Herabsetzung der Widerstandsfähigkeit erhöhen und die Anpassungskapazität durch Ressourcenkonkurrenz reduzieren. Korallenriffe z. B. sind derzeit durch die Verschmutzung der Meere, die Auswaschung von Chemikalien aus der Landwirtschaft sowie durch den Anstieg der Wassertemperatur und die Ozeanversauerung belastet. Verwundbare Regionen sind mit vielfachen Stressfaktoren konfrontiert, die ihre Beanspruchung und Empfindlichkeit ebenso beeinträchtigen wie ihre Anpassungskapazität. Diese Stressfaktoren entstehen beispielsweise durch derzeitige Klimagefahren, Armut und den ungleichen Zugang zu Ressourcen, Nahrungsmittelunsicherheit, Trends der wirtschaftlichen Globalisierung, Konflikte und das Auftreten von Krankheiten wie HIV/AIDS [7.4, 8.3, 17.3, 20.3]. Nur selten werden Anpassungsmaßnahmen ausschließlich als Reaktion auf Klimaänderungen durchgeführt, sondern können beispielsweise in das Wasserressourcenmanagement, den Küstenschutz und den Risikominderungsstrategien integriert sein [17.2, 17.5].

Die künftige Verwundbarkeit hängt nicht nur von der Klimaänderung, sondern auch vom Entwicklungspfad ab.

Ein wesentlicher Fortschritt seit dem Dritten Sachstandsbericht des IPCC wurde mit der Fertigstellung von Klimafolgenstudien für eine Reihe von Entwicklungspfaden erzielt, in denen nicht nur projizierte Klima-, sondern auch projizierte gesellschaftliche und wirtschaftliche Änderungen berücksichtigt sind. Die meisten dieser Studien basieren auf den, dem IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (SRES) entnommenen, Charakterisierungen der Bevölkerung und des Einkommensniveaus (siehe Kasten 3) [2.4].

Diese Studien zeigen, dass die projizierten Auswirkungen der Klimaänderung in Abhängigkeit des angenommenen Entwicklungspfads erheblich variieren können. Die verschiedenen Szenarien zeigen beispielsweise große Unterschiede bei der regionalen Bevölkerung, dem Einkommen und der technologischen Entwicklung – Faktoren, die für den Grad der Verwundbarkeit gegenüber Klimaänderungen oft außerordentlich bestimmend sind [2.4].

Zur Veranschaulichung: Wie kürzlich durchgeführte Studien über globale Auswirkungen der Klimaänderung auf Nahrungsmittelversorgung und die Risiken von Küstenüberschwemmung und Wasserknappheit verdeutlichen, ist die Anzahl an betroffenen Menschen im Entwicklungsszenario des Typs A2 (das durch ein relativ niedriges Pro-Kopf-Einkommen und hohes Bevölkerungswachstum gekennzeichnet ist) erheblich größer als in anderen SRES-Zukunftsszenarien [T20.6]. Dieser Unterschied lässt sich im Wesentlichen nicht durch unterschiedliche Klimaänderungen, sondern durch Unterschiede hinsichtlich der Verwundbarkeit erklären [T6.6].

Nachhaltige Entwicklung[14] kann die Verwundbarkeit gegenüber Klimaänderungen senken; und die Klimaänderung könnte viele Nationen in ihren Fähigkeiten, nachhaltige Entwicklungspfade einzuschlagen, behindern.

Eine nachhaltige Entwicklung kann die Verwundbarkeit gegenüber Klimaänderungen durch eine Erhöhung der Anpassungskapazität und Steigerung der Widerstandskraft senken. Derzeit umfassen jedoch nur wenige Pläne zur Förderung der Nachhaltigkeit ausdrücklich eine Anpassung an die Auswirkungen der Klimaänderung oder eine Förderung der Anpassungskapazität [20.3].

Andererseits ist es sehr wahrscheinlich, dass die Klimaänderung den Fortschritt in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung entweder direkt – durch erhöhte Exposition gegenüber schädlichen Auswirkungen – oder indirekt – durch Beeinträchtigung der Fähigkeit sich anzupassen – verlangsamt. Das wird in den jeweiligen, die Auswirkungen für die nachhaltige Entwicklung behandelnden, Abschnitten der sektor- und regionsbezogenen Kapitel des vorliegenden Berichts klar gezeigt [Siehe Abschnitt 7 der Kapitel 3-8, 20.3, 20.7].

Die Milleniumsentwicklungsziele [Millenium Development Goals (MDGs)] sind ein Maßstab für den Fortschritt in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung. Im Verlauf der nächsten Hälfte des Jahrhunderts könnte die Klimaänderung ein Erreichen der MDGs behindern [20.7].

[14] Im vorliegenden Bericht findet in Bezug auf den Begriff Nachhaltige Entwicklung die Definition der Brundtland-Kommission Anwendung: „Entwicklung, welche die gegenwärtigen Bedürfnisse befriedigt, ohne die Fähigkeit der zukünftigen Generation zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse befriedigen zu können." Dieselbe Definition wurde im Dritten IPCC-Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe II sowie im Synthesebericht des Dritten Sachstandsberichtes verwendet.

Viele Auswirkungen können durch Minderungsmaßnahmen vermieden, verringert oder verzögert werden.

Für Szenarien, in denen künftige atmosphärische Treibhausgaskonzentrationen stabilisiert werden, konnte nun eine begrenzte Zahl an Folgenabschätzungen abgeschlossen werden. Obwohl diese Studien Unsicherheiten für ein bei einer Stabilisierung projiziertes Klima nicht zur Gänze berücksichtigen, geben sie doch Hinweise darauf, wie Schäden bei Emissionsreduktionen unterschiedlichen Ausmaßes vermieden oder Verwundbarkeiten und Risiken verringert werden können [2.4, T20.6].

Ein Portfolio von Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen kann die mit der Klimaänderung verbundenen Gefahren verringern.

Selbst durch strikteste Minderungsmaßnahmen wird man nicht in der Lage sein, weitere Auswirkungen der Klimaänderung in den nächsten Jahrzehnten zu vermeiden. Deshalb sind Anpassungsmaßnahmen – vor allem zur Bewältigung kurzfristiger Folgen – unerlässlich. Eine ungemilderte Klimaänderung würde langfristig gesehen die Anpassungskapazität natürlicher, bewirtschafteter und menschlicher Systeme wahrscheinlich überschreiten. [20.7]

Dies weist auf die Bedeutung eines Strategie-Portfolios bzw. einer Strategie-Kombination hin, die sowohl Minderung, Anpassung, technologische Entwicklung (um Anpassung ebenso wie Minderung weiter zu entwickeln) als auch Forschung (im Bezug auf Klimasystemforschung, Klimafolgenforschung sowie Forschung im Bereich Anpassung und Minderung) beinhaltet. Solche Portfolios könnten auf Anreizen basierende Ansätze und Handlungsmöglichkeiten auf allen Ebenen in Strategien einbinden – vom einzelnen Bürger, über staatliche Regierungen bis zu internationalen Organisationen [18.1, 18.5].

Eine Möglichkeit zur Erhöhung der Anpassungskapazität besteht darin, Auswirkungen der Klimaänderung in der Entwicklungsplanung zu berücksichtigen [18.7] – z.B. durch

- Einbezug von Anpassungsmaßnahmen in die Landnutzungsplanung und Infrastrukturgestaltung [17.2];
- Einbezug von Maßnahmen in bestehende Strategien, die das Katastrophenrisiko mindern, um Schwachstellen zu verringern [17.2, 20.8].

E. Systematischer Beobachtungs- und Forschungsbedarf

Obwohl sich die Wissenschaft seit dem Dritten Sachstandsbericht hinsichtlich der Bereitstellung von Informationen für Entscheidungsträger über die Klimaänderung und ihre Auswirkungen sowie das Anpassungspotenzial verbessert hat, bleiben nach wie vor viele wichtige Fragen offen. In den Kapiteln des Vierten Sachstandsberichts der Arbeitsgruppe II sind mehrere Bewertungen hinsichtlich der Prioritäten für weitere Beobachtungs- und Forschungstätigkeiten dargelegt. Diese Ratschläge sollten ernsthaft berücksichtigt werden (eine Liste der Empfehlungen findet sich in der Technischen Zusammenfassung, Abschnitt TS-6).

Kasten 1. Definition von Schlüsselbegriffen

Klimaänderung: Klimaänderung bezieht sich auf jene Änderung des Klimas im Verlauf der Zeit, sei dies aufgrund natürlicher Schwankungen oder menschlicher Aktivitäten. Dieser Gebrauch unterscheidet sich von demjenigen der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen, die Klimaänderung definiert als „Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar auf menschlichen Aktivitäten zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen".

Anpassungskapazität bezeichnet die Fähigkeit eines Systems, sich auf Klimaänderungen (inklusive Klimaschwankungen und -extremen) einzustellen, um potenzielle Schäden abzuschwächen, Vorteile aus Möglichkeiten zu ziehen oder die Folgen zu bewältigen.

Verwundbarkeit zeigt an, inwieweit ein System für nachteilige Auswirkungen der Klimaänderungen, inklusive Klimaschwankungen und -extreme anfällig ist bzw. nicht fähig ist, diese zu bewältigen. Die Verwundbarkeit leitet sich ab aus dem Charakter, der Größenordnung und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und -abweichung, der ein System ausgesetzt ist, ebenso wie aus der Empfindlichkeit und Anpassungskapazität dieses Systems.

Kasten 2. Kommunikation der Unsicherheit im Vierten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe II

Zur Beschreibung der Unsicherheit bezüglich des derzeitigen Wissensstands wird ein Satz von Ausdrücken verwendet, der in allen Teilen des Vierten Sachstandsberichts verwendet wird.

Beschreibung der Richtigkeit
Die Autoren haben den Grad der Richtigkeit der Hauptaussagen in der Zusammenfassung für Entscheidungsträger auf Basis der Bewertung des derzeitigen Wissenstands wie folgt ausgedrückt:

Ausdruck	Grad des Vertrauens bezüglich der Richtigkeit
Sehr hohes Vertrauen	Die Aussage ist in mindestens 9 von 10 Fällen richtig
hohes Vertrauen	Die Aussage ist in etwa 8 von 10 Fällen richtig
mittleres Vertrauen	Die Aussage ist in etwa 5 von 10 Fällen richtig
geringes Vertrauen	Die Aussage ist in etwa 2 von 10 Fällen richtig;
sehr geringes Vertrauen	Die Aussage ist in weniger als 1 von 10 Fällen richtig.

Beschreibung der Wahrscheinlichkeit
Die Wahrscheinlichkeit bezieht sich auf die Bewertung der Wahrscheinlichkeit eines gut definierten Ergebnisses, das eingetreten ist oder zukünftig eintreten wird. Sie kann aus quantitativen Analysen oder Expertenmeinungen abgeleitet werden. In der Zusammenfassung für Entscheidungsträger, in der die Autoren die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Ergebnisses bestimmen, sind die dazugehörigen Bedeutungen die folgenden:

Ausdruck	Wahrscheinlichkeit des Eintretens/Ergebnisses
praktisch sicher	> 99% Eintrittswahrscheinlichkeit,
sehr wahrscheinlich	90% bis 99% Wahrscheinlichkeit,
wahrscheinlich	66 bis 90% Wahrscheinlichkeit,
gleich wahrscheinlich wie unwahrscheinlich	33 bis 66% Wahrscheinlichkeit,
unwahrscheinlich	10 bis 33% Wahrscheinlichkeit,
sehr unwahrscheinlich	1 bis 10% Wahrscheinlichkeit,
äußerst unwahrscheinlich	< 1% Wahrscheinlichkeit.

Kasten 3. Die Emissions-Szenarien des IPCC-Sonderberichtes über Emissions-Szenarien (SRES)*

A1. Die A1-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer in der Mitte des 21. Jahrhunderts den Höchststand erreichenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind die Annäherung von Regionen, die Entwicklung von Handlungskompetenz sowie die zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei gleichzeitiger substanzieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich durch ihren technologischen Schwerpunkt: fossil-intensiv (A1Fl), nicht fossile Energieträger (A1T) oder ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung hier definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle, unter der Annahme eines für alle Energieversorgungs- und -endverbrauchstechnologien ähnlichen Verbesserungspotenzials).

A2. Die A2-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Regionale Fruchtbarkeitsmuster konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig zunehmende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert, und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum sowie technologische Veränderungen verlaufen fragmentierter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

B1. Die B1-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine sich näher kommende Welt mit der gleichen Weltbevölkerung wie in der A1 Modellgeschichte, die Mitte des 21. Jahrhunderts ihren Höchststand erreicht und sich danach rückläufig entwickelt, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von sauberen und ressourceneffizienten Technologien. Der Schwerpunkt liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich erhöhter sozialer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

B2. Die B2-Modellgeschichte bzw. -Szenario-Familie beschreibt eine Welt mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, einer wirtschaftlichen Entwicklung auf mittlerem Niveau und einem weniger raschen, dafür vielfältigeren technologischen Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Obwohl das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt der Schwerpunkt auf der lokalen und regionalen Ebene.

Für jede der sechs Szenarien-Gruppen A1B, A1F1, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein veranschaulichendes Szenario gewählt. Alle sollten als gleich stichhaltig betrachtet werden.

Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen, d. h. es sind keine Szenarien berücksichtigt, die ausdrücklich eine Umsetzung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) oder der Emissionsziele des Kyoto-Protokolls annehmen.

Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

Klimaänderung 2007: Verminderung des Klimawandels

Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)

Autoren

Terry Barker (Vereinigtes Königreich), Igor Bashmakov (Rußland), Lenny Bernstein (USA), Jean Bogner (USA), Peter Bosch (Niederlande), Rutu Dave (Niederlande), Ogunlade Davidson (Sierra Leone), Brian Fisher (Australien), Michael Grubb (Vereinigtes Königreich), Sujata Gupta (Indien), Kirsten Halsnaes (Dänemark), Bertjan Heij (Niederlande), Suzana Kahn Ribeiro (Brasilienl), Shigeki Kobayashi (Japan), Mark Levine (USA), Daniel Martino (Uruguay), Omar Masera Cerutti (Mexiko), Bert Metz (Niederlande), Leo Meyer (Niederlande), Gert-Jan Nabuurs (Niederlande), Adil Najam (Pakistan), Nebojsa Nakicenovic (Österreich/Montenegro), Hans Holger Rogner (Deutschland), Joyashree Roy (Indien), Jayant Sathaye (USA), Robert Schock (USA), Priyaradshi Shukla (Indien), Ralph Sims (Neuseeland), Pete Smith (Vereinigtes Königreich), Rob Swart (Niederlande), Dennis Tirpak (USA), Diana Urge-Vorsatz (Ungarn), Zhou Dadi (Volksrepublik China)

Diese Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger sollte zitiert werden als:

IPCC 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Verminderung des Klimawandels. Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA.

A. Einleitung

1. **Der Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten IPCC-Sachstandsbericht (Fourth Assessment Report, AR4) konzentriert sich auf neue Literatur zu den wissenschaftlichen, technischen, umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten des Klimaschutzes, die seit dem Dritten IPCC-Sachstandsbericht (Third Assessment Report, TAR) und den Sonderberichten über Kohlendioxidabtrennung und –speicherung (Special Report on Carbon Capture and Storage, SRCCS) und über den Schutz der Ozonschicht und des globalen Klimasystems (Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System, SROC) veröffentlicht wurde.**

   Die folgende Zusammenfassung ist in sechs Abschnitte gegliedert, die sich an diese Einleitung anschließen:
   - Entwicklung der Treibhausgasemissionen
   - Kurz- und mittelfristige Emissionsminderung in den verschiedenen Wirtschaftssektoren (bis 2030)
   - Langfristige Emissionsminderung (nach 2030)
   - Politiken, Maßnahmen und Instrumente für den Klimaschutz
   - Nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz
   - Wissenslücken

   Hinweise auf die entsprechenden Kapitelabschnitte werden in jedem Absatz in eckigen Klammern gegeben. Erläuterungen der in dieser Zusammenfassung benutzten Begriffe, Abkürzungen und chemischen Formeln und Bezeichnungen finden sich im Glossar.

B. Entwicklung der Treibhausgasemissionen

2. **Die weltweiten Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) haben seit der Zeit vor der Industrialisierung zugenommen, mit einem Anstieg von 70% zwischen 1970 und 2004** *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*[1]

   - Seit der Zeit vor der Industrialisierung haben steigende THG-Emissionen aufgrund menschlicher Aktivitäten zu einem deutlichen Anstieg der atmosphärischen THG-Konzentrationen geführt [1.3; WG I SPM].
   - Zwischen 1970 und 2004 stiegen die weltweiten, nach globalem Erwärmungspotenzial (global warming potential, GWP) gewichteten Emissionen von CO_2, CH_4, N_2O, H-FKWs, FKWs und SF_6 um 70% (24% zwischen 1990 und 2004) von 28,7 auf 49 Gigatonnen Kohlendioxidäquivalente (Gt CO_2-Äq.)[2] an (siehe Abbildung SPM.1). Die Emissionen dieser Gase nahmen in unterschiedlichem Maße zu. Die CO_2-Emissionen stiegen von 1970 bis 2004 um etwa 80% (28% zwischen 1990 und 2004) und entsprachen 77% der gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004.
   - Der größte Zuwachs an weltweiten THG-Emissionen zwischen 1970 und 2004 stammte aus dem Energieversorgungssektor (ein Anstieg von 145%). Der Anstieg direkter Emissionen[3] in diesem Zeitraum betrug für den Verkehr 120%, für die Industrie 65% und für Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF)[4] 40%[5]. Von 1970 bis 1990 stiegen die direkten Emissionen aus der Landwirtschaft um 27% und aus Gebäuden um 26% an, wobei letztere danach ungefähr auf dem Niveau von 1990 verblieben. Da der Gebäudesektor jedoch einen hohen Stromverbrauch hat, ist die Summe direkter und indirekter Emissionen in diesem Sektor viel höher (75%) als die direkten Emissionen [1.3, 6.1, 11.3, Abbildungen 1.1 und 1.3].
   - Die Auswirkungen der Abnahme der weltweiten Energieintensität (-33%) von 1970 bis 2004 auf die globalen Emissionen waren geringer als die kombinierten Auswirkungen von weltweitem Einkommenszuwachs (77%) und weltweitem Bevölkerungswachstum (69%) – beides Antriebe für wachsende energiebedingte CO_2-Emissionen (Abbildung SPM.2). Die langfristige Entwicklung einer abnehmenden Kohlendioxidintensität der Energieversorgung kehrte sich nach dem Jahr 2000 um. Unterschiede zwischen Ländern bezüglich der pro Kopf-Einkommen, der pro

[1] Jede Überschrift ist durch eine Einschätzung der „Übereinstimmung/Beweislage“ ergänzt, die durch die darunter aufgezählten Punkte unterstützt wird. Dies bedeutet nicht unweigerlich, dass dieser Grad an „Übereinstimmung/Beweislage“ für jeden einzelnen Punkt gilt. Eine Erläuterung dieser Darstellung von Unsicherheiten wird in Tabellenanhang 1 gegeben.

[2] Die Definition von Kohlendioxidäquivalent (CO_2-Äq.) ist die Menge an CO_2-Emissionen, welche denselben Strahlungsantrieb erzeugen würde wie eine emittierte Menge eines gut durchmischten Treibhausgases oder einer Mischung gut durchmischter Treibhausgase, alle multipliziert mit ihren jeweiligen GWPs, um die unterschiedlichen Verweilzeiten in der Atmosphäre zu berücksichtigen [WG I AR4 Glossar].

[3] Direkte Emissionen aus jedem Sektor beinhalten weder die Emissionen aus dem Stromsektor für den verbrauchten Strom in den Sektoren Gebäude, Industrie und Landwirtschaft noch die Emissionen aus Raffinerievorgängen, die Treibstoff für den Verkehrssektor liefern.

[4] Der Begriff „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ wird hier benutzt, um die aggregierten Emissionen von CO_2, CH_4 und N_2O aus Entwaldung, Biomasseverbrennung, Zersetzung von Biomasse aus Rodung und Entwaldung, Torfzersetzung und Torfbränden zu beschreiben [1.3.1]. Dies ist umfassender als „Emissionen aus Entwaldung“, welche als Teilmenge mit eingeschlossen sind. Die hier aufgeführten Emissionen schließen keine Kohlendioxidaufnahme (Entfernung) mit ein.

[5] Diese Entwicklung bezieht sich auf die gesamten LULUCF-Emissionen, von denen Emissionen aus Abholzung eine Teilmenge darstellen, und ist aufgrund großer Datenunsicherheiten signifikant weniger verlässlich als für andere Sektoren. Die Abholzungsrate weltweit war in der Zeit von 2000 bis 2005 geringfügig niedriger als im Zeitraum 1990–2000 [9.2.1].

Kopf-Emissionen und der Energieintensität bleiben signifikant (Abbildung SPM.3). Im Jahr 2004 hatten die UNFCCC Annex I-Länder einen Anteil von 20% an der Weltbevölkerung, erzeugten 57% des weltweiten Bruttoinlandsprodukts gemessen an der Kaufkraftparität (BIP_{KKP})[6] und waren für 46% der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich (Abbildung SPM.3a) [1.3].

- Die Emissionen von im Montreal-Protokoll geregelten ozonabbauenden Stoffen (ozone depleting substances, ODS)[7], die auch THG sind, haben seit den 1990er Jahren signifikant abgenommen. Im Jahr 2004 betrugen die Emissionen dieser Gase etwa 20% ihres Niveaus von 1990 [1.3].
- Eine Reihe politischer Maßnahmen, einschließlich solcher zu Klimaschutz, Energiesicherheit[8] und nachhaltiger Entwicklung, hat in verschiedenen Sektoren und vielen Ländern zu Emissionsrückgängen geführt. Der Umfang solcher Maßnahmen war jedoch bisher zu klein, um den weltweiten Emissionszuwachs aufzuwiegen. [1.3, 12.2]

3. Bei den derzeitigen Klimaschutzpolitiken und den damit verbundenen Maßnahmen für eine nachhaltige Entwicklung werden die globalen Emissionen von Treibhausgasen über die nächsten Jahrzehnte weiterhin zunehmen. *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)*

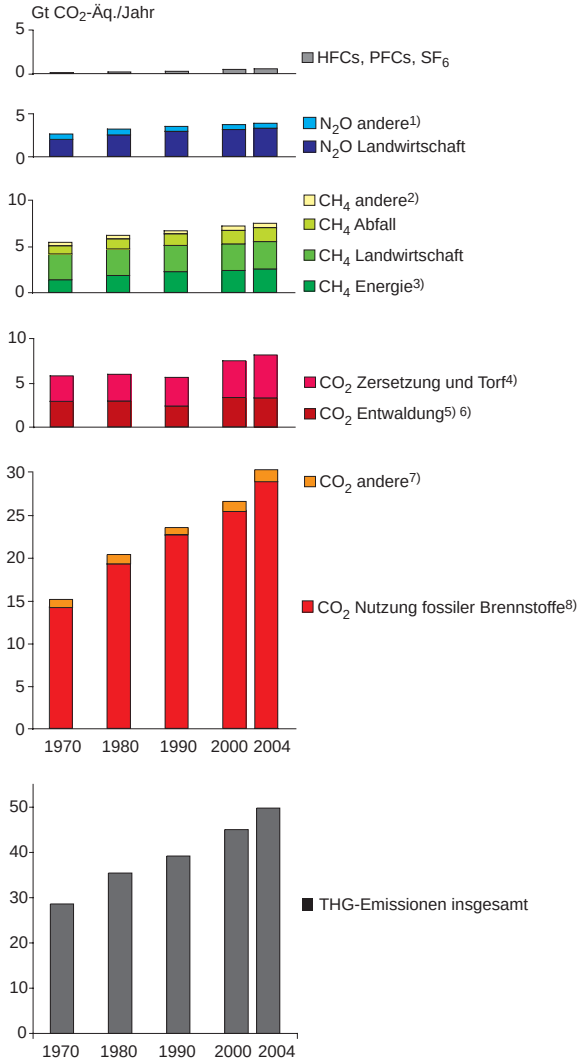


Abbildung SPM.1: *nach globalem Erwärmungspotenzial (GWP) gewichtete globale Treibhausgasemissionen 1970–2004. 100-Jahres-GWPs aus dem IPCC-Bericht 1996 (SAR) wurden verwendet, um Emissionen in CO_2-Äq. umzurechnen (vgl. UNFCCC-Richtlinien für die Berichterstattung). CO_2, CH_4, N_2O, H-FKWs, FKWs und SF_6 aus allen Quellen sind mit eingerechnet.*

Die beiden CO_2-Emissionskategorien spiegeln die CO_2-Emissionen aus der Energieerzeugung und -nutzung (zweite von unten) und aus Landnutzungsänderungen (dritte von unten) wieder [Abbildung 1.1a].

Anmerkungen:
1. Anderes N_2O schließt Industrieprozesse, Entwaldung/Savannenfeuer, Abwasser und Müllverbrennung mit ein.
2. Anderes CH_4 stammt aus Industrieprozessen und Savannenfeuern.
3. Einschließlich Emissionen aus der Herstellung und Nutzung von Bioenergie.
4. CO_2-Emissionen aus Zersetzung (Abbau) von oberirdischer Biomasse, die nach Abholzung und Entwaldung zurückbleibt, und CO_2 aus Torfbränden und der Zersetzung von entwässerten Torfböden.
5. Sowie traditionelle Biomasseverbrennung in Höhe von 10% der Gesamtmenge, unter der Annahme, dass 90% aus nachhaltiger Produktion stammen. Korrigiert um 10% Kohlenstoff der verbrannten Biomasse, von der angenommen wird, dass sie als Holzkohle zurückbleibt.
6. Durchschnittsdaten von 1997–2002 für großflächige Biomasseverbrennung von Wald und Buschland auf der Basis von Satellitendaten der Global Fire Emissions Datenbank.
7. Zementproduktion und Erdgasabfackelung
8. Die Nutzung fossiler Brennstoffe schließt Emissionen aus den Rohstoffen ein.

[6] Die BIP_{KKP}-Metrik wird in diesem Bericht nur für illustrative Zwecke genutzt. Eine Erläuterung der BIP-Berechnungen auf der Basis von KKP oder von Marktwechselkursen wird in Fußnote 12 gegeben.
[7] Halone, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs), teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKWs), Methylchloroform (CH_3CCl_3), Tetrachlormethan (CCl_4) und Methylbromid (CH_3Br).
[8] Energiesicherheit bezieht sich auf die Sicherheit in der Energieversorgung.

- Die SRES-Szenarien (ohne Klimaschutz) projizieren einen Anstieg der Referenzwerte globaler THG-Emissionen in einer Bandbreite von 9,7 Gt CO_2-Äq. bis 36,7 Gt CO_2-Äq. (25–90%) zwischen 2000 und 2030[9] (Kasten SPM.1 und Abbildung SPM.4). In diesen Szenarien wird projiziert, dass die Dominanz fossiler Brennstoffe im weltweiten Energiemix bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus anhält. Daher wird über diesen Zeitraum für die CO_2-Emissionen aus dem Energieverbrauch ein Wachstum von 40–110% projiziert. Zwei Drittel bis drei Viertel dieses Zuwachses an CO_2-Emissionen aus dem Energieverbrauch werden laut Projektionen aus Nicht-Annex I-Regionen stammen, wobei deren durchschnittliche Pro-Kopf-CO_2-Emissionen aus dem Energieverbrauch laut Projektion bis 2030 wesentlich niedriger bleiben (2,8–5,1 tCO_2/Kopf) als diejenigen in Annex-I-Regionen (9,6–15,1 tCO_2/Kopf). Laut SRES-Szenarien wird für deren Volkswirtschaften ein geringerer Energieverbrauch pro Einheit an BIP (6,2–9,9 MJ/US$ BIP) als die der Nicht-Annex I-Länder (11,0–21,6 MJ/US$ BIP) projiziert. [1.3, 3.2]

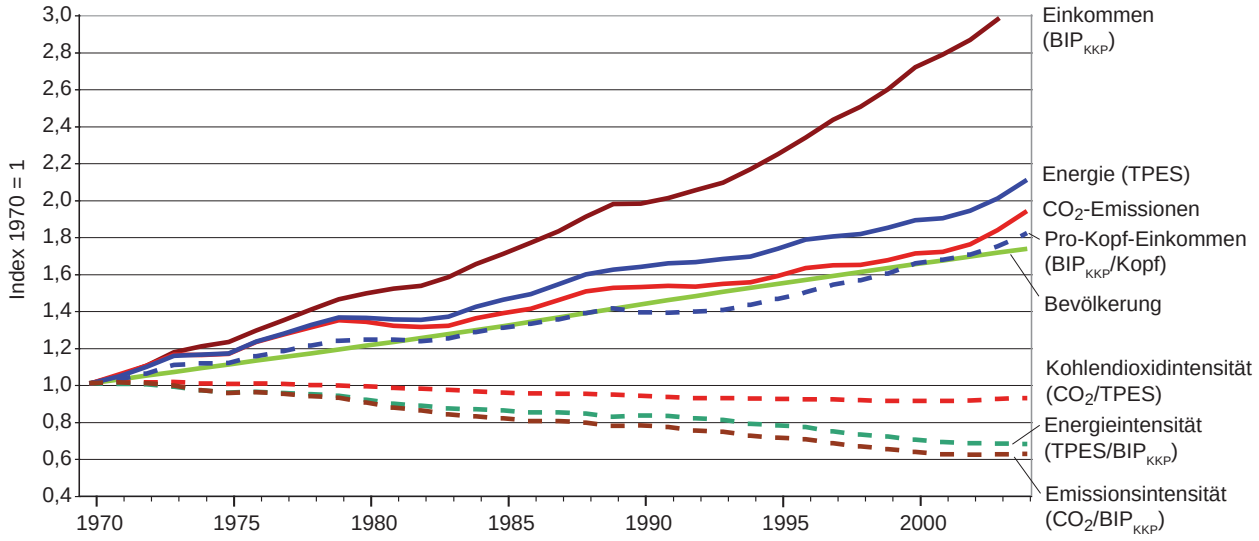


Abbildung SPM.2: *relative weltweite Entwicklung von Bruttoinlandsprodukt (BIP) gemessen in KKP (Kaufkraftparität), gesamter Primärenergieversorgung (TPES), CO_2-Emissionen (aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, Erdgasabfackelung und Zementherstellung) und Bevölkerung. Zusätzlich zeigt die Abbildung mit gestrichelten Linien pro Kopf-Einkommen (BIPKKP/Kopf), Energieintensität (TPES/BIPKKP), Kohlendioxidintensität der Energieversorgung (CO_2/TPES) und Emissionsintensität wirtschaftlicher Herstellungsprozesse (CO_2/BIPKKP) für den Zeitraum von 1970–2004. [Abbildung 1.5]*

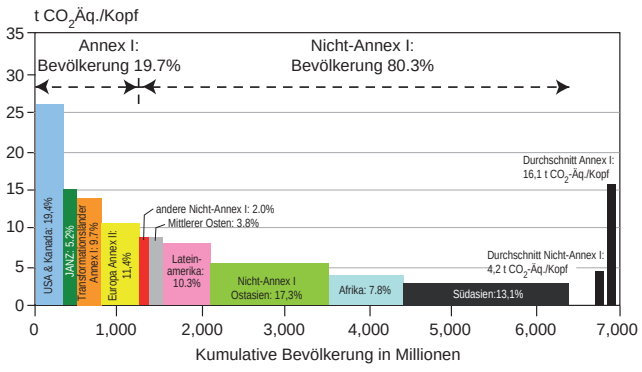


Abbildung SPM.3a: *Verteilung der regionalen Pro-Kopf-THG-Emissionen (alle Kyoto-Gase, einschließlich derer aus Landnutzung) über die Bevölkerung verschiedener Ländergruppen im Jahr 2004. Die Prozentangaben in den Balken zeigen den Anteil einer Region an den weltweiten THG-Emissionen an [Abbildung 1.4a]*

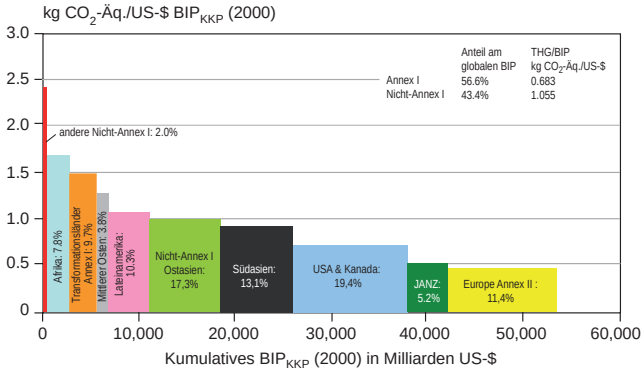


Abbildung SPM.3b: *Verteilung der regionalen THG-Emissionen (alle Kyoto-Gase, einschließlich derer aus Landnutzung) pro US-$ des BIPKKP über das BIP verschiedener Ländergruppen im Jahr 2004. Die Prozentangaben in den Balken zeigen den Anteil einer Region an den weltweiten THG-Emissionen an [Abbildung 1.4b]*

9 Die hier für das Jahr 2000 angenommenen THG-Emissionen aus dem IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (SRES; siehe Kasten SPM.1 und Abbildung SPM.4) betragen 39,8 Gt CO_2-Äq., d.h. weniger als die in der EDGAR-Datenbank für 2000 angegebenen Emissionen (45 Gt CO_2-Äq.). Die ist größtenteils auf Unterschiede in den LULUCF-Emissionen zurückzuführen.

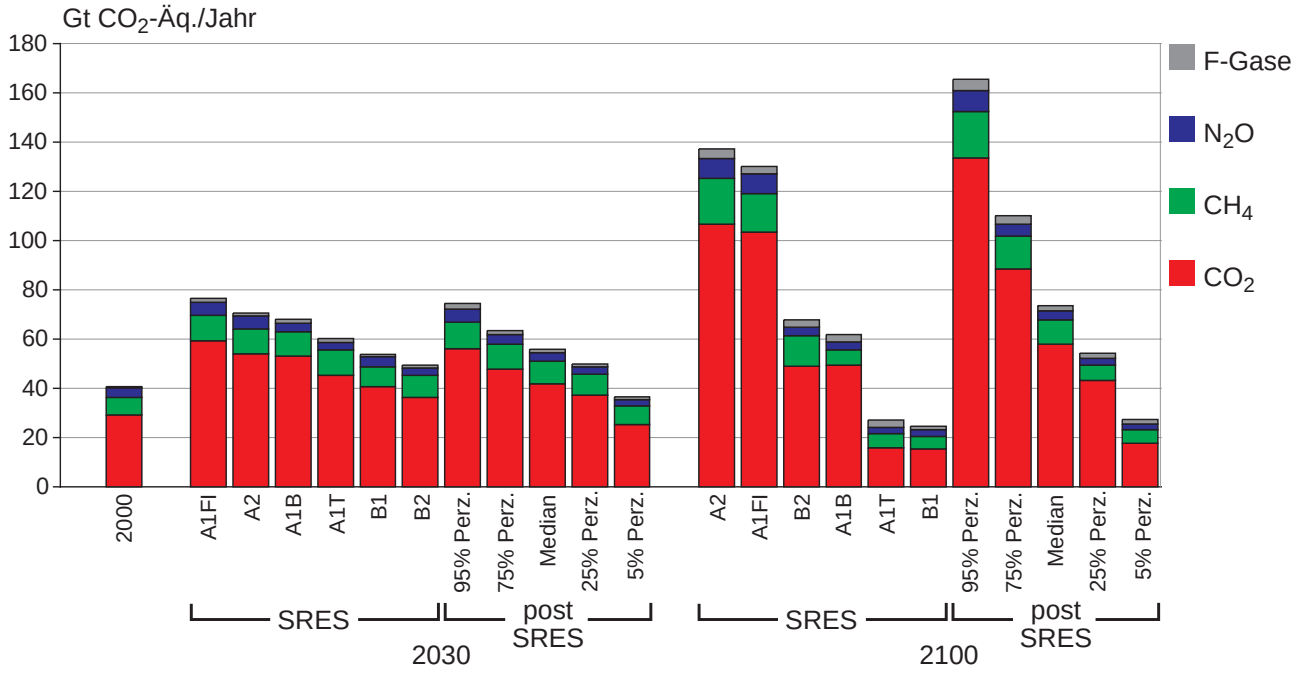


Abbildung SPM.4: *Weltweite THG-Emissionen im Jahr 2000 und projizierte Emissionen im Referenzszenario für 2030 und 2100 aus dem IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (SRES) und in Literatur nach SRES. Diese Abbildung zeigt die Emissionen aus den sechs beispielhaften SRES-Szenarien. Sie gibt auch die Häufigkeitsverteilung der Emissionen in post-SRES-Szenarien an (5., 25., Median, 75., 95. Perzentil), wie in Kapitel 3 beschrieben. F-Gase beinhalten H-FKWs, FKWs und SF_6 [1.3, 3.2, Abbildung 1.7].*

4. **Referenzemissionsszenarien, die seit dem SRES[10] publiziert wurden, sind (im Hinblick auf ihre Bandbreite) mit denen im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios, SRES) vergleichbar (25–135 Gt CO_2-Äq./Jahr im Jahr 2100, siehe Abbildung SPM.4).** *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)*
   - Untersuchungen nach dem SRES haben niedrigere Werte für einige Emissionsantriebe eingesetzt, vor allem für Bevölkerungsentwicklungen. Jedoch ergaben in Untersuchungen, die diese neuen Bevölkerungsprojektionen einbezogen hatten, Änderungen in anderen Antrieben, wie z.B. dem Wirtschaftswachstum, nur geringe Änderungen in den Gesamtemissionen. Projektionen des Wirtschaftswachstums in Afrika, Lateinamerika und dem Mittleren Osten bis 2030 sind in nach dem SRES erschienenen Szenarien niedriger als im SRES, aber dies hat nur geringe Auswirkungen auf das globale Wirtschaftswachstum und die Gesamtemissionen [3.2].
   - Emissionen von Aerosolen und ihren Vorläufern, einschließlich Schwefeldioxids, Rußes und organischen Kohlenstoffs, die netto eine Abkühlung bewirken,[11] werden besser berücksichtigt. Sie werden im Allgemeinen niedriger projiziert als im SRES [3.2].
   - Die verfügbaren Studien weisen darauf hin, dass die Wahl des Wechselkurses für das BIP (Marktwechselkurse oder KKP) die projizierten Emissionen nicht nennenswert beeinflusst, solange die Einheiten durchgängig verwendet werden[12]. Die Unterschiede, falls sie bestehen, sind klein im Vergleich zu den Unsicherheiten, die durch Annahmen über andere Parameter in den Szenarien, z.B. den Technologiewandel, entstehen. [3.2]

[10] Referenzszenarien schließen keine zusätzlichen klimapolitischen Maßnahmen über die aktuellen hinaus ein; neuere Untersuchungen unterscheiden sich hinsichtlich der Einbeziehung von UNFCCC und Kyoto-Protokoll.
[11] Siehe AR4 WG I-Bericht, Kapitel 10.2.
[12] Seit dem 3. IPCC-Sachstandsbericht (Third Assessment Report, TAR) wurde über die Verwendung unterschiedlicher Wechselkurse in Emissionsszenarien diskutiert. Zwei Maßeinheiten werden für den Vergleich des BIP unterschiedlicher Länder verwendet. Die Anwendung von Marktwechselkursen (market exchange rate, MER) ist bei solchen Analysen vorzuziehen, in denen es um international gehandelte Produkte geht. Die Anwendung von Kaufkraftparität KKP (purchasing power parity, PPP) ist wiederum bei Analysen vorzuziehen, in denen es um Einkommensvergleiche zwischen Ländern sehr unterschiedlichen Entwicklungsgrades geht. Die meisten monetären Einheiten in diesem Bericht sind in Marktwechselkursen ausgedrückt. Dies spiegelt die große Mehrheit der Literatur zu Emissionsminderung wider, die auf Marktwechselkurse kalibriert ist. Wo monetäre Einheiten in KKP ausgedrückt sind, ist dies durch BIPKKP gekennzeichnet.

Kasten SPM.1: Die Emissionsszenarien des IPCC-Sonderberichts zu Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios, SRES)

A1. Die A1-Modellgeschichte und -Szenarienfamilie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und mit rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei substantieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstossrichtung: fossil-intensive, d.h. intensive Nutzung fossiler Brennstoffe (A1FI), nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine ausgewogene Nutzung (balance) aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme einer ähnlichen Verbesserungsrate für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien).

A2. Die A2-Modellgeschichte und -Szenarien-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Die Fertilitätsmuster verschiedener Regionen konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig wachsende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

B1. Die B1-Modellgeschichte und -Szenarien-Familie beschreibt eine konvergente Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1-Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von sauberen und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich besserer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

B2. Die B2-Modellgeschichte und -Szenarien-Familie beschreibt eine Welt mit Schwergewicht auf lokalen Lösungen für wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür stärker diversifiziertem technologischem Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Während das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt das Schwergewicht auf der lokalen und regionalen Ebene.

Für jede der sechs Szenarien-Gruppen A1B, A1FI, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein veranschaulichendes Szenario ausgewählt. Alle sollten als gleich stichhaltig betrachtet werden.

Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen; d.h. es sind keine Szenarien berücksichtigt, die ausdrücklich von einer Umsetzung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) oder den Emissionszielsetzungen des Kyoto-Protokolls ausgehen.

Dieser Kasten mit einer Zusammenfassung der SRES-Szenarien ist dem Dritten IPCC-Sachstandsbericht (Third Assessment Report) entnommen und wurde zuvor Zeile für Zeile vom IPCC verabschiedet

Kasten SPM.2: Emissionsminderungspotenzial und analytische Herangehensweisen

Das Konzept des „Emissionsminderungspotenzials“ wurde entwickelt, um das Ausmaß der THG-Emissionsminderung einzuschätzen, das im Verhältnis zu den Referenzemissionen zu einem festgelegten Kohlendioxidpreis (ausgedrückt in Kosten pro Einheit an vermiedenen oder verringerten CO2-Äq.-Emissionen) erreicht werden könnte. Das Emissionsminderungspotenzial wird weiter in „Marktpotenzial“ und „wirtschaftliches Potenzial“ unterschieden.

Marktpotenzial ist das auf der Anlastung privater Kosten und Diskontraten[13] basierende Emissionsminderungspotenzial, das unter prognostizierten Marktbedingungen, einschließlich der zurzeit vorhandenen Politiken und Maßnahmen, erwartet werden kann. Dabei wird berücksichtigt, dass Hemmnisse die tatsächliche Umsetzung begrenzen [2.5].

Wirtschaftliches Potenzial ist das Emissionsminderungspotenzial, das eine Anlastung sozialer Kosten, Gewinne und Diskontraten[14] mit einbezieht, unter der Annahme, dass die Effizienz des Marktes durch Politiken und Maßnahmen verbessert wird und dass Hemmnisse abgebaut werden [2.4].

Untersuchungen des Marktpotenzials können genutzt werden, um Politiker über das Emissionsminderungspotenzial bei derzeitigen Politiken und Hemmnissen zu informieren, während Untersuchungen des wirtschaftlichen Potenzials zeigen, was erreicht werden könnte, wenn angemessene neue und zusätzliche Politiken eingesetzt würden, um Hemmnisse abzubauen und soziale Kosten und Gewinne mit einzubeziehen. Das wirtschaftliche Potenzial ist daher im Allgemeinen größer als das Marktpotenzial.

Das Emissionsminderungspotenzial wird über unterschiedliche Vorgehensweisen abgeschätzt. Es gibt zwei große Klassen, „bottom-up-„ und „top-down“-Untersuchungen, die überwiegend für die Einschätzung des wirtschaftlichen Potenzials genutzt wurden.

Bottom-up-Untersuchungen basieren auf der Bewertung von Optionen zur Emissionsminderung, wobei der Schwerpunkt auf bestimmten Technologien und Regulierungen liegt. Es handelt sich typischerweise um sektorale Untersuchungen unter der Annahme einer unveränderten Makroökonomie. Sektorale Abschätzungen wurden, wie im TAR, aggregiert, um eine Abschätzung des globalen Emissionsminderungspotenzials für diesen Bericht zu liefern.

Top-down-Untersuchungen bewerten das gesamtwirtschaftliche Potenzial an Emissionsminderungsmöglichkeiten. Sie nutzen weltweit konsistente Rahmenbedingungen und aggregierte Informationen über Emissionsminderungsoptionen und schließen makroökonomische und Markt-Rückkopplungen mit ein.

Bottom-up- und *Top-Down*-Modelle sind sich seit dem TAR ähnlicher geworden, weil *Top-down*-Modelle mehr technologische Emissionsminderungsoptionen und *Bottom-up*-Modelle mehr makroökonomische und Markt-Rückkopplungen mit einbezogen haben und auch eine Analyse der Hemmnisse in ihre Modellstrukturen aufgenommen haben. *Bottom-up*-Untersuchungen sind insbesondere für die Einschätzung spezifischer politischer Optionen auf sektoraler Ebene nützlich, z.B. Optionen zur Verbesserung der Energieeffizienz, wohingegen *Top-down*-Untersuchungen für eine Einschätzung sektorübergreifender und gesamtwirtschaftlicher Klimaschutzmaßnahmen, wie z.B. Kohlendioxidsteuern und Stabilisierungspolitiken, nützlich sind. Aktuelle *bottom-up* und *top-down* Untersuchungen des wirtschaftlichen Potenzials sind jedoch nur bedingt in der Lage, die Wahl von Lebensstilen sowie alle externen Effekte, wie zum Beispiel lokale Luftverschmutzung, zu berücksichtigen. Die Darstellung einiger Regionen, Länder, Sektoren, Gase und Hemmnisse ist begrenzt. Die potenziellen Vorteile vermiedener Klimaänderung werden nicht auf die projizierten Kosten der Minderung von Treibhausgasemissionen angerechnet.

[13] Private Kosten und Diskontraten spiegeln die Perspektive von privaten Verbrauchern und Unternehmen wider; siehe Glossar für eine ausführlichere Beschreibung.
[14] Soziale Kosten und Diskontraten spiegeln die Perspektive der Gesellschaft wider. Soziale Diskontraten sind niedriger als die von privaten Investoren genutzten; siehe Glossar für eine ausführlichere Beschreibung.

Kasten SPM.3: Annahmen in Untersuchungen zu Emissionsminderungsportfolios und makroökonomischen Kosten

In diesem Bericht bewertete Untersuchungen zu Emissionsminderungsportfolios und makroökonomischen Kosten basieren auf Top-down-Modellen. Die meisten Modelle nutzen für ihre Emissionsminderungsportfolios einen globalen Mindestkostenansatz, berücksichtigen einen allumfassenden Emissionshandel – unter der Annahme von transparenten Märkten ohne Transaktionskosten – und gehen daher von einer perfekten Umsetzung von Emissionsminderungsmaßnahmen über das ganze 21. Jahrhundert aus. Kosten werden für einen bestimmten Zeitpunkt angegeben.
Die global modellierten Kosten werden ansteigen, wenn einige Regionen, Sektoren (z.B. Landnutzung), Optionen oder Gase ausgeschlossen werden. Die global modellierten Kosten werden abnehmen, wenn niedrigere Referenzwerte eingesetzt, die Gewinne aus Kohlendioxidsteuern und versteigerten Zertifikaten verwendet werden und induziertes technologisches Lernen mit einbezogen wird. Diese Modelle berücksichtigen keine klimatischen Vorteile und im Allgemeinen auch keine positiven Nebeneffekte von Emissionsminderungsmaßnahmen oder Gerechtigkeitsfragen.

Kasten SPM.4: Die Modellierung von induziertem Technologiewandel

Die einschlägige Literatur besagt, dass Politiken und Maßnahmen einen technologischen Wandel herbeiführen können. Bei der Anwendung von Ansätzen, die auf induziertem Technologiewandel beruhen, auf Stabilisierungsuntersuchungen wurden bemerkenswerte Fortschritte gemacht; es verbleiben jedoch konzeptionelle Fragen. In den Modellen, die diese Ansätze anwenden, sind die projizierten Kosten für ein bestimmtes Stabilisierungsniveau reduziert; und die Reduzierungen sind bei niedrigeren Stabilisierungsniveaus größer.

C. Kurz- und mittelfristige Emissionsminderung (bis 2030)

5. **Sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Untersuchungen weisen darauf hin, dass ein signifikantes wirtschaftliches Potenzial für die Minderung von globalen Treibhausgasemissionen über die nächsten Jahrzehnte besteht, das den projizierten Zuwachs globaler Emissionen kompensieren oder die Emissionen unter die aktuellen Werte senken könnte** *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

   Um die Bandbreiten der Referenzwerte, der Geschwindigkeiten des Technologiewandels und anderer Faktoren, die für die unterschiedlichen Ansätze spezifisch sind, wiederzugeben, werden die in den Abschätzungen enthaltenen Unsicherheiten in den unten dargestellten Tabellen als Bereiche angegeben. Darüber hinaus entstehen Unsicherheiten auch aus der begrenzten Information zur weltweiten Erfassung von Ländern, Sektoren und Gasen.

Bottom-up-Untersuchungen:

- Das für diesen Bericht über Bottom-up-Ansätze abgeschätzte wirtschaftliche Potenzial im Jahr 2030 (siehe Kasten SPM.2) ist nachfolgend in Tabelle SPM.1 und in Abbildung SPM.5A dargestellt. Zum Vergleich: Die Emissionen im Jahr 2000 betrugen 43 Gt CO_2-Äq. [11.3]:
- Untersuchungen weisen darauf hin, dass Emissionsminderungsmöglichkeiten mit negativen Nettokosten[15] das Potenzial haben, Emissionen im Jahr 2030 um etwa 6 Gt CO_2-Äq./Jahr zu senken. Dies zu realisieren erfordert, sich mit Hemmnissen bei der Umsetzung zu befassen. [11.3]
- Die gesamte Herausforderung der Emissionsminderung kann nicht von einem Sektor oder mit einer Technologie alleine angegangen werden. Alle bewerteten Sektoren tragen zum Gesamtergebnis bei (siehe Abbildung SPM.6). Die Schlüsseltechnologien zur Emissionsminderung für die jeweiligen Sektoren sind in Tabelle SPM.3 aufgeführt [4.3, 4.4, 5.4, 6.5, 7.5, 8.4, 9.4, 10.4].

[15] In diesem Bericht, wie auch im Zweiten (SAR) und Dritten (TAR) Sachstandsbericht, sind Optionen mit negativen Nettokosten (no regret bzw. nachteilfreie Optionen) als diejenigen Optionen definiert, deren Vorteile wie geringere Energiekosten und verringerte Emissionen lokaler/regionaler Schadstoffe ihre Kosten für die Gesellschaft aufwiegen oder übersteigen, wobei die Vorteile einer vermiedenen Klimaänderung ausgeklammert werden (siehe Kasten SPM.1).

Top-down-Untersuchungen:

- Top-down-Untersuchungen ergeben für das Jahr 2030 einen Emissionsrückgang, wie er in Tabelle SPM.2 und in Abbildung SPM.5B dargestellt ist. Die in den Top-down-Untersuchungen berechneten weltweiten wirtschaftlichen Potenziale entsprechen den Bottom-up-Untersuchungen (siehe Kasten SPM.2), obgleich auf sektoraler Ebene beträchtliche Unterschiede bestehen [3.6].
- Die Schätzungen in Tabelle SPM.2 stammen aus Stabilisierungsszenarien, d.h. aus Läufen mit dem Ziel einer langfristigen Stabilisierung der atmosphärischen THG-Konzentration [3.6].

Tabelle SPM.1: *aus Bottom-up-Untersuchungen geschätztes weltweites wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030.*

Kohlendioxidpreis (US-$/t CO_2-Äq.)	**Wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial** (Gt CO_2-Äq./Jahr)	**Verringerung gegenüber SRES A1 B (68 Gt CO_2-Äq./Jahr)** (68 $GtCO_2$-eq/yr) (%)	**Verringerung gegenüber SRES B2 (49 Gt CO_2-Äq./Jahr)** (49 $GtCO_2$-eq/yr) (%)
0	5–7	7–10	10–14
20	9–17	14–25	19–35
50	13–26	20–38	27–52
100	16–31	23–46	32–63

Tabelle SPM.2: *aus Top-down-Untersuchungen geschätztes weltweites wirtschaftliches Potenzial im Jahr 2030.*

Kohlendioxidpreis (US-$/t CO_2-Äq.)	**Wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial** (Gt CO_2-Äq./Jahr)	**Verringerung gegenüber SRES A1 B (68 Gt CO_2-Äq./Jahr)** (68 $GtCO_2$-eq/yr) (%)	**Verringerung gegenüber SRES B2 (49 Gt CO_2-Äq./Jahr)** (49 $GtCO_2$-eq/yr) (%)
20	9–18	13–27	18–37
50	14–23	21–34	29–47
100	17–26	25–38	35–53

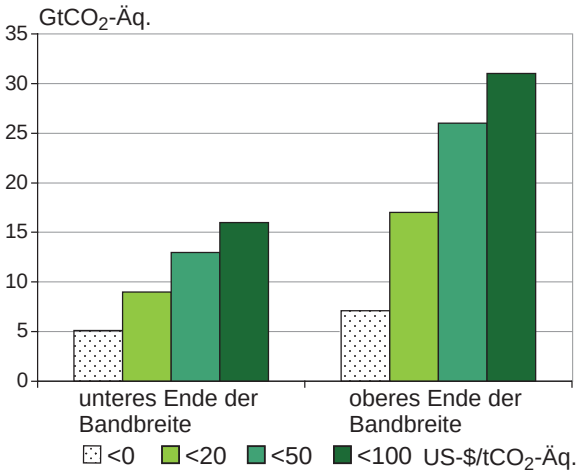


Abbildung SPM.5A:
in Bottom-up-Untersuchungen abgeschätztes weltweites wirtschaftliches Potenzial im Jahr 2030 (Daten aus Tabelle SPM.1)

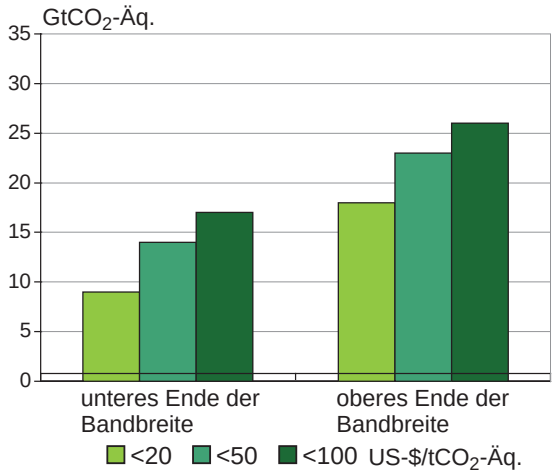
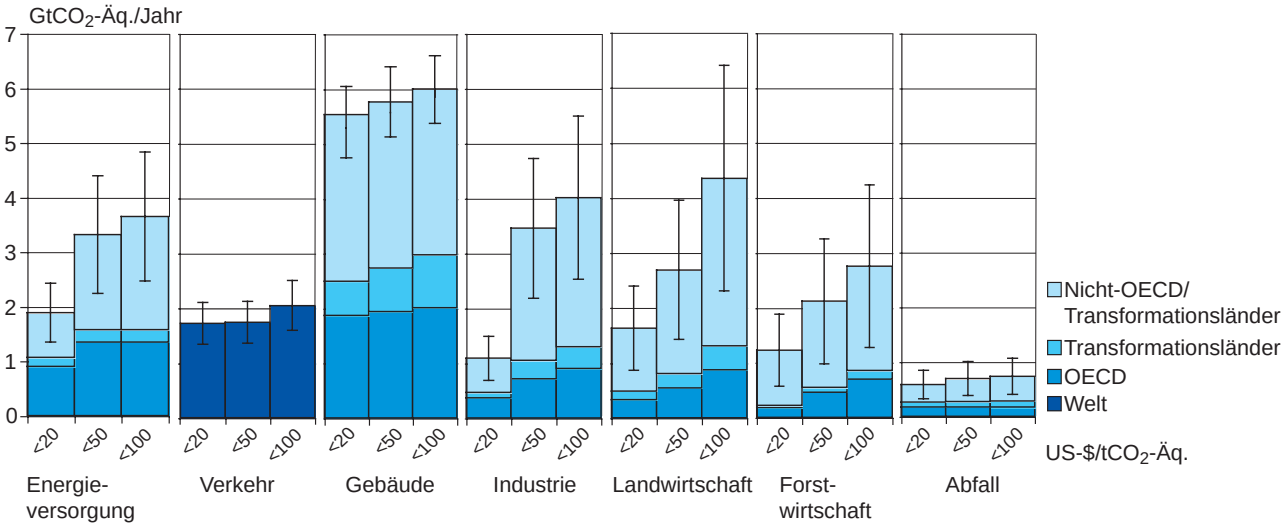


Abbildung SPM.5B:
in Top-down-Untersuchungen abgeschätztes weltweites wirtschaftliches Potenzial im Jahr 2030 (Daten aus Tabelle SPM.2)

Tabelle SPM.3: *Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Emissionsminderung nach Sektoren. Sektoren und Technologien sind in keiner bestimmten Reihenfolge aufgeführt. Nicht-technologische Praktiken, wie z.B. Änderungen im Lebensstil, die sich durch alle Sektoren ziehen, sind nicht in dieser Tabelle enthalten (werden aber in Abschnitt 7 dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger behandelt).*

Sektor	**Aktuell auf dem Markt befindliche Schlüsseltechnologien und -praktiken zur Emissionsminderung.**	**Schlüsseltechnologien und -praktiken zur Emissionsminderung, die laut Projektionen bis 2030 auf den Markt kommen.**
Energieversorgung [4.3, 4.4]	Erhöhte Versorgungs- und Verteilungseffizienz; Brennstoffwechsel von Kohle zu Gas; Kernenergie; erneuerbare Energien für Wärme und Strom (Wasserkraft, Solarenergie, Windkraft, Erdwärme und Biomasse); Kraft-Wärme-Kopplung; frühe Anwendung von CO_2-Abtrennung und –speicherung (CCS; z.B. Speicherung von aus Erdgas entferntem CO_2)	CO_2-Abtrennung und –speicherung (CCS) für gas-, biomasse- oder kohlebetriebene Stromkraftwerke; weiterentwickelte Kernenergie; weiterentwickelte erneuerbare Energien, einschl. Gezeiten- und Wellenkraftwerke, solarthermische Energie (CSP – *concentrating solar power*) und solare Photovoltaik
Verkehr [5.4]	Treibstoffeffizientere Fahrzeuge; Hybridfahrzeuge; sauberere Dieselfahrzeuge; Biotreibstoffe; modale Verlagerung vom Straßenverkehr auf die Schiene und öffentliche Verkehrssysteme; schnelle öffentliche Verkehrssysteme, nicht-motorisierter Verkehr (Fahrradfahren, Zufußgehen); Landnutzungs- und Verkehrsplanung	Biotreibstoffe zweiter Generation; effizientere Flugzeuge; weiterentwickelte Elektro- und Hybridfahrzeuge mit stärkeren und zuverlässigeren Batterien
Gebäude [6.5]	Effiziente Beleuchtung und Ausnutzung des Tageslichts; effizientere Elektrogeräte und Heiz- und Kühlvorrichtungen; weiterentwickelte Kochherde; bessere Wärmedämmung; passive und aktive Solararchitektur für Heizung und Kühlung; alternative Kühlflüssigkeiten, Rückgewinnung und Wiederverwertung von fluorierten Gasen	Integrale Energiekonzepte für Geschäftsgebäude einschließlich Technologien wie z.B. intelligente Zähler, die Rückkopplung und Steuerung ermöglichen; in Gebäude integrierte Photovoltaik
Industrie [7.5]	Effizientere elektrische Endverbraucherausrüstung; Wärme- und Stromrückgewinnung; Materialwiederverwertung und –ersatz; Emissionsminderung von Nicht-CO_2-Gasen; sowie ein breites Spektrum an prozessspezifischen Technologien	Weiterentwickelte Energieeffizienz; CCS bei Zement-, Ammoniak- und Eisenherstellung; inerte Elektroden für die Aluminiumherstellung
Landwirtschaft [8.4]	Verbessertes Management von Acker- und Weideflächen zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Boden; Renaturierung von kultivierten Torfböden und degradierten Böden; verbesserte Reisanbautechniken sowie Vieh- und Düngemanagement zur Verringerung von CH_4-Emissionen; verbesserte Stickstoffdüngung zur Verringerung von N_2O-Emissionen; gezielter Anbau von Energiepflanzen als Ersatz für fossile Brennstoffe; erhöhte Energieeffizienz	Verbesserung der Ernteerträge
Forstwirtschaft [9.4]	(Wieder-)Aufforstung; Forstwirtschaft; reduzierte Entwaldung; Regulierung von Holzprodukten; Nutzung von Forstprodukten für Bioenergie als Ersatz für fossile Brennstoffe	Weiterentwicklung von Baumarten zur Steigerung der Biomasseproduktivität und Kohlenstoffspeicherung. Verbesserte Fernerkundungstechnologien für die Analyse des Potenzials zur Kohlendioxidaufnahme durch Vegetation/Boden und für die Kartierung von Landnutzungsänderungen
Abfall [10.4]	Rückgewinnung von Methan aus Deponien; Müllverbrennung mit Energierückgewinnung; Kompostierung organischer Abfälle; kontrollierte Abwasserbehandlung; Recycling und Abfallminimierung	Methanoxidationsschicht (Biocover) und Biofilter für optimierte CH_4-Oxidation



(Potenzial bei <100 US-$/t CO_2-Äq.: 2,4–4,7 Gt CO_2-Äq./ Jahr)	*(Potenzial bei <100 US-$/t CO_2-Äq.: 1,6–2,5 Gt CO_2-Äq./ Jahr)*	*(Potenzial bei <100 US-$/t CO_2-Äq.: 5,3–6,7 Gt CO_2-Äq./ Jahr)*	*(Potenzial bei <100 US-$/t CO_2-Äq.: 2,5–5,5 Gt CO_2-Äq./ Jahr*	*(Potenzial bei <100 US-$/t CO_2-Äq.: 2,3–6,4 Gt CO_2-Äq./ Jahr*	*(Potenzial bei <100 US-$/t CO_2-Äq.: 1,3–4,2 Gt CO_2-Äq./ Jahr*	*(Potenzial bei <100 US-$/t CO_2-Äq.: 0,4–1 Gt CO_2-Äq./ Jahr*

Abbildung SPM.6: *Geschätztes sektorales wirtschaftliches Potenzial zur weltweiten Emissionsminderung für verschiedene Regionen als Funktion des Kohlendioxidpreises im Jahr 2030 aus bottom-up-Untersuchungen im Vergleich zu den jeweiligen Referenzwerten, die für die sektoralen Bewertungen angenommen wurden. Eine ausführliche Erläuterung der Herleitung dieser Abbildung wird in Kapitel 11.3 gegeben.*

Anmerkungen:

1. Die Bandbreiten für die weltweiten wirtschaftlichen Potenziale, wie sie für jeden Sektor abgeschätzt wurden, sind durch senkrechte Linien angegeben. Die Bandbreiten basieren auf der Zuordnung von Emissionen zum Endnutzer, was bedeutet, dass Emissionen aus dem Stromverbrauch den Endnutzer-Sektoren zugeordnet werden und nicht dem Energieversorgungssektor.
2. Die geschätzten Potenziale wurden durch die Verfügbarkeit von Untersuchungen, insbesondere für hohe Kohlendioxidpreisniveaus, eingeschränkt.
3. Für die Sektoren wurden unterschiedliche Referenzszenarien verwendet. Für den Sektor Industrie wurde das Referenzszenario SRES B2 benutzt; für Energieversorgung und Verkehr wurde das Referenzszenario des WEO 2004 benutzt; der Sektor Gebäude basiert auf einem Referenzszenario zwischen SRES B2 und A1B; für Abfall wurden die Treibergrößen aus SRES A1B benutzt, um ein abfallspezifisches Referenzszenario zu schaffen; Land- und Forstwirtschaft basieren auf Referenzszenarien, die größtenteils SRES B2-Treibergrößen benutzten.
4. Für Verkehr sind nur weltweite Gesamtwerte angegeben, da internationaler Flugverkehr mit einbezogen ist [5.4].
5. Ausgeschlossene Kategorien sind: Nicht-CO_2-Emissionen aus Gebäuden und Verkehr; einige Optionen zur Materialeffizienz; Wärmeerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung in der Energieversorgung; Schwerlastfahrzeuge; Schiffsverkehr und stark ausgelastete öffentliche Verkehrsmittel; die meisten kostenintensiven Optionen für Gebäude; Abwasserbehandlung; Emissionsminderung aus Kohlebergwerken und Gaspipelines; fluorierte Gase aus Energieversorgung und Verkehr. Die Unterschätzung des gesamten wirtschaftlichen Potenzials aufgrund der Nichtberücksichtigung dieser Emissionen liegt in der Größenordnung von 10–15%.

6. Für das Jahr 2030 liegen die Schätzungen der gesamtwirtschaftlichen Kosten für eine Multi-Gas-Emissionsminderung, die Emissionstrajektorien in Richtung einer Stabilisierung zwischen 445 und 710 ppm CO_2-Äq. entspricht, zwischen einer weltweiten BIP-Reduzierung von 3% und einem kleinen Zuwachs im Vergleich zum Referenzszenario (siehe Tabelle SPM.4). Regionale Kosten können sich jedoch signifikant von globalen Mittelwerten unterscheiden *(hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage)* **(siehe Kasten SPM.3 zu Methodik und Annahmen bezüglich dieser Ergebnisse).**

- Die meisten Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass die BIP-Reduzierung im Vergleich zum BIP-Referenzwert mit der Strenge des Stabilisierungsziels ansteigt.

Tabelle SPM.4: *Geschätzte weltweite gesamtwirtschaftliche Kosten im Jahr 2030[a] für die Mindestkosten-Trajektorien für verschiedene langfristige Stabilisierungsniveaus.[b, c]*

Stabilisierungsniveaus (ppm CO_2-Äq.)	Median der BIP-Reduzierung[d] (%)	Bandbreite der BIP-Reduzierung[d, e] (%)	Reduzierung der durchschnittlichen jährlichen BIP-Zuwachsraten[d, f] (Prozentpunkte)
590–710	0.2	-0.6–1.2	<0.06
535–590	0.6	0.2–2.5	<0.1
445–535[g]	not available	<3	<0.12

a Für ein gegebenes Stabilisierungsniveau würde die BIP-Reduzierung in den meisten Modellen nach dem Jahr 2030 mit der Zeit zunehmen. Langfristige Kostenangaben werden auch unsicherer. [Abbildung 3.25]

b Die Ergebnisse beruhen auf Untersuchungen, die verschiedene Referenzszenarien verwenden.

c Die Untersuchungen unterscheiden sich im Hinblick auf den Zeitpunkt, zu dem die Stabilisierung erreicht wird; im Allgemeinen ist dies im Jahr 2100 oder später.

d Dies ist weltweites BIP basierend auf Marktwechselkursen.

e Angegeben sind der Median und der Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil der untersuchten Daten.

f Die Berechnung der Reduzierung der jährlichen Zuwachsraten basiert auf der durchschnittlichen Reduzierung während der Zeit bis 2030, der zu der angegebenen BIP-Reduzierung im Jahr 2030 führen würde.

g Es gibt relativ wenige Untersuchungen, die BIP-Ergebnisse nennen, und sie verwenden im Allgemeinen niedrige Referenzwerte.

- In Abhängigkeit vom bestehenden Steuersystem und der Verwendung von Erträgen lassen Modellstudien erkennen, dass die Kosten erheblich niedriger sein könnten, unter der Annahme, dass Erlöse aus Kohlendioxidsteuern oder aus versteigerten Zertifikaten unter einem Emissionshandelssystem benutzt werden, um kohlendioxidarme Technologien zu fördern oder bestehende Steuern zu reformieren [11.4].
- Untersuchungen, die die Möglichkeit einschließen, dass Klimaschutzpolitik einen verstärkten Technologiewandel hervorruft, liefern ebenfalls geringere Kosten. Dies kann jedoch höhere Investitionen am Anfang nötig machen, um später eine Kostenreduzierung zu erhalten [3.3, 3.4, 11.4, 11.5, 11.6].
- Obwohl die meisten Modelle BIP-Reduzierungen zeigen, weisen manche BIP-Gewinne aus, da sie annehmen, dass die Referenzszenarien nicht optimal sind und Emissionsminderungsmaßnahmen die Effizienz des Marktes verbessern, oder durch Emissionsminderungsmaßnahmen mehr Technologiewandel hervorgerufen wird. Beispiele für Marktineffizienzen sind unter anderem ungenutzte Ressourcen, verzerrende Steuern und/oder Subventionen [3.3, 11.4].
- Ein Multi-Gas-Ansatz und die Einbeziehung von Kohlendioxidsenken reduzieren im Allgemeinen die Kosten wesentlich stärker als die alleinige Bekämpfung von CO_2-Emissionen.
- Regionale Kosten hängen zum Großteil vom angenommenen Stabilisierungsniveau und dem Referenzszenario ab. Das Allokationsregime ist ebenfalls von Bedeutung, aber für die meisten Länder in geringerem Ausmaß als das Stabilisierungsniveau [11.4, 13.3].

7. **Änderungen des Lebensstils und der Verhaltensmuster können über alle Sektoren hinweg zum Klimaschutz beitragen. Managementpraktiken können ebenfalls eine positive Rolle spielen.** *(hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage)*
   - Änderungen im Lebensstil können THG-Emissionen verringern. Änderungen der Lebensstile und Konsummuster, die Wert auf den Ressourcenschutz legen, können zur Entwicklung einer kohlendioxidarmen Wirtschaft beitragen, die sowohl gerecht als auch nachhaltig ist [4.1, 6.7].
   - Weiterbildung und Schulungsprogramme können helfen, Hemmnisse bei der Marktakzeptanz von Energieeffizienz zu überwinden, insbesondere in Kombination mit anderen Maßnahmen [Tabelle 6.6].
   - Änderungen im Nutzerverhalten, in kulturellen Mustern und in der Wahl und der Nutzung von Technologien durch die Verbraucher können zu einer erheblichen Verringerung von CO_2-Emissionen im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch in Gebäuden führen [6.7].

- Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage (Transport Demand Management), einschließlich Stadtplanung (die den Mobilitätsbedarf senken kann) und der Bereitstellung von Information und Ausbildungstechniken (die die Autonutzung senken und zu einem effizienteren Fahrstil führen können), können die Minderung von Treibhausgasemissionen unterstützen [5.1].
- In der Industrie können Managementinstrumente, die Mitarbeiterschulungen, Belohnungssysteme, regelmäßige Rückmeldungen und die Dokumentation vorhandener Verfahrensweisen mit einschließen, helfen, organisatorische Hemmnisse in der Industrie zu überwinden und den Energieverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen zu senken [7.3].

8. **Obwohl die Untersuchungen unterschiedliche Methoden anwenden, können in allen untersuchten Weltregionen die kurzfristigen Vorteile für die Gesundheit durch geringere Luftverschmutzung als Folge von Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen erheblich sein und einen erheblichen Teil der Emissionsminderungskosten aufwiegen** *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)*
   - Die Einbeziehung anderer positiver Nebeneffekte außer Gesundheit, wie z.B. erhöhte Energiesicherheit, erhöhte landwirtschaftliche Produktion und geringere Belastung natürlicher Ökosysteme aufgrund niedrigerer troposphärischer Ozonkonzentrationen, würden die Kostenersparnis weiter vergrößern. [11.8]
   - Die Zusammenführung von Luftverschmutzungsbekämpfung und Klimaschutzpolitik bietet potenziell große Kostenreduzierungen im Vergleich zur getrennten Behandlung dieser Bereiche. [11.8]

9. **Die nach dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) entstandene Literatur bestätigt, dass Initiativen in Annex I-Ländern Auswirkungen auf die globale Wirtschaft und die weltweiten Emissionen haben können, obwohl das Ausmaß von Verlagerungen von Kohlendioxidemissionen („Leckageeffekten") unsicher bleibt** *(hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage).*
   - Nationen, die fossile Brennstoffe exportieren (sowohl in Annex I- wie auch in Nicht-Annex I-Ländern) können, wie im TAR[16] angemerkt, geringere Nachfrage und Preise sowie ein geringeres BIP-Wachstum aufgrund von Emissionsminderungsmaßnahmen erwarten. Das Ausmaß dieses spill-over-Effekts[17] hängt stark von den Annahmen zu politischen Entscheidungen und den Bedingungen auf dem Ölmarkt ab. [11.7]
   - Es verbleiben kritische Unsicherheiten in der Bewertung von Verlagerungen von Kohlendioxidemissionen[18]. Die meisten Gleichgewichtsmodelle unterstützen die Schlussfolgerung im TAR, dass durch Kyoto-Maßnahmen eine gesamtwirtschaftliche Verlagerung in der Größenordnung von 5–20% entstünde, die geringer ausfiele, wenn wettbewerbsfähige Niedrigemissionstechnologien effektiv verbreitet würden. [11.7].

10. **Neue Investitionen in die Energieversorgung in Entwicklungsländern, die Erneuerung der Energieinfrastruktur in Industrieländern und Politiken zur Erhöhung der Energiesicherheit können in vielen Fällen Möglichkeiten für THG-Emissionsminderungen[19] im Vergleich zum Referenzszenario schaffen. Zusätzliche positive Nebeneffekte sind länderspezifisch, schließen aber oft die Bekämpfung von Luftverschmutzung, eine Verbesserung der Handelsbilanz, die Bereitstellung von moderner Energieversorgung in ländlichen Gegenden und Beschäftigung mit ein** *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*
   - Zukünftige Entscheidungen über Investitionen in Energieinfrastruktur, für die eine Gesamtsumme von über 20 Billionen US-$[20] von heute bis zum Jahr 2030 erwartet wird, werden aufgrund der langen Nutzungsdauer von Kraftwerken und anderer Infrastruktur langfristige Auswirkungen auf THG-Emissionen haben. Eine umfassende Verbreitung kohlendioxidarmer Technologien kann Jahrzehnte dauern, selbst wenn frühzeitige Investitionen in diese Technologien attraktiv gemacht werden. Erste Abschätzungen zeigen, dass eine Rückkehr der weltweiten energiebezogenen CO_2-Emissionen bis zum Jahr 2030 auf das Niveau von 2005 eine große Umlenkung von Investitionen nötig machen wür-

[16] Siehe Dritter Sachstandsbericht WG III (2001), Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, Abschnitt 16
[17] Spill-over-Effekte der Emissionsminderung in einer sektorübergreifenden Sichtweise sind die Effekte von Emissionsminderungspolitiken und -maßnahmen in einem Land oder einer Gruppe von Ländern auf Sektoren in anderen Ländern.
[18] Kohlendioxidleckage (carbon leakage) ist definiert als der Anstieg an CO_2-Emissionen außerhalb derjenigen Länder, die nationale Emissionsminderungsmaßnahmen umsetzen, geteilt durch den Rückgang der Emissionen dieser Länder.
[19] Siehe Tabelle SPM.1 und Abbildung SPM.6
[20] 20 Billionen = 20000 Milliarden = $20*10^{12}$

de, obwohl die zusätzlich benötigten Nettoinvestitionen von vernachlässigbar bis zu 5–10% reichen [4.1, 4.4, 11.6].

- Es ist oft kosteneffektiver, in die Verbesserung der Energieeffizienz des Endverbrauchs zu investieren, als die Energiebereitstellung zu erhöhen, um die Nachfrage nach Energiedienstleistungen zu befriedigen. Effizienzverbesserung hat einen positiven Effekt auf Energiesicherheit, lokale und regionale Luftverschmutzungsbekämpfung und Beschäftigung [4.2, 4.3, 6.5, 7.7, 11.3, 11.8].
- Erneuerbare Energien haben im Allgemeinen einen positiven Effekt auf Energiesicherheit, Beschäftigung und die Luftqualität. Bei Betrachtung der Kosten im Vergleich zu anderen Versorgungsmöglichkeiten kann Elektrizität aus erneuerbaren Energien, die 2005 18% der Stromversorgung ausmachte, bei Kohlendioxidpreisen von bis zu US-$ 50/t CO_2-Äq. im Jahr 2030 einen Anteil von 30–35% an der gesamten Stromversorgung erreichen [4.3, 4.4, 11.3, 11.6, 11.8].
- Je höher die Marktpreise für fossile Brennstoffe, desto wettbewerbsfähiger werden kohlendioxidarme Alternativen sein, obwohl Preisschwankungen den Anreiz für Investoren vermindern werden. Auf der anderen Seite können teurere konventionelle Ölressourcen durch kohlendioxidintensive Alternativen wie Ölsande, Ölschiefer, Schweröle und synthetische Kraftstoffe aus Kohle und Gas ersetzt werden, was zu steigenden THG-Emissionen führen wird, es sei denn, die Produktionsstätten sind mit CCS ausgerüstet. [4.2, 4.3, 4.4, 4.5].
- Bei Betrachtung der Kosten im Vergleich zu anderen Versorgungsmöglichkeiten kann Kernenergie, die 2005 16% der Stromversorgung ausmachte, bei Kohlendioxidpreisen von bis zu US-$ 50/t CO_2-Äq.im Jahr 2030 einen Anteil von 18% an der gesamten Stromversorgung erreichen. Jedoch verbleiben die Sicherheitsfrage, die Verbreitung von Waffen und der Atommüll als Hemmnisse [4.2, 4.3, 4.4].[21]
- Kohlendioxidabtrennung und –speicherung (CCS) in unterirdischen geologischen Formationen stellt eine neue Technologie dar mit dem Potenzial, einen wichtigen Beitrag zur Emissionsminderung bis 2030 zu leisten. Technische, wirtschaftliche und gesetzliche Entwicklungen werden den tatsächlichen Beitrag beeinflussen [4.3, 4.4].

11. Es gibt vielfältige Möglichkeiten zur Emissionsminderung im Verkehrssektor[19], aber das Wachstum des Sektors kann deren Wirkung entgegenstehen. Den Möglichkeiten zur Emissionsminderung stehen viele Hemmnisse entgegen, wie z.B. Verbrauchervorlieben und der Mangel an politischen Rahmenbedingungen *(mittlere Übereinstimmung, mittlere Beweislage).*

- Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrzeugeffizienz, die zu Treibstoffersparnis führen, haben in vielen Fällen netto Vorteile (zumindest für leichte Nutzfahrzeuge), allerdings ist das Marktpotenzial aufgrund des Einflusses anderer Gesichtspunkte seitens der Verbraucher, wie z.B. Leistung und Größe, viel geringer als das wirtschaftliche Potenzial. Für eine Bewertung des Emissionsminderungspotenzials von Schwerlastkraftwagen liegen nicht genügend Informationen vor. Es ist daher nicht zu erwarten, dass Marktkräfte allein, einschließlich steigender Treibstoffkosten, zu signifikanten Emissionsrückgängen führen [5.3, 5.4].
- Biotreibstoffe könnten, je nach Herstellungsmethode, eine wichtige Rolle bei der Minderung von THG-Emissionen im Verkehrssektor spielen. Biotreibstoffe als Benzin- und Dieselzusätze/-ersatzstoffe wachsen im Referenzszenario im Jahr 2030 auf 3% des gesamten Energiebedarfs im Verkehrssektor an. Dieser Anteil könnte sich auf etwa 5–10% steigern, abhängig von den zukünftigen Öl- und Kohlendioxidpreisen, den Verbesserungen in der Fahrzeugeffizienz und dem Erfolg von Technologien für die Nutzung von Biomasse aus Zellulose [5.3, 5.4].
- Modale Verkehrsverlagerungen (modal shifts) von der Straße auf die Schiene und auf die Binnenschifffahrt sowie von gering zu hoch ausgelasteten Personenverkehrssystemen[22] wie auch Landnutzungs- und Stadtplanung und nicht-motorisierter Verkehr bieten Möglichkeiten zur Treibhausgasminderung, abhängig von lokalen Gegebenheiten und Politiken [5.3, 5.5].
- Ein mittelfristiges Emissionsminderungspotenzial für CO_2-Emissionen aus dem Luftverkehrssektor kann mit verbesserter Treibstoffeffizienz geschaffen werden. Dies kann durch eine Vielzahl an Mitteln erreicht werden kann, einschließlich Technologie, Betriebsablauf und Luftverkehrsmanagement. Es wird jedoch erwartet, dass solche

[21] Österreich konnte diesem Absatz nicht zustimmen.
[22] Einschließlich Massentransport auf Schiene, Straße und Wasserwegen sowie Fahrgemeinschaften.

Verbesserungen das Wachstum von Luftverkehrsemissionen nur teilweise ausgleichen. Das gesamte Potenzial zur Emissionsminderung des Sektors müsste auch die Nicht-CO_2-Klimawirkungen der Luftverkehrsemissionen erfassen [5.3, 5.4].

- Die Erzielung von Emissionsminderungen im Verkehrssektor ist oft ein positiver Nebeneffekt von Staubekämpfung, der Verbesserung der Luftqualität und der Energiesicherheit [5.5].

12. Energieeffizienzoptionen[19] für neue und bestehende Gebäude könnten CO_2-Emissionen beträchtlich reduzieren und dabei einen wirtschaftlichen Nettogewinn erzielen. Der Nutzung dieses Potenzials stehen zwar viele Hemmnisse entgegen, es gibt aber auch große positive Nebeneffekte *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Bis 2030 können etwa 30% der projizierten THG-Emissionen im Gebäudesektor mit wirtschaftlichem Nettogewinn vermieden werden [6.4, 6.5].
- Energieeffiziente Gebäude können, bei gleichzeitiger Begrenzung des CO_2-Emissionsanstiegs, auch die Qualität der Innen- und Außenluft sowie die öffentliche Wohlfahrt verbessern und die Energiesicherheit erhöhen [6.6, 6.7].
- Möglichkeiten zur THG-Minderung im Gebäudesektor bestehen weltweit. Zahlreiche Hemmnisse erschweren jedoch die Umsetzung dieses Potenzials. Diese Hemmnisse beziehen sich unter anderem auf die Verfügbarkeit von Technologie, Finanzierung, Armut, höhere Kosten für verlässliche Informationen, Einschränkungen durch die Gebäudegestaltung und ein angemessenes Portfolio an Politiken und Programmen [6.7, 6.8].
- Das Ausmaß der oben genannten Hemmnisse ist in den Entwicklungsländern größer, und dies macht es für sie schwieriger, das THG-Minderungspotenzial im Gebäudesektor zu realisieren [6.7].

13. Das wirtschaftliche Potenzial im Industriesektor[19] liegt hauptsächlich in energieintensiven Industriezweigen. Die verfügbaren Möglichkeiten zur Emissionsminderung werden weder in Industrie- noch in Entwicklungsländern voll ausgenutzt *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Viele Industrieanlagen in Entwicklungsländern sind neu und mit neuester Technologie mit niedrigstmöglichen spezifischen Emissionen ausgestattet. Jedoch verbleiben sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern viele ältere, ineffiziente Anlagen. Diese Anlagen nachzurüsten kann signifikante Emissionsminderungen bewirken [7.1, 7.3, 7.4].
- Der langsame Umschlag des Kapitalstocks, der Mangel an finanziellen und technischen Ressourcen und Einschränkungen in der Fähigkeit von Firmen, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen, auf technologische Information zuzugreifen und sie aufzunehmen, stellen wichtige Hemmnisse für die volle Ausnutzung von verfügbaren Emissionsminderungsmöglichkeiten dar [7.6].

14. Landwirtschaftliche Verfahren können in ihrer Gesamtheit zu niedrigen Kosten[19] einen signifikanten Beitrag zur verstärkten Aufnahme von Kohlenstoff im Boden (Kohlenstoffsenken), zur THG-Emissionsminderung und durch die Lieferung von Biomasse zur Energieversorgung leisten *(mittlere Übereinstimmung, mittlere Beweislage).*

- Ein Großteil des Potenzials zur Emissionsminderung in der Landwirtschaft (Bioenergie ausgenommen) beruht auf der Aufnahme von Kohlenstoff im Boden, wobei starke Synergien mit nachhaltiger Landwirtschaft bestehen und allgemein die Verwundbarkeit gegenüber der Klimaänderung verringert wird [8.4, 8.5, 8.8].
- Kohlenstoffspeicher im Boden können sowohl durch Änderungen im Landmanagement als auch durch die Klimaänderung anfällig für Verluste sein [8.10].
- Auch Verringerungen von Methan- und Lachgasemissionen in einigen landwirtschaftlichen Systemen bieten ein beträchtliches Emissionsminderungspotenzial [8.4, 8.5].
- Es gibt keine universell anwendbare Liste von Emissionsminderungsmaßnahmen; Maßnahmen müssen für die einzelnen landwirtschaftlichen Systeme und Gegebenheiten bewertet werden [8.4].
- Biomasse aus landwirtschaftlichen Rückständen und aus dem gezielten Anbau von Energiepflanzen kann einen bedeutenden Rohstoff für Bioenergie darstellen, ihr Beitrag zur Emissionsminderung hängt jedoch von der Nachfrage nach Bioenergie in Verkehr und Energieversorgung, der Was-

[23] Tuvalu wies auf Schwierigkeiten mit dem Verweis „niedrige Kosten“ hin, da Kapitel 9, Seite 15 des WG III-Berichts aussagt, dass „die Kosten von forstbezogenen Emissionsminderungsprojekten signifikant ansteigen, wenn Opportunitätskosten für Land mit einbezogen werden“.

serverfügbarkeit und dem Bedarf an Anbaufläche für die Nahrungs- und Faserproduktion ab. Eine ausgedehnte Nutzung landwirtschaftlicher Anbauflächen für die Produktion von Biomasse für die Energieversorgung kann mit anderen Formen der Landnutzung konkurrieren und kann positive wie negative Umwelteffekte sowie Auswirkungen auf die Nahrungsmittelsicherheit haben [8.4, 8.8].

15. **Forstwirtschaftliche Emissionsminderungsmaßnahmen können zu niedrigen Kosten Emissionen aus Quellen beträchtlich reduzieren und die Aufnahme in Senken steigern[19] und können so angelegt werden, dass Synergien mit Anpassungsmaßnahmen und nachhaltiger Entwicklung geschaffen werden** *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)*[23]
    - Etwa 65% des gesamten Emissionsminderungspotenzials dieses Sektors (bis zu 100 US-$/t CO_2-Äq.) liegen in den Tropen, und etwa 50% des gesamten Sektorpotenzials könnte durch die Minderung von Emissionen aus Entwaldung erreicht werden [9.4].
    - Die Klimaänderung kann das Emissionsminderungspotenzial im forstwirtschaftlichen Sektor (d.h. Urwälder und gepflanzte Wälder/Forste) beeinflussen. Es wird erwartet, dass dieser Einfluss sich nach Region und Subregion sowohl im Ausmaß als auch in der Richtung unterscheidet [9.5].
    - Optionen zur Emissionsminderung in der Forstwirtschaft können so entworfen und umgesetzt werden, dass sie mit der Anpassung an den Klimawandel verträglich sind. Sie können beträchtliche positive Nebeneffekte bezüglich Beschäftigung, Einkommensschaffung, dem Schutz von biologischer Vielfalt und Wassereinzugsgebieten, der Versorgung mit erneuerbaren Energien und der Armutsbekämpfung haben [9.5, 9.6, 9.7].

16. **Haushaltsmüll[24] trägt nur wenig zu den weltweiten THG-Emissionen bei[25] (<5%), aber der Abfallsektor kann zu niedrigen Kosten positiv zur THG-Minderung beitragen und nachhaltige Entwicklung fördern (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**
    - Bestehende Praktiken in der Abfallwirtschaft können für eine effektive Minderung von THG-Emissionen aus diesem Sektor sorgen: Es ist eine große Bandbreite an ausgereiften, umweltwirksamen Technologien auf dem Markt, um Emissionen zu mindern und positive Nebeneffekte für verbesserte öffentliche Gesundheit und Sicherheit, Bodenschutz und Vermeidung von Umweltverschmutzung sowie die lokale Energieversorgung zu liefern [10.3, 10.4, 10.5].
    - Abfallminimierung und -wiederverwertung liefern wichtige indirekte Vorteile für die Emissionsminderung durch Energie- und Materialersparnisse [10.4].
    - Der Mangel an lokalem Kapital stellt ein Haupthemmnis für die Abfall- und Abwasserwirtschaft in Entwicklungs- und Transformationsländern dar. Der Mangel an Fachkenntnissen über nachhaltige Technologie ist ebenfalls ein wichtiges Hemmnis [10.6].

17. **Möglichkeiten zu großmaßstäblichen Eingriffen in natürliche Vorgänge (Geoengineering), wie z.B. die Düngung von Ozeanen, um CO_2 direkt aus der Luft zu entfernen, oder die Schwächung von Sonnenlicht durch die Ausbringung von Material in der oberen Atmosphäre, bleiben weitgehend spekulativ und unbewiesen sowie mit dem Risiko von unbekannten Nebenwirkungen behaftet. Verlässliche Kostenabschätzungen für diese Optionen sind nicht veröffentlicht worden** *(mittlere Übereinstimmung, schwache Beweislage)* [11.2].

[24] Industrieabfall wird dem Industriesektor zugerechnet.
[25] Treibhausgase aus Abfall schließen Methan aus Deponien und Abwasser, Abwasser-N_2O und CO_2 aus der Verbrennung von fossilem Kohlenstoff ein.

D. Langfristige Emissionsminderung (nach 2030)

18. Um die Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre zu stabilisieren, müssten die Emissionen nach dem Erreichen eines Maximalwerts abnehmen. Je niedriger das Stabilisierungsniveau, desto schneller müsste dieser Maximalwert erreicht werden und die Abnahme stattfinden. Anstrengungen zur Emissionsminderung in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten werden eine starke Auswirkung auf die Möglichkeiten zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsziele haben (siehe Tabelle SPM.5 und Abbildung SPM.8)[26] *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Jüngste Untersuchungen haben unter Einbeziehung von Multi-Gas-Reduzierungen niedrigere Stabilisierungsniveaus untersucht, als im TAR beschrieben.
- Die bewerteten Untersuchungen beinhalten eine Bandbreite an Emissionsprofilen zur Erreichung einer Stabilisierung von THG-Konzentrationen.[27] Die meisten dieser Untersuchungen nutzten einen Mindestkostenansatz und behandeln sowohl frühe als auch verzögerte Emissionsrückgänge (Abbildung SPM.7) [Kasten SPM.2]. Tabelle SPM.5 fasst die benötigten Emissionsniveaus für verschiedene Gruppen von Stabilisierungskonzentrationen und die damit verbundenen Anstiege der mittleren globalen Temperatur im Klimagleichgewicht[28] unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung" der Klimasensitivität zusammen (siehe auch Abbildung SPM.8 zu wahrscheinlichem Unsicherheitsbereich)[29]. Eine Stabilisierung bei niedrigeren Konzentrationen und auf entsprechend niedrigeren Niveaus der Gleichgewichtstemperatur verschiebt den Zeitpunkt nach vorne, zu dem die Emissionen ihren Maximalwert erreichen müssen, und benötigt stärkere Emissionsrückgänge bis zum Jahr 2050.

Tabelle SPM.5: *Kenndaten von nach dem TAR entstandenen Stabilisierungsszenarien [Tabelle TS2, 3.10]*[a)]

Kategorie	Strahlungsantrieb (W/m^2)	CO_2 Konzentration[c)] (ppm)	CO_2-Äq.-Konzentration[c)] (ppm)	Mittlerer globaler Gleichgewichtstemperaturanstieg über die vorindustriellen Werte unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung" der Klimasensitivität[b), c)] (°C)	Jahr maximaler CO_2-Emissionen[d)] (Jahr)	Änderung der globalen CO_2-Emissionen im Jahr 2050 (% der 2000er Emissionen)[d)] (Prozent)	Anzahl der bewerteten Szenarien
I	2.5–3.0	350–400	445–490	2.0–2.4	2000–2015	-85 to -50	6
II	3.0–3.5	400–440	490–535	2.4–2.8	2000–2020	-60 to -30	18
III	3.5–4.0	440–485	535–590	2.8–3.2	2010–2030	-30 to +5	21
IV	4.0–5.0	485–570	590–710	3.2–4.0	2020–2060	+10 to +60	118
V	5.0–6.0	570–660	710–855	4.0–4.9	2050–2080	+25 to +85	9
VI	6.0–7.5	660–790	855–1130	4.9–6.1	2060–2090	+90 to +140	5
						Gesamt	177

a Das Verständnis der Reaktion des Klimasystems auf den Strahlungsantrieb sowie der Rückkopplungen ist detailliert im AR4 WG I-Bericht bewertet. Rückkopplungen zwischen dem Kohlenstoffkreislauf und der Klimaänderung beeinflussen die benötigte Emissionsminderung für ein bestimmtes Stabilisierungsniveau der atmosphärischen CO_2-Konzentration. Es wird erwartet, dass diese Rückkopplungen den in der Atmosphäre verbleibenden Anteil an anthropogenen Emissionen erhöhen, während sich das Klimasystem erwärmt. Daher sind die Emissionsreduktionen zur Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus, die in den hier bewerteten Emissionsminderungsstudien angegeben wurden, möglicherweise unterschätzt.

b Die bestmögliche Schätzung der Klimasensitivität beträgt 3°C [Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger WG I].

c Es ist zu beachten, dass sich die mittlere globale Gleichgewichtstemperatur aufgrund der Trägheit des Klimasystems von der erwarteten mittleren globalen Temperatur zum Zeitpunkt der Stabilisierung von THG-Konzentrationen unterscheidet. In den meisten der bewerteten Szenarien tritt die Stabilisierung der THG-Konzentrationen zwischen 2100 und 2150 ein.

d Die Bandbreiten entsprechen dem Bereich vom 15. bis zum 85. Perzentil der Verteilung von Szenarien, die nach dem TAR entstandenen sind. Nur-CO_2-Emissionen sind ebenfalls angegeben, damit Multi-Gas-Szenarien mit Nur-CO_2-Szenarien verglichen werden können.

[26] Abschnitt 2 behandelt historische THG-Emissionen seit vorindustriellen Zeiten.
[27] Die Untersuchungen unterscheiden sich hinsichtlich des Zeitpunkts, zu dem die Stabilisierung erreicht wird; im Allgemeinen geschieht dies um das Jahr 2100 oder später.
[28] Informationen über die mittlere globale Temperatur sind dem AR4 WG I-Bericht, Kapitel 10.8 entnommen. Diese Temperaturen werden deutlich später erreicht, als die Konzentrationen stabilisiert werden.
[29] Die Gleichgewichtsklimasensitivität ist ein Maß für die Reaktion des Klimasystems auf anhaltenden Strahlungsantrieb. Sie stellt keine Projektion dar, sondern ist als die globale mittlere Oberflächenerwärmung definiert, die auf eine Verdopplung der Kohlendioxidkonzentrationen hin folgt [Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des AR4 WG I-Berichts].

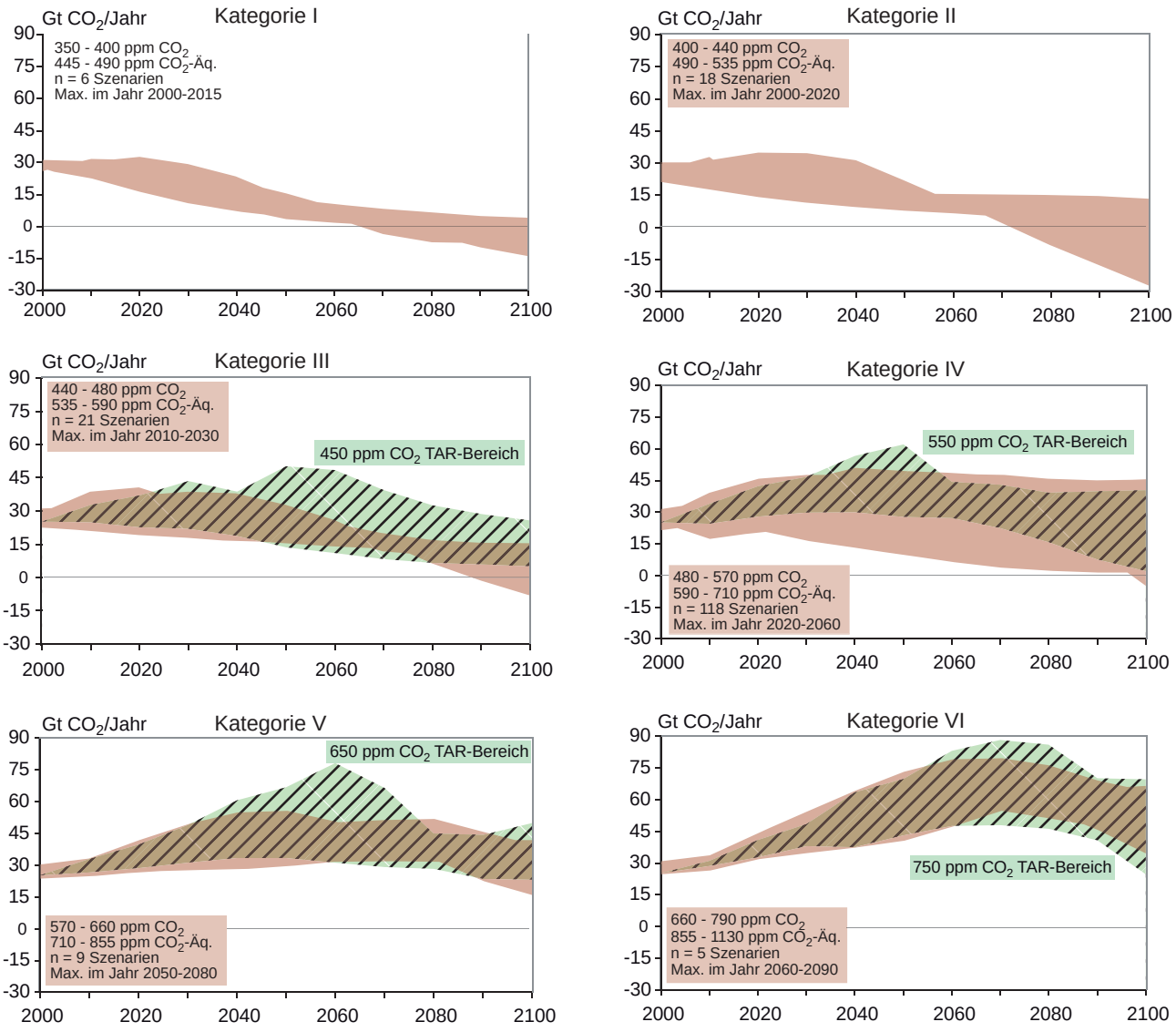


Abbildung SPM.7: *Emissionsverläufe von Emissionsminderungsszenarien für unterschiedliche Kategorien von Stabilisierungszielen (Kategorie I bis VI wie im Kasten in jeder Tafel definiert). Die Verläufe beziehen sich auf Nur-CO_2-Emissionen. Rosa getönte (dunkle) Bereiche zeigen die CO_2-Emissionen für die Emissionsminderungsszenarien, die nach dem TAR entwickelt wurden. Grün getönte (helle) Bereiche geben die Bandbreite von über 80 TAR-Stabilisierungsszenarien an. Die Emissionen im Bezugsjahr können sich zwischen den Modellen aufgrund von Unterschieden in der Abdeckung von Sektoren und Industrien unterscheiden. Um die niedrigeren Stabilisierungsniveaus zu erreichen, setzen einige Szenarien eine Entfernung von CO_2 aus der Atmosphäre (negative Emissionen) unter der Verwendung von Technologien wie z. B. der Energieerzeugung aus Biomasse mit Nutzung von Kohlendioxidabtrennung und –speicherung ein. [Abbildung 3.17]*

19. Die Bandbreite der bewerteten Stabilisierungsniveaus kann durch die Anwendung eines Portfolios an heute verfügbaren Technologien und solchen, die wahrscheinlich in den nächsten Jahrzehnten auf den Markt kommen, erreicht werden. Dies setzt voraus, dass es angemessene und wirkungsvolle Anreize für die Entwicklung, die Beschaffung, den Einsatz und die Verbreitung von Technologien und für das Angehen entsprechender Hemmnisse gibt *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Der Beitrag verschiedener Technologien zu den für eine Stabilisierung notwendigen Emissionsminderungen wird zeitlich und je nach Region und Stabilisierungsniveau variieren.
  - ◊ In vielen Szenarien spielt Energieeffizienz für die meisten Regionen und Zeiträume eine Schlüsselrolle.

◊ Für niedrigere Stabilisierungsniveaus legen die Szenarien mehr Gewicht auf die Nutzung von kohlendioxidarmen Energiequellen, wie z.B. erneuerbaren Energien und Kernkraft, und die Nutzung von Kohlendioxidabtrennung und –speicherung (CCS). In diesen Szenarien müssen Verringerungen der Kohlendioxidintensität der Energieversorgung und der gesamten Wirtschaft viel schneller sein als in der Vergangenheit.

◊ Die Einbeziehung von Nicht-CO_2-Gas- sowie CO_2-Minderungsmöglichkeiten in der Landnutzung und der Forstwirtschaft bietet eine größere Flexibilität und Kosteneffektivität bei der Erreichung einer Stabilisierung. Moderne Bioenergie könnte beträchtlich zu dem Anteil erneuerbarer Energien im Emissionsminderungsportfolio beitragen.

◊ Anschauungsbeispiele von Portfolios an Emissionsminderungsmöglichkeiten sind in Abbildung SPM.9 dargestellt [3.3, 3.4].

- Investitionen in und die weltweite Anwendung von Technologien mit geringen THG-Emissionen sowie Technologieverbesserungen durch öffentliche und private Forschung, Entwicklung und Demonstration (FE&D) wären nötig, um Stabilisierungsziele sowie eine Kostenreduktion zu erreichen. Je niedriger die Stabilisierungsniveaus, insbesondere diejenigen von 550 ppmv CO_2-Äq. oder niedriger, desto größer der Bedarf an effizienteren FE&D-Anstrengungen und an Investitionen in neue Technologien in den kommenden Jahrzehnten. Dies setzt voraus, dass Hemmnissen bei der Entwicklung, der Anschaffung, dem Einsatz und der Verbreitung von Technologien wirkungsvoll begegnet wird.
- Angemessene Anreize könnten diese Hemmnisse überwinden und helfen, die Ziele mit einem breiten Portfolio an Technologien zu erreichen [2.7, 3.3, 3.4, 3.6, 4.3, 4.4, 4.6].

20. Im Jahr 2050[30] liegen die makroökonomischen Kosten für eine Multi-Gas-Stabilisierung bei 710 bis 445 ppm CO_2-Äq. im weltweiten Durchschnitt zwischen einem Zuwachs von 1% und einer Reduzierung von 5,5% des globalen BIP (siehe Tabelle SPM.6). Für bestimmte Länder und Sektoren weichen die Kosten beträchtlich vom weltweiten Mittel ab. (Siehe Kasten SPM.3 hinsichtlich der Methodik und Annahmen und Absatz 5 hinsichtlich einer Erläuterung von negativen Kosten) *(hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage).*

21. Die Entscheidung über das angemessene Ausmaß an weltweiter Emissionsminderung über die Zeit erfordert einen iterativen Risikomanagementprozess, der Emissionsminderung und Anpassung mit einbezieht und die tatsächlichen und vermiedenen Schäden durch Klimawandel, positive Nebeneffekte, Nachhaltigkeit, Gerechtigkeit und Einstellungen gegenüber Risiken berücksichtigt. Entscheidungen über das Ausmaß und den Zeitpunkt von THG-Minderung bedingen eine Abwägung der wirtschaftlichen Kosten schnellerer Emissionsminderungen heute gegenüber den entsprechenden mittel- und langfristigen Klimarisiken aufgrund der Verzögerung *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

Tabelle SPM.6: *Geschätzte weltweite makroökonomische Kosten im Jahr 2050 im Vergleich zum Referenzszenario für Trajektorien mit Kostenminimierung in Richtung unterschiedlicher langfristiger Stabilisierungsziele[a] [3.3, 13.3]*

Stabilisierungsniveaus (ppm CO_2-Äq.)	Median der BIP-Reduzierung[b] (%)	Bandbreite der BIP-Reduzierung[b, c] (%)	Reduzierung der durchschnittlichen jährlichen BIP-Zuwachsraten (Prozentpunkte)[b, d]
590–710	0.5	-1 – 2	<0.05
535–590	1.3	Leicht negativ – 4	<0.1
445–535[e]	Nicht verfügbar	<5.5	<0.12

a) Dies entspricht der gesamten Literatur quer durch alle Referenz- und Emissionsminderungsszenarien, die BIP-Beträge angeben.

b) Dies ist weltweites BIP basierend auf Marktwechselkursen.

c) Der Median und der Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil der untersuchten Daten sind angegeben.

d) Die Berechnung der Reduzierung der jährlichen Zuwachsraten basiert auf der durchschnittlichen Reduzierung während der Zeit bis 2050, der zu der angegebenen BIP-Reduzierung im Jahr 2050 führen würde.

e) Die Anzahl der Untersuchungen ist relativ klein und sie nutzen im Allgemeinen niedrige Referenzszenarien. Hohe Referenzemissionen führen im Allgemeinen zu höheren Kosten.

[30] Kostenabschätzungen für 2030 sind in Abschnitt 5 beschrieben.

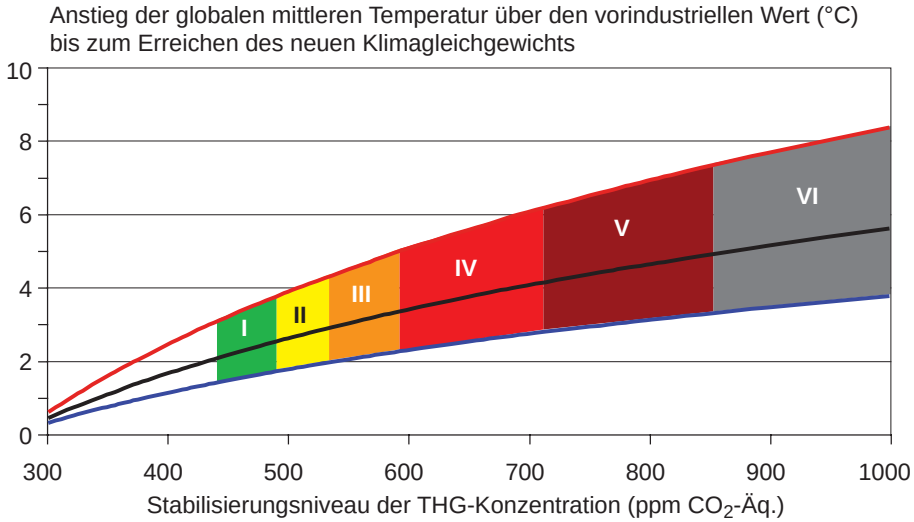


Abbildung SPM.8: *Kategorien von Stabilisierungsszenarien wie in Abbildung SPM.7 angegeben (farbige Streifen) und ihre Beziehung zur Änderung der mittleren globalen Temperatur bis zum Erreichen des neuen Klimagleichgewichts über den vorindustriellen Wert unter der Verwendung von (i) „der bestmöglichen Abschätzung" der Klimasensitivität von 3°C (schwarze Linie in der Mitte des gefärbten Bereichs), (ii) der oberen Grenze des Wahrscheinlichkeitsbereichs der Klimasensitivität von 4,5°C (rote Linie am oberen Rand des gefärbten Bereichs) und (iii) der unteren Grenze des Wahrscheinlichkeitsbereichs der Klimasensitivität von 2°C (blaue Linie am unteren Rand des gefärbten Bereichs). Die Färbung gibt die Konzentrationsbereiche für eine Stabilisierung von Treibhausgasen in der Atmosphäre entsprechend der Kategorien von Stabilisierungsszenarien I bis VI wie in Abbildung SPM.7 an. Die Daten entstammen dem AR4 WG I-Bericht, Kapitel 10.8.*

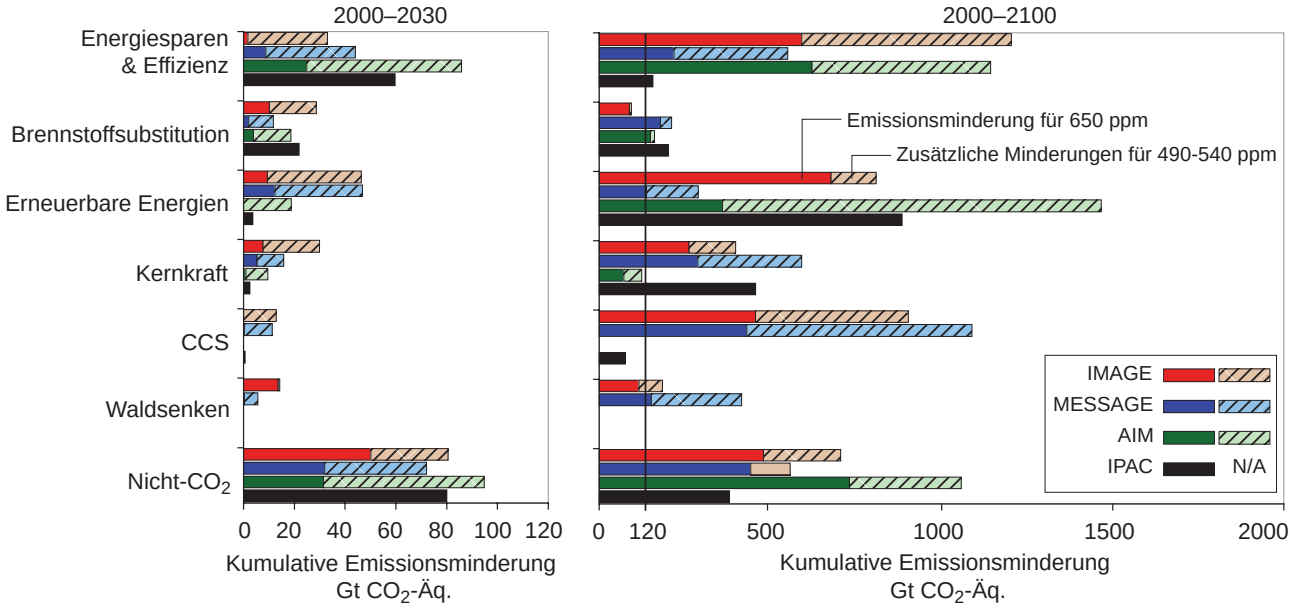


Abbildung SPM 9: *Kumulative Emissionsminderungen für unterschiedliche Emissionsminderungsmaßnahmen für 2000 bis 2030 (linke Grafik) und für 2000 bis 2100 (rechte Grafik). Die Abbildung zeigt beispielhafte Szenarien aus vier Modellen (AIM, IMAGE, I-PAC und MESSAGE), die jeweils auf eine Stabilisierung bei 490–540 ppmv CO_2-Äq. bzw. bei 650 ppmv CO_2-Äq. abzielen. Dunkle Balken geben die Minderungen für das Ziel von 650 ppmv CO_2-Äq. an, helle Balken weisen auf die zusätzlichen Reduktionen hin, die notwendig sind, um 490–540 ppmv CO_2-Äq. zu erreichen. Es ist zu beachten, dass einige Modelle Emissionsminderungen durch die Erweiterung von Waldsenken (AIM und IPAC) oder CCS (AIM) nicht mit einbeziehen, und dass der Anteil an kohlendioxidarmen Energieoptionen an der gesamten Energieversorgung auch durch die Einbeziehung dieser Optionen im Referenzszenario bestimmt wird. CCS schließt Kohlendioxidabtrennung und –speicherung aus Biomasse mit ein. Waldsenken schließen die Minderung von Emissionen aus Entwaldung mit ein. [Abbildung 3.23]*

- Erste und begrenzte analytische Ergebnisse aus der integrierten Analyse von Kosten und Nutzen aus Emissionsminderungen weisen darauf hin, dass deren Größenordnungen größtenteils vergleichbar sind, sie erlauben aber noch keine eindeutige Bestimmung eines Emissionspfads oder Stabilisierungsniveaus, bei dem der Nutzen die Kosten überwiegt [3.5].
- Eine ganzheitliche Bewertung der wirtschaftlichen Kosten und Nutzen verschiedener Emissionsminderungspfade zeigt, dass der wirtschaftlich optimale Zeitpunkt und das optimale Ausmaß an Emissionsminderung von der unsicheren Form und dem Charakter der angenommenen Schadenskostenkurve der Klimaänderung abhängt. Zur Verdeutlichung dieser Abhängigkeit:
  - ◊ Wenn die Schadenskostenkurve der Klimaänderung langsam und gleichmäßig ansteigt und die Entwicklung gut vorhersehbar ist (wodurch sich das Potenzial zur rechtzeitigen Anpassung erhöht), ist eine spätere und weniger strikte Emissionsminderung wirtschaftlich gerechtfertigt;
  - ◊ Anderenfalls, wenn die Schadenskostenkurve der Klimaänderung steil ansteigt oder Nichtlinearitäten aufweist (z.B. Grenzen der Verwundbarkeit oder auch nur geringe Wahrscheinlichkeiten für katastrophale Ereignisse), ist eine frühere und stringentere Emissionsminderung wirtschaftlich gerechtfertigt [3.6].
- Die Klimasensitivität stellt eine entscheidende Unsicherheit für Emissionsminderungsszenarien dar, die auf die Erreichung eines bestimmten Temperaturniveaus abzielen. Untersuchungen zeigen, dass bei hoher Klimasensitivität der Zeitpunkt früher eintritt und das Ausmaß der Emissionsminderung höher ausfällt als bei niedriger Klimasensitivität [3.5, 3.6].
- Verzögerte Emissionsminderungen führen zu Investitionen, die emissionsintensivere Infrastrukturen und Entwicklungspfade festschreiben („Lock-In-Effekt"). Dies schränkt die Möglichkeiten, niedrigere Emissionsniveaus zu erreichen, signifikant ein (wie in Tabelle SPM.5 gezeigt) und erhöht das Risiko für schwerwiegendere Auswirkungen der Klimaänderung [3.4, 3.1, 3.5, 3.6].

E. Politiken, Maßnahmen und Instrumente für den Klimaschutz

22. Den Regierungen steht eine große Anzahl nationaler Politiken und Instrumente zur Verfügung, um Anreize für Emissionsminderungsmaßnahmen zu schaffen. Ihre Anwendbarkeit hängt von den nationalen Gegebenheiten und dem Verständnis ihrer Wechselwirkungen ab. Die Erfahrung aus der Umsetzung in vielen Ländern und Sektoren zeigt aber, dass es bei jedem Instrument Vor- und Nachteile gibt *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Es werden vier Hauptkriterien für die Bewertung von Politiken und Instrumenten angewandt: Umweltwirksamkeit, Kosteneffizienz, Verteilungseffekte einschließlich Gerechtigkeit und institutionelle Machbarkeit [13.2].
- Alle Instrumente können gut oder schlecht ausgestaltet und streng oder locker sein. Hinzu kommt, dass die Erfolgskontrolle zur Verbesserung der Umsetzung ein wichtiger Aspekt bei allen Instrumenten ist. Allgemeine Erkenntnisse über die Effizienz von Maßnahmen sind: [7.9, 12.2, 13.2]
  - ◊ Die Einbeziehung von Klimapolitik in eine breitere Entwicklungspolitik erleichtert die Umsetzung und die Überwindung von Hemmnissen.
  - ◊ Regulierungen und Standards bieten im Allgemeinen eine gewisse Sicherheit bezüglich Emissionsniveaus. Sie können anderen Instrumenten vorzuziehen sein, wenn Informationsbarrieren oder andere Hemmnisse Produzenten und Verbraucher daran hindern, auf Preissignale zu reagieren. Es kann jedoch sein, dass sie nicht zu Innovationen und einer Weiterentwicklung von Technologien führen.
  - ◊ Steuern und Gebühren können einen Kohlendioxidpreis festlegen, aber kein bestimmtes Emissionsniveau garantieren. In der Literatur werden Steuern als eine effiziente Art der Internalisierung der Kosten von THG-Emissionen ausgewiesen.
  - ◊ Durch handelbare Zertifikate wird ein Kohlendioxidpreis festgesetzt werden. Die Menge

der zugestandenen Emissionen bestimmt ihre Umweltwirksamkeit, während die Zuteilung der Zertifikate (wirtschaftliche) Verteilungseffekte hat. Schwankungen des Kohlendioxidpreises erschweren eine Einschätzung der Gesamtkosten für die Einhaltung der Emissionsobergrenze.

◊ Finanzielle Anreize (Subventionen und Steuergutschriften) werden von Regierungen häufig geschaffen, um die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien zu fördern. Während ihre wirtschaftlichen Kosten allgemein höher sind als die für die obigen Maßnahmen, sind diese Anreize oft entscheidend bei der Überwindung von Hemmnissen.

◊ Freiwillige Vereinbarungen zwischen Industrie und Regierungen sind politisch attraktiv, erzeugen Aufmerksamkeit bei den Interessengruppen und haben in der Entwicklung vieler nationaler Maßnahmen eine Rolle gespielt. Der Großteil dieser Vereinbarungen hat keine signifikanten Emissionsrückgänge über business as usual hinaus bewirkt. Jedoch haben einige neuere Vereinbarungen in einigen wenigen Ländern die Anwendung der besten verfügbaren Technologie beschleunigt und zu messbaren Emissionsrückgängen geführt.

◊ Informationsmaßnahmen (z.B. Kampagnen zur Bewusstseinsbildung) können die Umweltqualität positiv beeinflussen, indem sie informierte Entscheidungen fördern und möglicherweise zu Verhaltensänderungen führen. Ihr Einfluss auf die Emissionen ist jedoch noch nicht bestimmt worden.

◊ Forschung, Entwicklung und Demonstration können technologische Fortschritte ankurbeln, Kosten reduzieren und Fortschritte in Richtung Stabilisierung ermöglichen.

- Einige Unternehmen, lokale und regionale Behörden, Nicht-Regierungs-Organisationen und zivile Gruppierungen rufen eine Vielzahl an freiwilligen Aktionen ins Leben. Diese freiwilligen Aktionen könnten THG-Emissionen begrenzen, innovative Politiken stimulieren und die Anwendung von neuen Technologien fördern. Für sich allein genommen haben sie im Allgemeinen begrenzten Einfluss auf Emissionen auf nationaler oder regionaler Ebene [13.4].
- Gewonnene Erkenntnisse aus spezifischen sektoralen Anwendungen nationaler Politiken und Instrumente sind in Tabelle SPM.7 aufgeführt.

23. Politiken, die einen realen oder impliziten Kohlendioxidpreis einführen, könnten Anreize für Hersteller und Verbraucher schaffen, in hohem Maße in kohlendioxid-arme Produkte, Technologien und Prozesse zu investieren. Solche Politiken können wirtschaftliche Instrumente, öffentliche Finanzierung und Regulierungen umfassen *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Ein wirksames Kohlendioxid-Preissignal könnte signifikantes Emissionsminderungspotenzial in allen Sektoren realisieren [11.3, 13.2].
- Modellstudien (siehe Kasten SPM.3) zeigen, dass Kohlendioxidpreise, die bis zum Jahr 2030 auf 20 bis 80 US-$/t CO_2-Äq. und bis zum Jahr 2050 auf 30 bis 155 US-$/t CO_2-Äq. ansteigen, mit einer Stabilisierung bei etwa 550 ppm CO_2-Äq. bis zum Jahr 2100 im Einklang stehen. Für das gleiche Stabilisierungsniveau sinken in nach dem TAR durchgeführten Untersuchungen, die den induzierten Technologiewandel berücksichtigen, diese Preisspannen auf 5 bis 65 US-$/t CO_2-Äq. im Jahr 2030 bzw. 15 bis 130 US-$/t CO_2-Äq. im Jahr 2050 [3.3, 11.4, 11.5].
- Die meisten top-down- und einige bottom-up-Untersuchungen für 2050 weisen darauf hin, dass reale oder implizite Kohlendioxidpreise von 20 bis 50 US-$/t CO_2-Äq., wenn sie über Jahrzehnte hinweg beibehalten oder angehoben werden, im Sektor Energieerzeugung bis 2050 niedrige THG-Emissionen bewirken und viele Optionen zur Emissionsminderung in den Endverbrauchersektoren wirtschaftlich attraktiv machen könnten.
- Es gibt vielfältige Hemmnisse für die Umsetzung von Möglichkeiten zur Emissionsminderung, die sich je nach Region und Sektor unterscheiden. Sie können mit finanziellen, technologischen, institutionellen, informations- und verhaltensbezogenen Aspekten zusammenhängen [4.5, 5.5, 6.7, 7.6, 8.6, 9.6, 10.5].

Tabelle SPM.7: *Ausgewählte sektorale Politiken, Maßnahmen und Instrumente, die sich im jeweiligen Sektor in mindestens einigen nationalen Fällen als umweltwirksam erwiesen haben.*

Sektor	Politiken,[a] Maßnahmen und Instrumente, die sich als umweltwirksam erwiesen haben	Wesentliche Einschränkungen oder Möglichkeiten
Energie versorgung [4.5]	Verringerung von Subventionen für fossile Brennstoffe Steuern oder Kohlendioxidabgaben auf fossile Brennstoffe	Widerstand durch Interessensgruppen aufgrund bestehender Rechte könnte die Umsetzung erschweren.
	Einspeisevergütungen für Erneuerbare-Energien-Technologien Quoten für erneuerbaren Energien Subventionen für Produzenten	Können angemessen sein, um Märkte für Niedrigemissionstechnologien zu schaffen
Verkehr [5.5]	Verpflichtende Standards für Treibstoffverbrauch, Biotreibstoffbeimischung und CO_2-Standards für den Straßenverkehr	Unvollständige Erfassung der Fahrzeugflotte kann die Effektivität begrenzen
	Steuern auf Fahrzeugkauf, Zulassung, Nutzung und Treibstoffe, Straßen- und Parkgebühren	Effektivität kann mit höheren Einkommen sinken
	Mobilitätsbedürfnisse durch Flächennutzungsregelungen und Infrastrukturplanung beeinflussen Investitionen in attraktive öffentliche Verkehrssysteme und nicht-motorisierte Verkehrsformen	Besonders geeignet für Länder, die gerade ihre Verkehrssysteme aufbauen
Gebäude [6.8]	Gerätestandards und Kennzeichnung	Regelmäßige Überarbeitung der Standards nötig
	Gebäudestandards und Zertifizierung	Attraktiv für neue Gebäude. Durchsetzung kann schwierig sein.
	Programme zur Nachfragesteuerung (demand-side management)	Regulierung notwendig, so dass Versorgungsunternehmen profitieren können.
	Vorbildfunktion der öffentlichen Hand, einschl. der Beschaffung (Eco-Procurement)	Regierungseinkäufe können die Nachfrage nach energieeffizienten Produkten steigern.
	Anreize für Energiedienstleistungsunternehmen (ESCOs)	Erfolgskriterium: Zugang zu Drittmitteln
Industrie [7.9]	Bereitstellung von Informationen für einen Leistungsvergleich (benchmark information) Leistungsstandards Subventionen, Steuervergünstigungen	Können angebracht sein, um die Etablierung der Technologien anzuregen. Beständigkeit der nationalen Politik ist wichtig im Hinblick auf internationale Wettbewerbsfähigkeit.
	Handelbare Zertifikate	Vorhersehbare Zuteilungsmechanismen und stabile Preissignale sind wichtig für Investitionen.
	Freiwillige Vereinbarungen	Erfolgskriterien sind unter anderem: klare Ziele, ein Referenzszenario, Einbeziehung Dritter in Entwurf und Begutachtung und formelle Überwachungsmaßnahmen, enge Zusammenarbeit zwischen Regierung und Industrie.
Landwirtschaft [8.6, 8.7, 8.8]	Finanzielle Anreize und Regelungen für verbesserte Bodenbewirtschaftung, für die Erhaltung des Bodenkohlenstoffgehalts, für Effizienz in Düngernutzung und Bewässerung	Kann Synergie mit nachhaltiger Entwicklung und mit Verringerung der Verwundbarkeit gegenüber der Klimaänderung fördern und dadurch Hemmnisse gegen die Umsetzung überwinden.
Forstwirtschaft [9.6]	Finanzielle Anreize (national und international) für eine Vergrößerung der Waldfläche, eine Verringerung der Entwaldung und die Erhaltung und Bewirtschaftung von Wäldern	Einschränkungen sind unter anderem der Mangel an Investitionskapital und Grundeigentumsfragen. Kann die Armutsbekämpfung unterstützen.
	Landnutzungsregelungen und deren Durchsetzung	
Abfallwirtschaft [10.5]	Finanzielle Anreize für verbesserte Abfall- und Abwasserwirtschaft	Können die Verbreitung von Technologien anregen.
	Anreize oder Verpflichtungen zur Nutzung erneuerbaren Energien	Lokale Verfügbarkeit von Brennstoff zu niedrigen Preisen
	Abfallwirtschaftsvorschriften	Am wirkungsvollsten auf nationaler Ebene mit Durchsetzungsstrategien umgesetzt

Anmerkung:
a) Öffentliche FE&D-Investitionen in Niedrigemissionstechnologien haben sich in allen Sektoren als effektiv erwiesen.

24. Eine Unterstützung seitens der Regierung mittels finanzieller Beiträge, Steuergutschriften, Setzung von Standards und Schaffung von Märkten ist wichtig für eine effektive Technologieentwicklung, Innovation und Einsatz der Technologie. Technologietransfer in Entwicklungsländer hängt von unterstützenden Rahmenbedingungen und der Finanzierung ab *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Der öffentliche Nutzen von Investitionen in Forschung, Entwicklung und Demonstration (FE&D) ist größer als der Nutzen für den privaten Sektor, was eine Unterstützung von FE&D durch die Regierung rechtfertigt.
- Die Finanzierung seitens der Regierungen war für die meisten Energieforschungsprogramme für beinahe zwei Jahrzehnte in absoluten Zahlen gleichbleibend oder abnehmend (sogar nach Inkrafttreten der UN-Klimarahmenkonvention UNFCCC) und beträgt nun etwa die Hälfte dessen, was 1980 zur Verfügung gestellt wurde [2.7, 3.4, 4.5, 11.5, 13.2].
- Regierungen spielen eine entscheidende unterstützende Rolle bei der Bereitstellung angemessener, förderlicher Rahmenbedingungen, wie z.B. institutionellen, politischen, gesetzlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen,[31] um Investitionsflüsse aufrechtzuerhalten und für einen wirkungsvollen Technologietransfer – ohne den es schwierig sein könnte, Emissionsminderungen in signifikantem Ausmaß zu erreichen. Es ist wichtig, eine Finanzierung für die Zusatzkosten von kohlendioxidarmen Technologien zu mobilisieren. Internationale Technologieabkommen könnten die Infrastruktur für die notwendige Wissensverbreitung stärken [13.3].
- Die mögliche vorteilhafte Wirkung des Technologietransfers in Entwicklungsländer durch Aktionen in Annex I-Ländern kann beträchtlich sein, allerdings sind keine verlässlichen Abschätzungen verfügbar [11.7].
- Durch CDM-Projekte initiierte Finanzflüsse an Entwicklungsländer haben das Potenzial, eine Größenordnung von mehreren Milliarden US-$ pro Jahr[32] zu erreichen. Das ist mehr, als durch die Global Environment Facility (GEF) fließt, vergleichbar mit den auf die Energieversorgung ausgerichteten Entwicklungshilfeflüssen, aber mindestens eine Größenordnung niedriger als die gesamten Flüsse an ausländischen Direktinvestitionen (FDI). Die Finanzflüsse durch CDM, GEF und Entwicklungshilfe für den Technologietransfer sind bisher begrenzt und geographisch ungleich verteilt gewesen [12.3, 13.3].

25. Bemerkenswerte Errungenschaften der UNO-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) und ihres Kyoto-Protokolls sind die Schaffung einer weltweiten Reaktion auf das Klimaproblem, die Anregung einer großen Anzahl nationaler Politiken, die Schaffung eines weltweiten Kohlendioxidmarkts und die Einrichtung neuer institutioneller Mechanismen, die die Grundlage für zukünftige Anstrengungen zur Emissionsminderung sein können *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Die Auswirkung des ersten Verpflichtungszeitraums des Protokolls ist laut Projektionen im Vergleich zu den weltweiten Emissionen begrenzt. Seine wirtschaftlichen Auswirkungen auf die teilnehmenden Annex B-Länder sind laut Projektionen geringer als im TAR dargestellt, der ein 0,2–2% geringeres BIP im Jahr 2012 ohne Emissionshandel und ein 0,1–1,1% niedrigeres BIP mit Emissionshandel zwischen Annex B-Ländern zeigte [1.4, 11.4, 13.3].

26. In der Literatur werden viele Möglichkeiten für die Erreichung von Minderungen der weltweiten THG-Emissionen durch Zusammenarbeit auf internationaler Ebene angeführt. Sie lässt auch darauf schließen, dass erfolgreiche Abkommen umweltwirksam und kosteneffektiv sind, Verteilungsaspekte und Gerechtigkeit mit einbeziehen und institutionell machbar sind *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Umfangreichere kooperative Anstrengungen zur Emissionsminderung werden helfen, die weltweiten Kosten für die Erreichung eines bestimmten Minderungsziels zu senken, oder sie werden die Umweltwirksamkeit verbessern [13.3].
- Eine Verbesserung – und Ausweitung – des Anwendungsbereichs von marktwirtschaftlichen Mechanismen (wie z.B. Emissionshandel, Joint Implementation und CDM) könnte die Gesamtkosten für Emissionsminderung senken [13.3].

[31] Siehe IPCC-Sonderbericht zu methodologischen und technologischen Fragen zum Technologietransfer.

[32] Hängt stark vom Marktpreis ab, der zwischen 4 und 26 US-$/t$CO_2$-Äq. geschwankt hat, und basiert auf etwa 1000 vorgeschlagenen und registrierten CDM-Projekten, die wahrscheinlich über 1,3 Milliarden Emissionsminderungseinheiten noch vor 2012 erzeugen.

- Anstrengungen, die Klimaänderung anzugehen, können vielfältige Elemente mit einschließen, wie z.B. Emissionsziele; sektorale, lokale, subnationale und regionale Aktivitäten; FE&D-Programme; die Verabschiedung gemeinsamer Politiken; die Umsetzung von Entwicklungsmaßnahmen oder die Ausweitung finanzieller Instrumente. Diese Elemente können auf ganzheitliche Art und Weise umgesetzt werden, aber Anstrengungen unterschiedlicher Länder quantitativ zu vergleichen wäre komplex und ressourcenintensiv [13.3].
- Maßnahmen teilnehmender Länder können sowohl hinsichtlich des Zeitpunkts, wann eine solche Maßnahme ergriffen wird, unterschieden werden als auch danach, wer daran teilnimmt und welcher Art die Handlung sein wird. Handlungen können verpflichtend oder freiwillig sein, feste oder dynamische Ziele einschließen, und die Teilnahme kann gleich bleibend sein oder sich mit der Zeit ändern [13.3].

F. Nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz

27. Entwicklung durch Veränderung von Entwicklungspfaden nachhaltiger zu gestalten kann einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz leisten, aber die Umsetzung kann Ressourcen für die Überwindung zahlreicher Hemmnisse benötigen. Es gibt ein wachsendes Verständnis über die Möglichkeiten, Emissionsminderungsoptionen in mehreren Sektoren so auszuwählen und umzusetzen, dass Synergien gefördert und Konflikte mit anderen Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung vermieden werden *(hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).*

- Unabhängig vom Ausmaß der Emissionsminderungsmaßnahmen sind Anpassungsmaßnahmen notwendig [1.2].
- Das Angehen der Klimaänderung kann als ein integraler Bestandteil von Politiken zur nachhaltigen Entwicklung angesehen werden. Nationale Rahmenbedingungen und die Stärke von Institutionen bestimmen, inwieweit Entwicklungspolitiken sich auf THG-Emissionen auswirken. Änderungen in Entwicklungspfaden entstehen aus Wechselwirkungen zwischen öffentlichen und privaten Entscheidungsprozessen, die Regierung, Wirtschaft und Gesellschaft mit einbeziehen, von denen viele herkömmlich nicht als „Klimapolitik“ betrachtet werden. Dieser Prozess ist am wirkungsvollsten, wenn die Akteure gleichberechtigt teilnehmen und dezentralisierte Entscheidungsprozesse koordiniert werden [2.2, 3.3, 12.2].
- Klimapolitik und andere Politiken für eine nachhaltige Entwicklung sind oft, aber nicht immer synergetisch. Es gibt zunehmend Hinweise darauf, dass Entscheidungen über z.B. makroökonomische Vorgehensweisen, Landwirtschaftspolitik, multilaterale Entwicklungsbankkredite, Versicherungspraktiken, Strommarktreformen, Energiesicherheit und Schutz der Wälder, die oft gesondert von der Klimapolitik behandelt werden, Emissionen signifikant reduzieren können. Andererseits ist es möglich, dass Entscheidungen über z.B. einen verbesserten ländlichen Zugang zu modernen Energiequellen keinen großen Einfluss auf die weltweiten THG-Emissionen haben [12.2.].
- Auf Energieeffizienz und erneuerbare Energien bezogene Klimapolitik lohnt sich oft wirtschaftlich, verbessert die Energiesicherheit und verringert lokale Schadstoffemissionen. Andere Optionen zur Emissionsminderung in der Energieversorgung können so entworfen werden, dass sie auch Nutzen für eine nachhaltige Entwicklung bringen, wie z.B. die Vermeidung der Vertreibung lokaler Bevölkerungen, die Schaffung von Arbeitsplätzen und gesundheitliche Vorteile [4.5, 12.3].
- Eine Verringerung sowohl der Verluste natürlicher Lebensräume als auch der Entwaldung kann signifikante Vorteile für die Bewahrung von biologischer Vielfalt, Boden- und Wasserschutz haben, und kann auf eine sozial und wirtschaftlich nachhaltige Art und Weise umgesetzt werden. Aufforstung und Plantagen für Bioenergie können zur Sanierung von degradiertem Land führen, den Wasserablauf regulieren, Bodenkohlenstoff fixieren und Vorteile für ländliche Ökonomien erbringen, andererseits könnte dies mit Flächen für die Nahrungsmittelproduktion konkurrieren und negativ für die biologische Vielfalt sein, falls nicht angemessen geplant [9.7, 12.3].
- Es bestehen ebenfalls gute Möglichkeiten für eine Verstärkung nachhaltiger Entwicklung durch Emissionsminderungsmaßnahmen in den Sektoren Abfallwirtschaft, Verkehr und Gebäude [5.4, 6.6, 10.5, 12.3].
- Die Entwicklung nachhaltiger zu gestalten kann die Fähigkeit sowohl zur Emissionsminderung als auch zur Anpassung verstärken sowie Emissionen

senken und die Anfälligkeit gegenüber der Klimaänderung verringern. Es kann Synergien zwischen Emissionsminderung und Anpassung geben, wie z.B. sachgemäß gestaltete Biomasseproduktion, die Bildung von Schutzgebieten, Landmanagement, Energieverbrauch in Gebäuden und Forstwirtschaft. In anderen Fällen könnten gegenläufige Effekte auftreten, wie z.B. erhöhte THG-Emissionen aufgrund eines erhöhten Energieverbrauchs in Zusammenhang mit Anpassungsmaßnahmen [2.5, 3.5, 4.5, 6.9, 7.8, 8.5, 9.5, 11.9, 12.1].

G. Wissenslücken

28. Es gibt immer noch erhebliche Lücken im zurzeit verfügbaren Wissen über einige Aspekte des Klimaschutzes, insbesondere in Entwicklungsländern. Zusätzliche Forschung, die sich mit diesen Lücken befasst, würde Unsicherheiten weiter verringern und so Entscheidungsfindungen bezüglich des Klimaschutzes erleichtern [TS.14].

Tabellenanhang 1: Darstellung von Unsicherheiten

Unsicherheit ist ein inhärentes Merkmal einer jeden Bewertung. Der Vierte Sachstandsbericht erläutert die mit den wesentlichen Aussagen verbundenen Unsicherheiten.

Grundlegende Unterschiede zwischen den den drei Berichten zugrunde liegenden Wissenschaftsdisziplinen machen einen gemeinsamen Ansatz unmöglich. Der „Wahrscheinlichkeits"-Ansatz, der in „Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen" angewandt wurde, und die „Konfidenz-" und „Wahrscheinlichkeits"-Ansätze, die in „Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten" verwendet wurden, wurden als unzureichend für die Behandlung der spezifischen Unsicherheiten in diesem Emissionsminderungsbericht erachtet, weil es hier um menschliche Entscheidungen geht.

In diesem Bericht wird eine zweidimensionale Skala verwendet, um Unsicherheiten darzustellen. Die Skala beruht auf der fachkundigen Beurteilung durch die WG III-Autoren hinsichtlich der Übereinstimmung in der Literatur zu einer bestimmten Aussage (Ausmaß an Übereinstimmung) und der Menge und Qualität an unabhängigen, den IPCC-Regeln entsprechenden Quellen, auf denen die Ergebnisse beruhen (Beweislage) (siehe Tabelle SPM.E.1). Dies ist kein quantitativer Ansatz, aus dem Wahrscheinlichkeiten bezüglich der Unsicherheiten abgeleitet werden können.
Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich besserer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

Tabelle SPM E.1: Qualitative Definition von Unsicherheit

Ausmaß an Übereinstimmung (zu einer einzelnen Aussage)

Hohe Übereinstimmung, schwache Beweislage	Hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage	Hohe Übereinstimmung, starke Beweislage
Mittlere Übereinstimmung, schwache Beweislage	Mittlere Übereinstimmung, mittlere Beweislage	Mittlere Übereinstimmung, starke Beweislage
Niedrige Übereinstimmung, schwache Beweislage	Niedrige Übereinstimmung, mittlere Beweislage	Niedrige Übereinstimmung, starke Beweislage

Beweislage[33] (Anzahl und Qualität unabhängiger Quellen)

Weil die Zukunft von Natur aus unvorhersagbar ist, wurden in diesem Bericht ausgiebig Szenarien verwendet; d.h. in sich widerspruchsfreie, unterschiedliche Abbildungen der möglichen Zukunft, aber keine Vorhersagen der tatsächlichen Zukunft.

[33] „Beweis" ist in diesem Bericht folgendermaßen definiert: Information darüber oder Anzeichen dafür, ob eine Annahme oder eine Behauptung wahr oder stichhaltig ist. Siehe Glossar.

Autoren und Experten-Gutachter
Glossar
Abkürzungen, Akronyme, Einheiten

Autoren und Experten-Gutachter[1]

Argentinien
CANZIANI, Osvaldo
MAGRIN, Graciela
RUSTICUCCI, Matilde

Australien
ARBLASTER, Julie
BINDOFF, Nathaniel L.
FISHER, Brian
HENNESEY, Kevin
JONES, Roger
LOVE, Geoff
MCLEAN, Roger
NICHOLLS, Neville
WHETTON, Penny

Bangladesch
HUQ, Saleemul
MIRZA, Monirul Qader

Barbados
NURSE, Leonard

Belgien
VAN YPERSELE, Jean-Pascal

Benin
BOKO, Michel

Brasilien
CONFALONIERI, Ulisses
KAHN RIBEIRO, Suzana

Chile
CASASSA, Gino

China
CHEN, Zhenlin
LU, Xianfu
QIN, Dahe
REN, Jiawen
WU, Shaohong
ZHOU, Dadi

Dänemark
CHRISTENSEN, Jens Hesselbjerg
HALSNAES, Kirsten

Deutschland
ALCAMO, Joseph
HEIMANN, Martin
LEMKE, Peter
MENNE, Bettina
ROGNER, Hans Holger
WILLEBRAND, Jürgen

Finnland
CARTER, Timothy

Frankreich
AGRAWALA, Shardul
FRIEDLINGSTEIN, Pierre
JOUZEL, Jean
LE TREUT, Hervé

Indien
AGGARWAL, Pramod
GUPTA, Sujata
LAL, Murari
PATWARDHAN, Anand
ROY, Joyashree
SHUKLA, Priyaradshi

Japan
HARASAWA, Hideo
KOBAYASHI, Shigeki
MATSUNO, Taroh
MIMURA, Nobuo

Kanada
DENMAN, Kenneth L.
MORTSCH, Linda
STONE, John
ZWIERS, Francis

Marokko
ALLALI, Abdelkader

Mexiko
DE ALBA ALCARAZ, Edmundo
GAY GARCIA, Carlos
MASERA CERUTTI, Omar
MORENO, José
RAGA, Graciela
ROMERO LANKAO, Patricia

Neuseeland
FITZHARRIS, Blair
SIMS, Ralph
WRATT, David

Niederlande
BOSCH, Peter
DAVE, Rutu
HEIJ, Bertjan
KLEIN, Richard
METZ, Bert
MEYER, Leo
NABUURS, Gert-Jan
SWART, Rob

Nigeria
NYONG, Anthony

Norwegen
BERNTSEN, Terje
JANSEN, Eystein

Österreich
NAKICENOVIC, Nebojsa

Pakistan
NAJAM, Adil

Philippinen
CRUZ, Rex Victor
LASCO, Rodel

Polen
KUNDZEWICZ, Zbigniew

Rußland
ANISIMOV, Oleg
BASHMAKOV, Igor
KATTSOV, Vladimir
SEMENOV, Serguei

Schweiz
FISCHLIN, Andreas
JOOS, Fortunat
KNUTTI, Reto
LOHMANN, Ulrike
STOCKER, Thomas F.

Senegal
NIANG-DIOP, Isabelle

Sierra Leone
DAVIDSON, Ogunlade

Singapur
WONG, Poh Poh

Slowenien
KAIFEZ BOGOTAJ, Lucka

Südafrika
HEWITSON, Bruce
MIDGLEY, Guy
VOGEL, Coleen

Thailand
CHIDTHAISONG, Amnat

UK (Großbritannien und Nordirland)
ADGER, Neil
ARNELL, Nigel
BERKER, Terry
FORSTER, Piers
GREGORY, Jonathan M.
GRUBB, Michael
HANSEN, Clair
HOSKINS, Brian J.
JONES, Philip D.
NICHOLLS, Robert
PALUTIKOF, Jean
PARRY, Martin
SMITH, Pete
STONE, Daíthí A.
STOTT, Peter A.
VAUGHAN, David
WOOD, Richard A.

Ungarn
NOVÄKY, Béla
URGE-VORSATZ, Diana

[1] Aufgeführt sind die Autoren und Experten-Gutachter der Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Am Gesamtbericht haben bedeutend mehr Autoren und Gutachter mitgearbeitet.

Uruguay
MARTINO, Daniel

USA
ALLEY, Richard B.
BERNSTEIN, Lenny
BOGNER, Jean
BRASSEUR, Guy
EASTERLING, William
FAHEY, David W.
FIELD, Christopher
HEGERL, Gabriele C.
LEVINE, Mark
MANNING, Martin
MEEHL, Gerald A.
MOLINA, Mario
MOTE, Philip
OPPENHEIMER, Michael
OVERPECK, Jonathan
RAMASWAMY, Venkatachalam
RANDALL, David A.
ROSENZWEIG, Cynthia
SATHAYE, Jayant
SCHNEIDER, Stephen
SCHOCK, Robert
SMITH, Joel
SOLOMON, Susan
SOMERVILLE, Richard
STOUFFER, Ronald J.
TIRPAK, Dennis
TRENBERTH, Kevin E.
WILBANKS, Thomas
YOHE, Gary

Venezuela
MATA, Luis J.