

KLIMAÄNDERUNG 2007

SYNTHESEBERICHT



Ein Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)



Klimaänderung 2007

Synthesebericht

Erstellt von

Kernautorenteam
Synthesebericht
IPCC

Rajendra K. Pachauri
Vorsitzender
IPCC

Andy Reisinger
Leiter des Sekretariats zur
technischen Unterstützung (TSU)
Synthesebericht, IPCC

Kernautorenteam

Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe

Sekretariat zur technischen Unterstützung bei der Erstellung des Syntheseberichts:
Andy Reisinger, Richard Nottage, Prima Madan

Deutsche Übersetzung herausgegeben von



Original herausgegeben von

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

Mitfinanziert durch:

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

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

Original

Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen

(Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP):

Climate Change 2007: Synthesis Report

© Intergovernmental Panel on Climate Change, 2008, ISBN 92-9169-122-4

Als UN-Gremium veröffentlicht der IPCC seine Berichte nur in den sechs offiziellen UN-Sprachen. Diese Übersetzung des Syntheseberichts zum IPCC-Bericht „Climate Change 2007“ ist deshalb keine offizielle Übersetzung durch das IPCC. Sie wurde von der deutschen IPCC-Koordinierungsstelle erstellt mit dem Ziel, die im Originaltext verwendete Sprache möglichst angemessen wiederzugeben.

Übersetzung und Layout

Übersetzung: Carola Best unter Mitwirkung von Karin Kartschall, Pauline Midgley, Jochen Stuck, Gregor Laumann, Jens Tambke

Layout: Carola Best

Herausgeber und Vertrieb:

Zusätzliche Kopien der vorliegenden deutschen Fassung sind erhältlich

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

Übersetzungen in allen UNO-Sprachen (Arabisch, Chinesisch, Englisch, Französisch, Russisch, Spanisch) sind ebenfalls erhältlich. Sie können beim IPCC-Sekretariat (7 bis, Avenue de la Paix, CH 1211 Geneva 2) bezogen werden.

Berlin, September 2008

ISBN: 978-3-00-025397-3

Vorwort

Der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) wurde 1988 gemeinsam von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) ins Leben gerufen. Er hat den Auftrag, wissenschaftliche Informationen zum Klimawandel zu bewerten, die Folgen des Klimawandels auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft abzuschätzen und realistische Strategien zur Reaktion darauf zu entwerfen. Seitdem haben die mehrbändigen IPCC-Sachstandsberichte eine bedeutende Rolle dabei gespielt, Regierungen bei der Verabschiedung und Umsetzung von klimapolitischen Maßnahmen zu unterstützen. Insbesondere haben sie dem Bedarf der Vertragsstaatenkonferenz der 1992 gegründeten UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) und ihres Kyoto-Protokolls (1997) an maßgeblichem Rat entsprochen.

Seit seiner Gründung hat der IPCC eine Reihe von Sachstandsberichten (1990, 1995, 2001 und dieser im Jahr 2007), Sonderberichten, Technischen Abhandlungen und Methodikberichten erstellt, die zu Standardreferenzwerken wurden und von politischen Entscheidungsträgern, Wissenschaftlern, anderen Fachleuten und Studenten ausgiebig genutzt werden. Zu den jüngsten Veröffentlichungen zählen ein Sonderbericht zu „Kohlendioxidabscheidung und -speicherung“ und einer zum Thema „Schutz der Ozonschicht und das globale Klimasystem“, beide 2005 veröffentlicht, sowie die „Richtlinien für nationale Treibhausgasinventare“, die 2006 überarbeitet wurden. Eine technische Abhandlung über „Klimawandel und Wasser“ ist in Vorbereitung.

Dieser am 17. November 2007 in Valencia, Spanien, verabschiedete Synthesebericht vervollständigt den Vierten Sachstandsbericht (AR4), dessen vier Bände in mehreren Schritten über das Jahr verteilt unter dem Titel „Klimaänderung 2007“ herausgegeben wurden. Er fasst die Ergebnisse der drei Arbeitsgruppenberichte zusammen und liefert eine Synthese, die insbesondere auf Themen eingeht, die im Bereich Klimawandel für politische Entscheidungsträger von Interesse sind: er bestätigt, dass Klimawandel jetzt stattfindet, und zwar größtenteils als Folge menschlicher Aktivitäten; er stellt die Auswirkungen der globalen Erwärmung dar, die bereits stattfinden und auch solche, die in Zukunft zu erwarten sind, und beschreibt das Anpassungspotenzial der Gesellschaft zur Verringerung ihrer Verwundbarkeit; schließlich bietet er eine Analyse der Kosten, Maßnahmen und Technologien, die darauf abzielen, das Ausmaß zukünftiger Änderungen im Klimasystem zu begrenzen.

Der AR4 stellt ein bemerkenswertes Ergebnis dar, an dem über 500 Leitautoren und 2000 Fachgutachter beteiligt waren. Er beruht auf der Arbeit einer großen Wissenschaftsgemeinde und wurde von Delegierten aus über einhundert Teilnehmerstaaten überprüft. Er ist das Ergebnis der Begeisterung, des Engagements und der Zusammenarbeit von Fachleuten aus vielen verschiedenen, aber verwandten Fachrichtungen. Ihnen gegenüber möchten wir unseren Dank ausdrücken, insbesondere dem Sekretariat zur technischen Unterstützung für den IPCC-Synthesebericht (angesiedelt bei „The Energy and Resources Institute – TERI“ in Delhi), Frau Dr. Renate Christ (Leiterin des IPCC-Sekretariats) und den Sekretariatsmitarbeiterinnen und -mitarbeitern.

Besonderer Dank gilt den Regierungen und Organisationen, die zum IPCC-Treuhandfonds beitragen und Fachleute auf unterschiedliche Weisen unterstützen. Der IPCC war besonders erfolgreich bei der Einbindung zahlreicher Fachleute aus Entwicklungs- und Transformationsländern in seine Arbeit; der Treuhandfonds ermöglicht dabei eine finanzielle Unterstützung ihrer Reisen zu IPCC-Treffen. Anerkennend sei auch auf den Geist der Zusammenarbeit hingewiesen, in dem alle Regierungsvertreter während der IPCC-Sitzungen zusammengearbeitet haben, um einen bedeutsamen und wirkungsvollen Konsens zu erreichen.

Schließlich möchten wir dem IPCC-Vorsitzenden, Dr. Rajendra K. Pachauri, für seine unermüdliche und hingebungsvolle Leitung dieser gemeinsamen Anstrengung danken. Dies ist zurzeit besonders angebracht, da der gesamte IPCC unter seiner Leitung den Friedensnobelpreis 2007 verliehen bekam.

Wir möchten bei dieser Gelegenheit auch unserer großen Anerkennung und unserem Kummer in Gedenken an Prof. Bert Bolin Ausdruck verleihen, der vor zwanzig Jahren als erster Vorsitzender des IPCC den Weg bereitete, und der zu unserem Bedauern am 30. Dezember 2007 nach einer brillanten Karriere in Meteorologie und Klimaforschung verstarb.

Michel Jarraud
Generalsekretär
Weltorganisation für Meteorologie (WMO)

Achim Steiner
Exekutivdirektor
Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP)

Einleitung

Dieser Synthesebericht mit seiner Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger ist der vierte und letzte Teil des Vierten Sachstandsberichts (AR4) des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) – „Klimaänderung 2007“. Er trägt aktuelle, politisch relevante wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Informationen zum Klimawandel für Politiker und andere Berufsgruppen zusammen. Dieser Bericht soll Regierungen und anderen Entscheidungsträgern im öffentlichen und privaten Sektor helfen, angemessene Reaktionen auf die Bedrohung durch menschengemachten Klimawandel aufzustellen und umzusetzen.

Der Synthesebericht deckt die Informationen in den drei Berichten der Arbeitsgruppen WG I, II & III zum IPCC-AR4 ab – den WG I-Bericht zum Thema „Wissenschaftliche Grundlagen“, den WG II-Bericht zu „Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten“ und den WG III-Bericht zu „Verminderung des Klimawandels“. Er greift auch auf andere IPCC-Berichte zurück, insbesondere auf vor kurzem veröffentlichte IPCC-Sonderberichte. Der Synthesebericht wurde von einem Team geschrieben, das aus Autoren aller Arbeitsgruppenberichte des AR4 bestand und vom IPCC-Vorsitzenden geleitet wurde. Gemäß der Anweisung durch den Ausschuss erstellten die Autoren den Entwurf in nicht-technischem Stil, wobei aber wissenschaftliche und technische Tatsachen korrekt wiedergegeben werden.

Der Synthesebericht befasst sich mit einer großen Bandbreite an politisch relevanten Fragen, die sechs vom Ausschuss festgelegten Leitthemen zugeordnet wurden, und widmet sich insbesondere Querschnittsthemen. Er besteht aus zwei Teilen: einer Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (SPM) und einem ausführlichen Bericht. Die Abschnitte der SPM richten sich größtenteils nach der Themenstruktur des ausführlichen Berichts; bestimmte Fragen, die in mehreren Themen angesprochen werden, wurden jedoch zugunsten von Kürze und Klarheit in einem Abschnitt der SPM zusammengefasst.

Thema 1 führt Informationen aus WG I und II über beobachtete Klimaänderungen und die Auswirkungen vergangener Klimaänderungen auf natürliche Systeme und die menschliche Gesellschaft zusammen.

Thema 2 behandelt Ursachen von Änderungen unter Berücksichtigung sowohl natürlicher als auch anthropogener Antriebe des Klimawandels. Es analysiert die Kette aus Treibhausgasemissionen und -konzentrationen über Strahlungsantrieb und die daraus resultierende Klimaänderung, und beurteilt, ob beobachtete Änderungen des Klimas und in physikalischen und biologischen Systemen auf natürli-

che oder anthropogene Ursachen zurückgeführt werden können. Für die Bereitstellung dieser Informationen greift das Kapitel auf Information aus allen drei Arbeitsgruppenbeiträgen zum AR4 zurück.

Thema 3 stellt Informationen aus den drei Arbeitsgruppenberichten zu projiziertem zukünftigem Klimawandel und seinen Auswirkungen vor. Es bietet aktualisierte Informationen zu Emissionsszenarien und projizierte zukünftige Klimaänderungen im 21. Jahrhundert und später, und es beschreibt die projizierten Auswirkungen zukünftiger Klimaänderungen auf Systeme, Sektoren und Regionen. Den Themen „menschliches Wohlergehen“ und „Entwicklung“ wird besondere Aufmerksamkeit geschenkt.

Thema 4 beschreibt Anpassungs- und Emissionsminderungsmöglichkeiten und -reaktionen, wie sie in den Berichten der Arbeitsgruppen II und III bewertet wurden, sowie die wechselseitige Beziehung zwischen Klimawandel und Reaktionsmaßnahmen einerseits und nachhaltiger Entwicklung andererseits. Der Schwerpunkt dieses Themas liegt auf den Reaktionsmaßnahmen, die bis 2030 umgesetzt werden können. Technologien, Politiken, Maßnahmen und Instrumente sowie Hemmnisse für die Umsetzung werden ebenso wie Synergien und Kompromisse behandelt.

Thema 5 behandelt die langfristige Perspektive und analysiert wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Aspekte, die relevant für Anpassung und Emissionsminderung sind, in Übereinstimmung mit den Zielen und Vorgaben der UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC). Es betrachtet Entscheidungsfindung über Klimawandel aus der Perspektive des Risikomanagements und beachtet dabei breitere Umwelt- und Integrationsthemen. Das Thema beschreibt Emissionstrajektorien für die Stabilisierung von Treibhausgaskonzentrationen auf verschiedenen Niveaus und die damit verbundenen Temperaturanstiege, außerdem liefert es Informationen über die Kosten von Emissionsminderung, die benötigte Technologieentwicklung und -anwendung sowie vermiedene Klimawirkungen. Darüberhinaus untersucht es detailliert fünf Gründe zur Besorgnis über Klimawandel, die, so die Schlussfolgerung, aufgrund neuen Wissens seit dem TAR dringlicher geworden sind.

Thema 6 hebt gesicherte Erkenntnisse und Hauptunsicherheiten hervor.

Obwohl der Synthesebericht größtenteils für sich alleine steht, muss er im Zusammenhang mit den anderen Bänden von „Klimaänderung 2007“ gesehen werden; für weitere Einzelheiten wird empfohlen, auf die Beiträge der drei

Arbeitsgruppen zurückzugreifen. Jeder der Arbeitsgruppenberichte besteht aus einer Reihe von Kapiteln mit einer ausführlichen wissenschaftlichen Bewertung, einer Technischen Zusammenfassung und einer Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, die vom IPCC Zeile für Zeile verabschiedet wurde.

Der ausführliche Synthesebericht beinhaltet zahlreiche Verweise auf die relevanten Kapitel in den Arbeitsgruppenbeiträgen zum AR4 und anderen relevanten IPCC-Berichten. Um das Lesen zu erleichtern, wird in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger lediglich auf die relevanten Abschnitte des ausführlichen Syntheseberichts verwiesen. Nutzerhinweise, ein Glossar und Verzeichnisse der Abkürzungen, Autoren, Begutachtungse editoren und Fachgutachter sind in den Anhängen dieses Berichts zu finden.

Die Erstellung dieses Syntheseberichts wurde in Übereinstimmung mit den Verfahren für die Erstellung, Begutachtung, Zustimmung, Annahme, Verabschiedung, Genehmigung und Veröffentlichung von IPCC-Berichten durchgeführt, und er wurde vom IPCC auf seiner 27. Sitzung (Valencia, Spanien, 12.-17. November 2007) angenommen und verabschiedet.

Wir danken an dieser Stelle:

- dem Team der Kernautoren, die diesen Bericht entworfen und, mit akribischer und gewissenhafter Sorge ums Detail, fertiggestellt haben
- den Begutachtungse editoren, die sichergestellt haben, dass alle Kommentare beachtet und die Konsistenz mit den zugrundeliegenden Berichten gewahrt wurden
- den Mitgliedern der Teams von koordinierenden Leitautoren und Leitautoren aus den Arbeitsgruppen, die beim Entwurf geholfen haben
- dem Leiter und den Mitarbeitern des Sekretariats zur technischen Unterstützung (TSU) für den Synthesebericht, insbesondere Dr. Andy Reisinger, und den TSUs der drei Arbeitsgruppen für logistische und redaktionelle Unterstützung
- den Mitarbeitern des IPCC-Sekretariats für unzählige Arbeiten zur Unterstützung bei der Vorbereitung, Freigabe und Veröffentlichung des Berichts
- WMO und UNEP für die Unterstützung des IPCC-Sekretariats und für finanzielle Beiträge zum IPCC-Treuhandfonds
- allen Mitgliedsregierungen und der UNFCCC für ihre Beiträge zum IPCC-Treuhandfonds

- und allen Mitgliedsregierungen und teilnehmenden Organisationen für unschätzbare Sachleistungen, darunter die Unterstützung von am IPCC beteiligten Fachleuten und die Ausrichtung von Treffen und Sitzungen des IPCC.

Dr. R.K Pachauri
Vorsitzender des IPCC

Dr. Renate Christ
Leiterin des IPCC-Sekretariats

Klimaänderung 2007: Synthesebericht

Inhalt

Vorwort	iii
Einleitung	v
Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger	1
Synthesebericht	27
Einleitung	29
Thema 1	33
Thema 2	39
Thema 3	47
Thema 4	61
Thema 5	71
Thema 6	81
Anhänge	
I. Nutzerhinweise und Zugang zu genaueren Informationen	85
II. Glossar	86
III. Akronyme, chemische Symbole; wissenschaftliche Einheiten; Ländergruppierungen	100
IV. Autorenliste	102
V. Liste der Gutachter und Begutachtungsedatoren	104

In diesem Bericht zitierte Quellen

Literaturhinweise über den Inhalt dieses Berichts sind in geschweiften Klammern {} am Ende jeden Absatzes gegeben.

In der **Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger** beziehen sich die Verweise auf Abschnitte, Abbildungen, Tabellen und Kästen in den zugrundeliegenden Einleitungen und Themen dieses Syntheseberichts.

In der **Einleitung und den sechs Themen** dieses Syntheseberichts beziehen sich die Verweise auf die Beiträge der Arbeitsgruppen I, II und III (WGI, WGII und WGIII) zum Vierten Sachstandsbericht und auf andere IPCC-Berichte, auf denen dieser Synthesebericht beruht, oder auf andere Abschnitte des Syntheseberichts selbst (SYR).

Folgende Abkürzungen wurden verwendet:

SPM: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (Summary for Policymakers)

TS: Technische Zusammenfassung (Technical Summary)

ES: Kurzfassung eines Kapitels (Executive Summary)

Zahlenangaben beziehen sich auf bestimmten Kapitel oder Abschnitte eines Berichts.

Zum Beispiel würde {WGI TS.3; WGII 4.ES, Abbildung 4.3; WGIII Tabelle 11.3} auf die Technische Zusammenfassung des Abschnitts 3 von WGI, die Kurzfassung und Abbildung 4.3 in Kapitel 4 von WGII und Tabelle 11.3 in Kapitel 11 von WG III verweisen.

Weitere in diesem Synthesebericht zitierte Berichte:

TAR: Dritter Sachstandsbericht (Third Assessment Report)

SROC: Sonderbericht über den Schutz der Ozonschicht und das globale Klimasystem (Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System)

Klimaänderung 2007: Synthesebericht

Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

Ein Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)

Diese Zusammenfassung, im Detail auf der XXVII. IPCC-Vollversammlung (Valencia, Spanien, 12.-17. November 2007) verabschiedet, stellt die formell vereinbarte Aussage des IPCC zu den Hauptkenntnissen und -unsicherheiten in den Arbeitsgruppenbeiträgen zum Vierten Sachstandsbericht dar.

Basierend auf einem Entwurf von:

Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe

Einleitung

Dieser Synthesebericht beruht auf dem Sachstandsbericht der drei Arbeitsgruppen des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Als Schlussteil des Vierten IPCC-Sachstandsberichts (IPCC AR4) bietet er eine integrierte Betrachtungsweise des Klimawandels. Eine vollständige Behandlung der in dieser Zusammenfassung behandelten Themen ist in diesem Synthesebericht und in den zugrundeliegenden Berichten der drei Arbeitsgruppenberichte zu finden.

1. Beobachtete Klimaänderungen und ihre Auswirkungen

Eine Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig, wie nun aus Beobachtungen der Anstiege der mittleren globalen Luft- und Meerestemperaturen, dem ausgedehnten Abschmelzen von Schnee und Eis sowie dem Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels ersichtlich ist (Abbildung SPM.1). {1.1}

Elf der letzten zwölf Jahre (1995-2006) gehören zu den zwölf wärmsten Jahren seit der instrumentellen Aufzeichnung der globalen Erdoberflächentemperatur¹ (seit 1850). Der 100-jährige lineare Trend (1906-2005) von 0,74 [0,56 bis 0,92] °C² ist stärker als der entsprechende, im Dritten Sachstandsbericht (TAR) angegebene, Trend von 0,6 [0,4 bis 0,8] °C (1901-2000) (Abbildung SPM.1). Der Temperaturanstieg findet weit über den Globus verteilt statt und ist in den höheren nördlichen Breiten stärker. Landregionen haben sich schneller erwärmt als die Ozeane (Abbildungen SPM.2, SPM.4). {1.1, 1.2}

Der Anstieg des Meeresspiegels steht im Einklang mit der Erwärmung (Abbildung SPM.1). Der mittlere globale Meeresspiegel ist seit 1961 mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1,8 [1,3 bis 2,3] mm pro Jahr und seit 1993 mit durchschnittlich ungefähr 3,1 [2,4 bis 3,8] mm pro Jahr gestiegen. Dazu trugen die thermische Ausdehnung der Ozeane, schmelzende Gletscher und Eiskappen sowie die polaren Eisschilde bei. Es ist unklar, ob der stär-

kere Anstieg von 1993–2003 eine dekadische Schwankung oder eine Zunahme des langfristigen Trends widerspiegelt. {1.1}

Die beobachteten Rückgänge der Schnee- und Eisbedeckung sind ebenfalls konsistent mit der Erwärmung (Abbildung SPM.1). Aus Satellitendaten seit 1978 ist ersichtlich, dass die durchschnittliche jährliche Ausdehnung des 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. Gebirgsgletscher und Schneebedeckung haben im Mittel in beiden Hemisphären abgenommen. {1.1}

Von 1900 bis 2005 haben die Niederschläge in östlichen Teilen von Nord- und Südamerika, in Nordeuropa und in Nord- und Zentralasien signifikant zugenommen, im Sahel, dem Mittelmeerraum, dem südlichen Afrika und in Teilen von Südasien dagegen abgenommen. Die von Dürre bedrohte Fläche hat *wahrscheinlich*³ weltweit seit den 1970er Jahren zugenommen. {1.1}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass: während der letzten 50 Jahre kalte Tage, kalte Nächte und Frost über den meisten Landgebieten weniger häufig, und heiße Tage und heiße Nächte häufiger aufgetreten sind. Es ist *wahrscheinlich*, dass: Hitzewellen über den meisten Landgebieten häufiger geworden sind, die Häufigkeit schwerer Niederschlagsereignisse in den meisten Gegenden zugenommen hat, und das Auftreten von extrem hohem Meeresspiegel⁴ seit 1975 weltweit zugenommen hat. {1.1}

Beobachtungen belegen eine zunehmende Aktivität starker tropischer Wirbelstürme im Nordatlantik seit ungefähr 1970, wobei derartige Zunahmen anderenorts nur begrenzt belegt sind. Es besteht kein klarer Trend in der jährlichen Anzahl tropischer Wirbelstürme. Die Bestimmung langfristiger Trends in der Wirbelsturmaktivität ist schwierig, besonders vor 1970 {1.1}

Die mittleren Temperaturen auf der Nordhalbkugel waren in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts *sehr wahrscheinlich* höher als während jedes anderen 50-Jahres-Abschnitts der letzten 500 Jahre und *wahrscheinlich* die höchsten in zumindest den letzten 1300 Jahren. {1.1}

¹ Anmerkung der deutschen Redaktion: Erdoberflächentemperatur ist der Durchschnitt der bodennahen Lufttemperatur über dem Land und der Meeresoberflächentemperatur {WGI SPM}.

² Zahlenangaben in eckigen Klammern geben ein 90%-Unsicherheitsintervall um einen besten Schätzwert an, d.h. es besteht eine geschätzte Wahrscheinlichkeit von 5%, dass der Wert oberhalb des in den eckigen Klammern angegebenen Bereichs liegt und eine geschätzte Wahrscheinlichkeit von 5%, dass der Wert unterhalb des Bereichs liegen könnte. Die Unsicherheitsintervalle liegen nicht unbedingt symmetrisch um den entsprechenden besten Schätzwert.

³ In kursiver Schrift erscheinen kalibrierte Ausdrücke über Unsicherheiten und Vertrauensniveaus. Die relevanten Ausdrücke werden im Kasten „Behandlung von Unsicherheiten“ in der Einleitung des Syntheseberichts erläutert.

⁴ Ausgenommen Tsunamis, die nicht auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Extrem hoher Meeresspiegel hängt vom durchschnittlichen Meeresspiegel und regionalen Wettersystemen ab. Er ist hier definiert als das höchste 1% der stündlichen, an einer Station beobachteten Meeresspiegel für einen bestimmten Bezugszeitraum.

Änderungen von Temperatur, Meeresspiegel und nordhemisphärischer Schneebedeckung

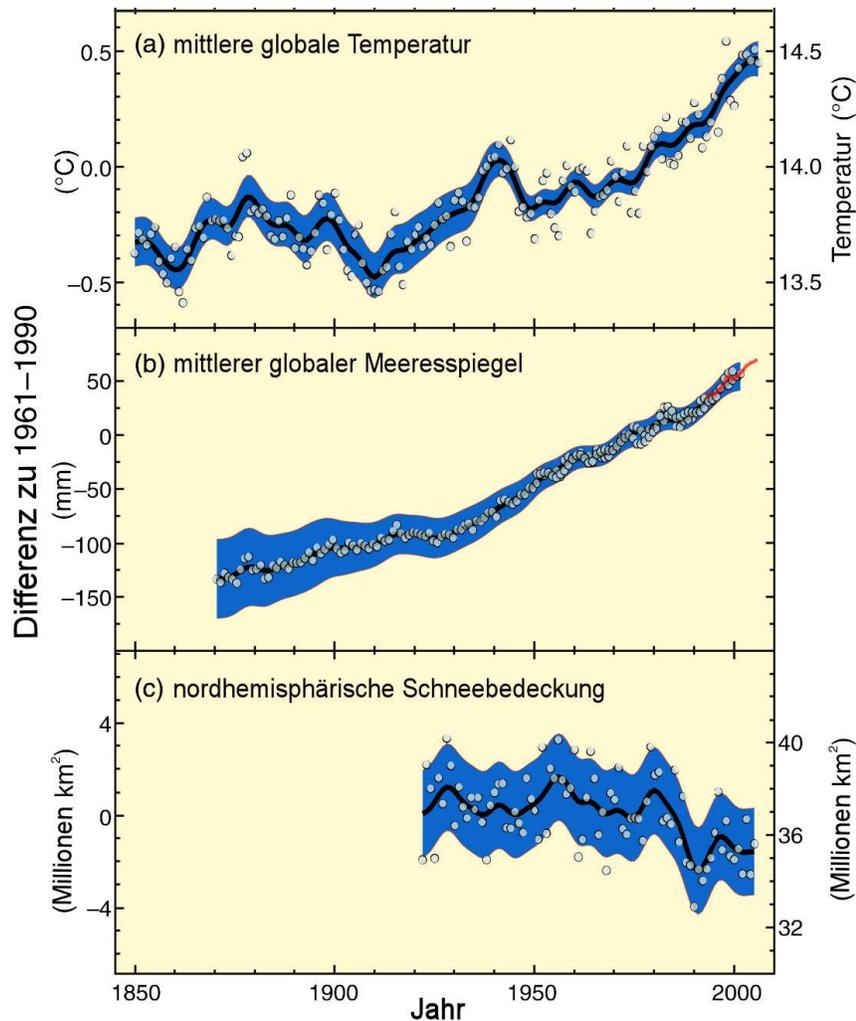


Abbildung SPM.1. Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur; (b) des mittleren globalen Meeresspiegels aus Pegelmessungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April. Alle Abweichungen beziehen sich auf die entsprechenden Mittelwerte 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). {Abbildung 1.1}

Beobachtungen⁵ von allen Kontinenten und den meisten Ozeanen zeigen, dass zahlreiche natürliche Systeme von regionalen Klimaänderungen – vor allem von Temperaturerhöhungen – betroffen sind. {1.2}

Es besteht *hohes Vertrauen* darin, dass Änderungen in Schnee-, Eisbedeckung und gefrorenem Boden die Zahl und Größe von Gletscherseen erhöht, die Bodeninstabilität in Gebirgs- und anderen Permafrostgebieten verstärkt sowie zu Änderungen in einigen arktischen und antarktischen Ökosystemen geführt haben. {1.2}

Es besteht *hohes Vertrauen* darin, dass einige hydrologische Systeme durch erhöhten Abfluss und im Frühjahr früher eintretende Abflusshöchstleistungen zahlreicher von Gletschern und Schnee gespeisten Flüsse sowie durch Auswirkungen auf die thermische Struktur und die Wasserqualität von sich erwärmenden Flüssen und Seen beeinflusst wurden. {1.2}

Bezüglich terrestrischer Ökosysteme besteht sehr *hohes Vertrauen* darin, dass ein früheres Eintreten von Prozessen im Frühjahr und Verschiebungen der geografischen Verbreitungsgebiete von Pflanzen- und Tierarten polwärts

⁵ Größtenteils basierend auf Datensätzen, die den Zeitraum seit 1970 abdecken.

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

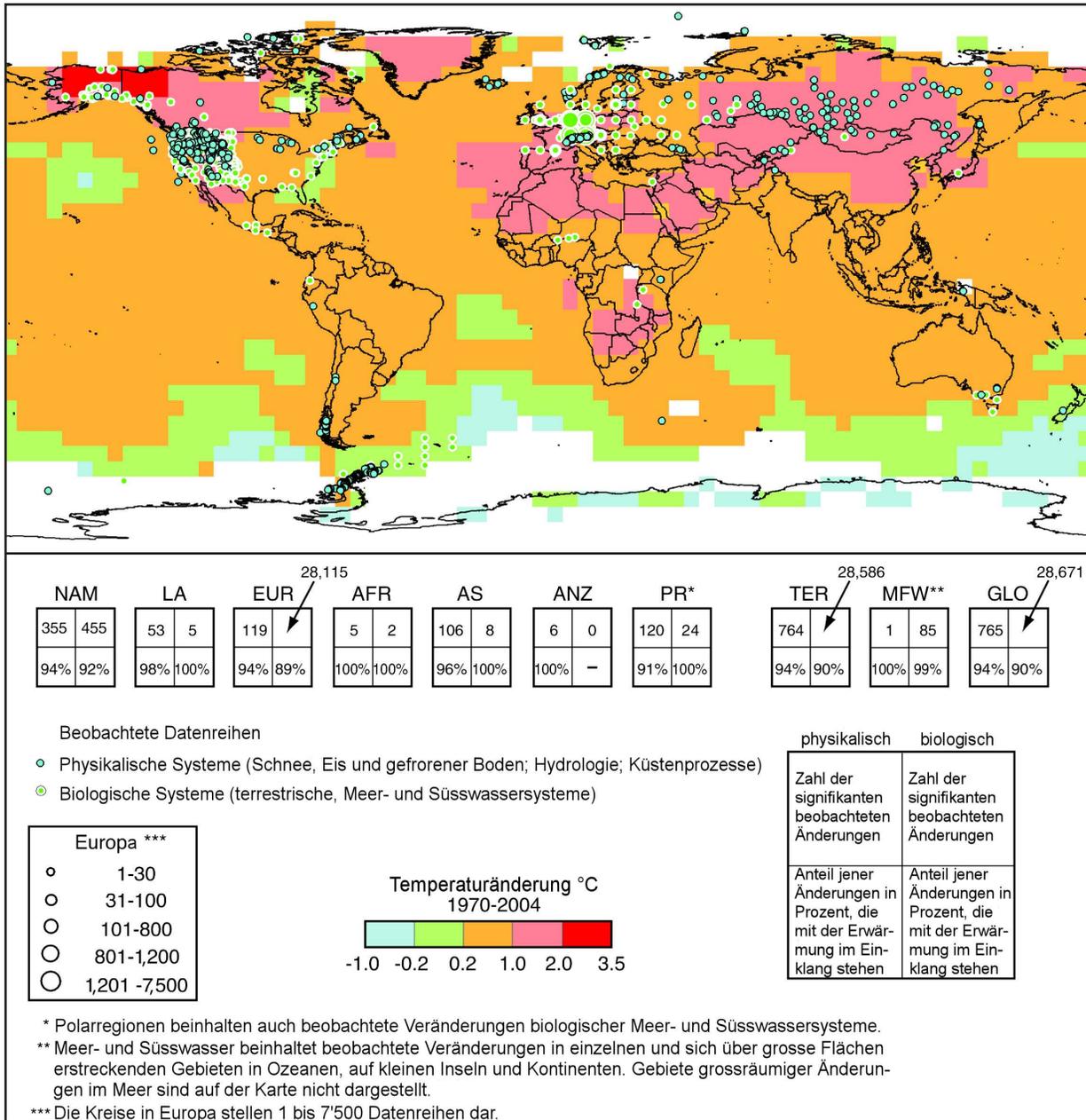


Abbildung SPM.2. Gemeinsame Darstellung der örtlichen Lage signifikanter Veränderungen bei den Datenreihen physikalischer Systeme (Schnee, Eis, gefrorener Boden; Hydrologie; und Küstenprozesse) und biologischer Systeme (terrestrische, Meer- und Süßwassersysteme) und Veränderungen der Erdoberflächentemperaturen 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, EUR, AFR, AS, ANZ, 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. {Abbildung 1.2}

und in höhere Lagen mit der jüngsten Erwärmung zusammenhängen. Für einige Meeres- und Süßwassersysteme besteht ein *hohes Vertrauen* darin, dass Verschiebungen geografischer Verbreitungsgebiete sowie Veränderungen des Auftretens von Algen, Plankton und Fischen mit steigenden Wassertemperaturen sowie mit den assoziierten Veränderungen der Eisbedeckung, des Salz- und Sauerstoffgehalts und der Zirkulation im Zusammenhang stehen. {1.2}

Von den über 29.000 Beobachtungsdatensätzen aus 75 Untersuchungen, die signifikante Veränderung in vielen physikalischen und biologischen Systemen zeigen, stehen über 89% in Einklang mit der Änderungsrichtung, wie sie als Reaktion auf eine Erwärmung zu erwarten wäre (Abbildung SPM.2). Jedoch sind Daten und Literatur über beobachtete Veränderungen geografisch deutlich unausgewogen – es bestehen beträchtliche Lücken in den Entwicklungsländern. {1.2, 1.3}

Weitere Auswirkungen regionaler Klimaänderungen auf die natürliche und menschliche Umwelt zeichnen sich ab (*mittleres Vertrauen*), obwohl viele aufgrund von Anpassung und nicht-klimatischen Antriebselementen schwer zu erkennen sind. {1.2}

Dazu zählen Auswirkungen von Temperaturanstiegen auf: {1.2}

- Land- und Forstwirtschaft in den hohen Breiten der nördlichen Hemisphäre, wie z.B. frühere Auspflanzung von Feldfrüchten im Frühjahr sowie Veränderungen der Störungsregimes von Wäldern infolge von Bränden und Schädlingsbefall
- einige Aspekte der menschlichen Gesundheit, wie z.B. hitzebedingte Sterblichkeit in Europa, das Auftreten anderer Überträger von Infektionskrankheiten in einigen Gebieten sowie allergener Pollen in den hohen und mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre
- einige menschliche Aktivitäten in der Arktis (z.B. Jagd und Verkehr über Schnee- und Eisflächen) und in tiefer gelegenen alpinen Gebieten (z.B. Berg- und Wintersport).

2. Ursachen für Änderungen

Änderungen der atmosphärischen THG- und Aerosolkonzentrationen, der Landnutzung und der Sonneneinstrahlung verändern die Energiebilanz des Klimasystems. {2.2}

Die weltweiten Treibhausgasemissionen sind aufgrund menschlicher Aktivitäten seit der vorindustriellen Zeit angestiegen. Dabei beträgt die Zunahme zwischen 1970 und 2004 70% (Abbildung SPM.3).⁶ {2.1}

Kohlendioxid (CO₂) ist das wichtigste anthropogene THG. Seine jährlichen Emissionen stiegen von 1970 bis 2004 um etwa 80%. Die langfristige Entwicklung abnehmender Kohlendioxidemissionen pro Einheit an bereitgestellter Energie kehrte sich nach dem Jahr 2000 um. {2.1}

Die globalen atmosphärischen Konzentrationen von CO₂, Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) sind als Folge menschlicher Aktivitäten seit 1750 markant gestiegen und übertreffen heute die aus Eisbohrkernen über viele Jahrtausende bestimmten vorindustriellen Werte bei Weitem. {2.2}

Die atmosphärischen Konzentrationen von CO₂ (379 ppm) und CH₄ (1774 ppb) im Jahr 2005 übertreffen bei Weitem die natürliche Schwankungsbreite der vergangenen 650.000 Jahre. Weltweite Anstiege der CO₂-Konzentrationen sind vor allem auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zurückzuführen, wobei Landnutzungsänderungen einen weiteren signifikanten, aber kleineren Teil beitragen. Der beobachtete Anstieg der CH₄-Konzentrationen geht sehr wahrscheinlich vor allem auf Landwirtschaft und die Nutzung fossiler Brennstoff zurück. Die Wachstumsraten von Methan haben seit den frühen 1990er Jahren abgenommen, was im Einklang mit der Tatsache steht, dass die Gesamtemissionen (Summe der anthropogenen und natürlichen Quellen) während dieses Zeitraums nahezu konstant geblieben sind. Der Anstieg der N₂O-Konzentration ist vor allem auf die Landwirtschaft zurückzuführen. {2.2}

Es besteht *sehr hohes Vertrauen* darin, dass der Nettoeffekt menschlicher Aktivitäten seit 1750 eine Erwärmung war⁷. {2.2}

⁶ Beinhaltet nur CO₂, CH₄, N₂O, H-FKW, FKWs und SF₆, deren Emissionen durch die UNFCCC abgedeckt sind. Diese THG sind entsprechend ihres auf 100 Jahre bezogenen Globalen Erwärmungspotenzials (GWP) gewichtet, wobei Werte verwendet wurden, die mit der Berichterstattung im Rahmen der UNFCCC konsistent sind.

⁷ Zunahmen von THG neigen dazu, die Erdoberfläche zu erwärmen, während der Nettoeffekt von zunehmenden Aerosolen in der Tendenz eine Abkühlung darstellt. Der Nettoeffekt menschlicher Aktivitäten seit der vorindustriellen Zeit ist eine Erwärmung (+1,6 [+0,6 bis +2,4] W·m⁻²). Im Vergleich dazu schätzt man die Auswirkung von Veränderungen der Sonneneinstrahlung als geringe Erwärmung ein (+0,12 [+0,06 bis +0,30] W·m⁻²).

Globale anthropogene THG-Emissionen

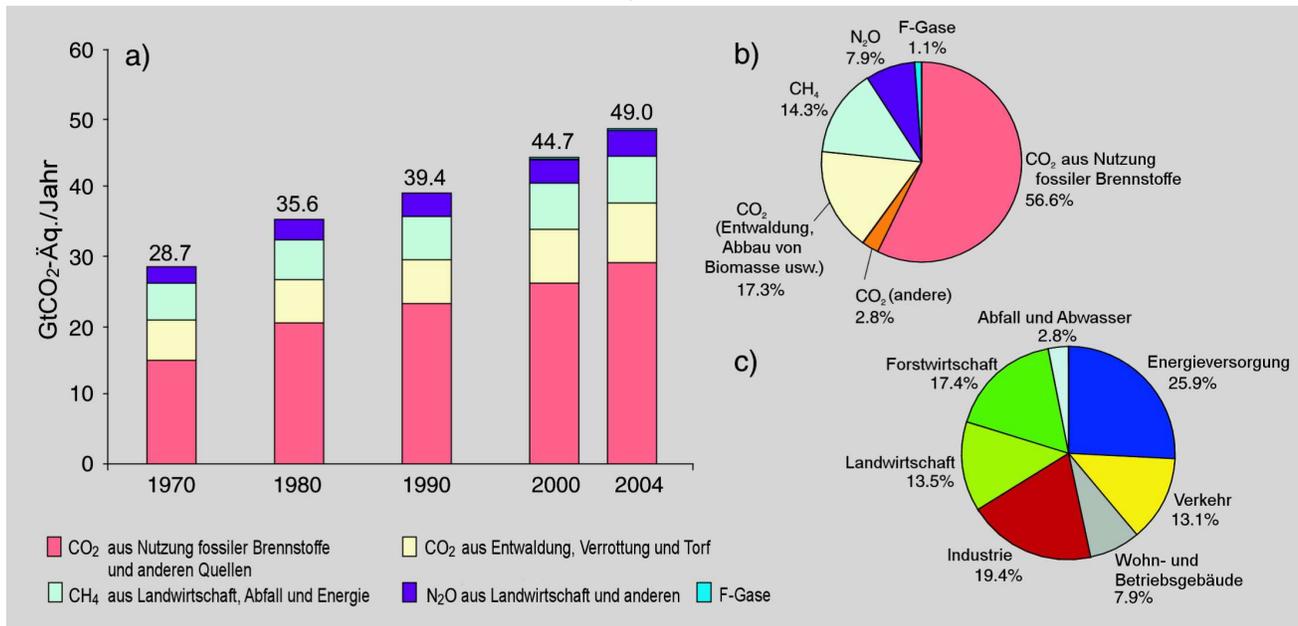


Abbildung SPM.3. (a) Weltweite jährliche Emissionen anthropogener Treibhausgase von 1970 bis 2004⁶. (b) Anteil unterschiedlicher anthropogener THG an den Gesamtemissionen im Jahr 2004 als CO₂-Äq. (c) Anteil unterschiedlicher Sektoren an den gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004 als CO₂-Äq. (Forstwirtschaft schließt Entwaldung mit ein). {Abbildung 2.1}

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 verursacht⁸. Wahrscheinlich hat im Durchschnitt über jedem Kontinent (mit Ausnahme der Antarktis) in den letzten 50 Jahren eine signifikante anthropogene Erwärmung stattgefunden (Abbildung SPM.4). {2.4}

Während der vergangenen 50 Jahre hätte die Summe aus solaren und vulkanischen Antrieben *wahrscheinlich* eine Abkühlung verursacht. Die beobachteten Muster der Erwärmung, und deren Änderungen werden nur durch solche Modelle wiedergegeben, die anthropogene Antriebe miteinbeziehen. Es verbleiben Schwierigkeiten bei der Nachbildung und Zuordnung von beobachteten Temperaturänderungen im kleinräumigeren Maßstab als den der Kontinente. {2.4}

Fortschritte seit dem TAR machen deutlich, dass sich erkennbare menschliche Einflüsse über die Durchschnittstemperatur hinaus auf andere Aspekte des Klimas ausweiten. {2.4}

Menschliche Einflüsse haben: {2.4}

- *sehr wahrscheinlich* zum Meeresspiegelanstieg während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beigetragen
- *wahrscheinlich* zu Änderungen der Windmuster beigetragen, welche die außertropischen Zugbahnen der Stürme und Temperaturmuster beeinflussen
- *wahrscheinlich* die Temperaturen extrem heißer Nächte, kalter Nächte und kalter Tage erhöht
- *eher wahrscheinlich als nicht* das Risiko von Hitzeperioden, die durch Dürre betroffenen Flächen seit den 1970ern und die Häufigkeit von schweren Niederschlagsereignissen vergrößert.

Die anthropogene Erwärmung über die letzten drei Jahrzehnte hatte wahrscheinlich auf globaler Ebene einen erkennbaren Einfluss auf beobachtete Veränderungen in vielen physikalischen und biologischen Systemen. {2.4}

Es ist *sehr unwahrscheinlich*, dass die räumliche Übereinstimmung zwischen Regionen mit signifikanter Erwärmung weltweit und Orten mit beobachteten signifikanten mit der Erwärmung im Einklang stehenden Veränderungen vieler Systeme allein auf natürliche Variabilität zurückzuführen ist. Verschiedene Modellstudien haben zwischen bestimmten Reaktionen in physikalischen und biologischen

⁸ Die Berücksichtigung verbleibender Unsicherheiten basiert auf aktuellen Methoden.

Globale und kontinentale Temperaturänderungen

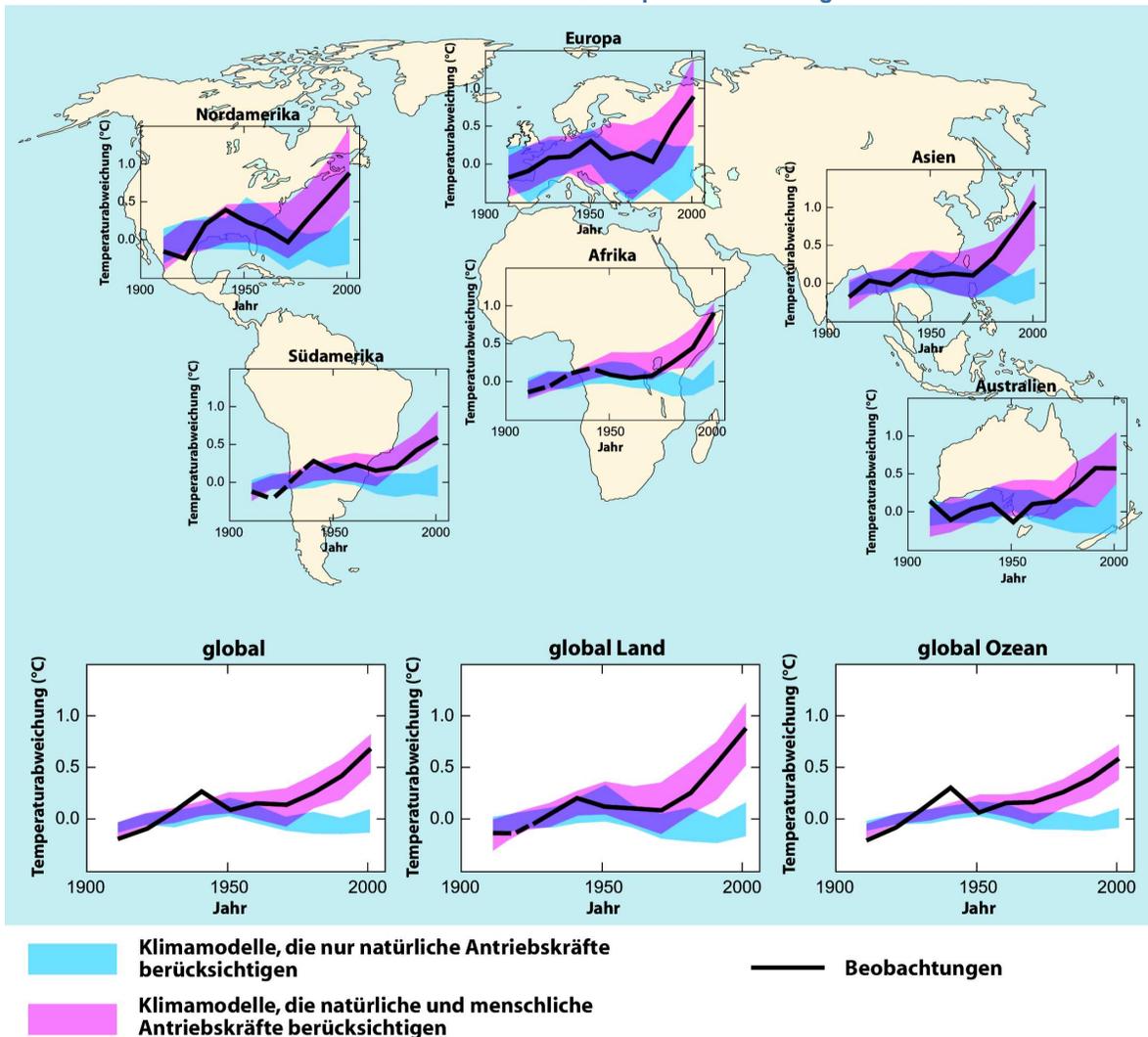


Abbildung SPM.4. Vergleich der beobachteten Änderungen der Erdoberflächentemperatur auf kontinentaler und globaler Skala mit den von Klimamodellen auf Grund entweder natürlicher oder sowohl natürlicher als auch anthropogener Antriebe berechneten Resultaten. Die 10-Jahrzehnt-Mittel der Beobachtungen sind 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. {Abbildung 2.5}

schen Systemen und der anthropogenen Erwärmung einen Zusammenhang hergestellt. {2.4}

Eine vollständigere Zuordnung beobachteter Reaktionen natürlicher Systeme auf die anthropogene Erwärmung wird derzeit durch die kurzen Zeitskalen vieler Untersuchungen zu Auswirkungen des Klimawandels, durch größere natürliche Klimavariabilität auf regionaler Ebene und durch Beiträge nicht-klimatischer Faktoren sowie durch unvollständige räumliche Erfassung in Untersuchungen verhindert. {2.4}

3. Projizierter Klimawandel und seine Auswirkungen

Es besteht eine **hohe Übereinstimmung** und eine **starke Beweislage** dafür, dass bei den derzeitigen Klimaschutzpolitiken und den damit verbundenen Maßnahmen für eine nachhaltige Entwicklung die globalen Emissionen von Treibhausgasen über die nächsten Jahrzehnte weiterhin zunehmen werden. {3.1}

Der IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (IPCC Special Report on Emission Scenarios, SRES, 2000) projiziert einen Anstieg globaler THG-Emissionen um 25–90% (CO₂-Äq.) zwischen 2000 und 2030 (Abbildung SPM.5), wobei die Dominanz fossiler Brennstoffe im weltweiten Energiemix bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus anhält. Jüngere Szenarien ohne zusätzliche Emissionsminderung sind in der Bandbreite vergleichbar^{9, 10}. {3.1}

Anhaltend 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 (Tabelle SPM.1, Abbildung SPM.5). {3.2.1}

Für die kommenden zwei Jahrzehnte wird für eine Reihe von SRES-Emissionsszenarien eine Erwärmung von etwa 0,2°C pro Jahrzehnt projiziert. Selbst wenn die Konzentrationen aller THG und Aerosole auf den Niveaus des Jahres 2000 konstant gehalten worden wären, wäre

eine weitere Erwärmung um etwa 0,1 °C pro Jahrzehnt zu erwarten. Danach hängen Temperaturprojektionen zunehmend von spezifischen Emissionsszenarien ab. {3.2}

Die Bandbreite der Projektionen (Tabelle SPM.1) ist weitgehend konsistent mit dem TAR, aber die Unsicherheiten und oberen Grenzen für die Temperatur sind hauptsächlich deshalb größer, weil die größere Bandbreite an verfügbaren Modellen stärkere Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen nahelegt. Eine Erwärmung führt zu einer Verringerung der Aufnahme atmosphärischen Kohlendioxids durch Landoberflächen und Ozeane, wodurch der Anteil der in der Atmosphäre verbleibenden anthropogenen Emissionen erhöht wird. Die Stärke dieses Rückkopplungseffekts variiert erheblich unter den Modellen. {2.3, 3.2.1}

Da das Verständnis einiger wichtiger Effekte, die den Meeresspiegelanstieg beeinflussen, zu begrenzt ist, schätzt dieser Bericht weder die Wahrscheinlichkeit ab, noch liefert er einen besten Schätzwert oder eine Obergrenze für den Meeresspiegelanstieg. Tabelle SPM.1 zeigt modellbasierte Projektionen des mittleren globalen Meeresspie-

Tabelle SPM.1. Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche und Meeresspiegelanstieg am Ende des 21. Jahrhunderts. {Tabelle 3.1}

Fall	Temperaturänderung (°C; 2090-2099 verglichen mit 1980-1999) ^{a,d}		Meeresspiegelanstieg (m; 2090-2099 verglichen mit 1980-1999)
	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
A1F1-Szenario	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

Anmerkungen:

- a) Die Temperaturen stellen beste Schätzwerte und *wahrscheinliche* Unsicherheitsbereiche aus einer Hierarchie von Modellen unterschiedlicher Komplexität und Einschränkungen hinsichtlich der Beobachtungen dar.
- b) Die Zahlen für den Fall konstanter Jahr-2000-Konzentrationen wurden nur aus Allgemeinen Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodellen (AOGCMs) abgeleitet.
- c) Alle oben aufgeführten Szenarien sind sechs SRES-Musterszenarien. Die näherungsweise CO₂-Äquivalentkonzentrationen, die den berechneten Strahlungsantrieben aufgrund anthropogener THG und Aerosole im Jahr 2100 entsprechen (siehe S. 823 des TAR), liegen für die beispielhaften Musterszenarien SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 und A1F1 jeweils bei etwa 600, 700, 800, 850, 1250 und 1550 ppm.
- d) Temperaturänderungen sind als Abweichung gegenüber dem Zeitraum 1980-1999 ausgedrückt. Um den Unterschied gegenüber dem Zeitraum 1850-1899 auszudrücken, müssen 0,5 °C addiert werden.

⁹ Die SRES-Emissionsszenarien werden im Kasten „SRES-Szenarien“ dieses Syntheseberichts erläutert. Diese Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen über die jetzigen hinaus; jüngere Untersuchungen unterscheiden sich hinsichtlich der Einbeziehung der UNFCCC und des Kyoto-Protokolls.

¹⁰ Emissionspfade von Emissionsminderungsszenarien werden in Abschnitt 5 behandelt.

Szenarien für THG-Emissionen von 2000 bis 2100 (ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen) und Projektionen der Erdoberflächentemperatur

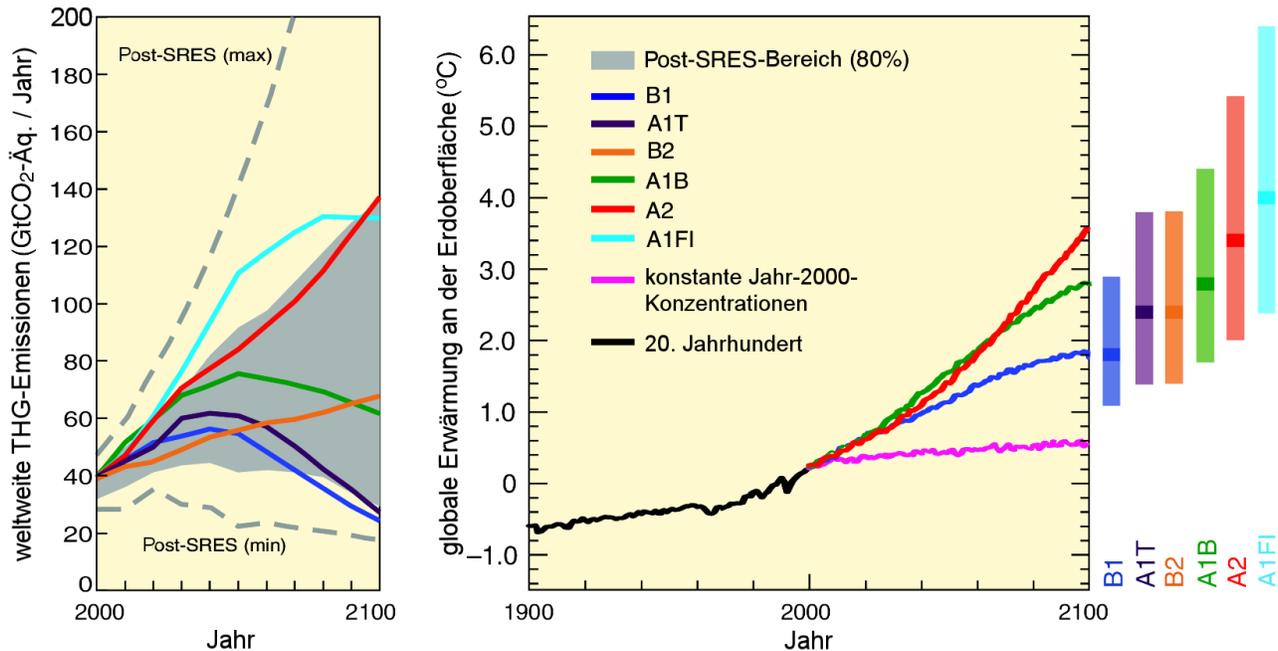


Abbildung SPM.5. Linke Tafel: Weltweite THG-Emissionen (in CO_2 -Äq.) ohne Klimaschutzmaßnahmen: sechs beispielhafte SRES-Musterszenarien (farbige Linien) und der 80. Perzentilbereich neuerer post-SRES-Referenzszenarien (grau schattierter Bereich). Gestrichelte Linien zeigen die gesamte Bandbreite der post-SRES-Szenarien. Die Emissionen beinhalten CO_2 , CH_4 , N_2O und F-Gase. **Rechte Tafel:** Die durchgezogenen Linien sind globale Multimodell-Mittel der Erwärmung an der Erdoberfläche für die SRES-Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Fortsetzungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Diese Projektionen rechnen auch Emissionen kurzlebiger THG und Aerosole mit ein. Die rosafarbene Linie steht nicht für ein Szenario, sondern für AOGCM-Simulationen, in denen die Konzentrationen konstant auf Jahr-2000-Werten gehalten wurden. Die Balken rechts von der Abbildung zeigen die besten Schätzwerte (durchgezogene Linie innerhalb jedes Balkens) und die wahrscheinliche Bandbreite, die für die sechs SRES-Musterszenarien für 2090-2099 abgeschätzt wurde. Alle Temperaturen sind relativ zum Zeitraum 1980-1999. (Abbildungen 3.1 & 3.2)

gelanstiegs für 2090–2099¹¹. Die Projektionen beinhalten weder Unsicherheiten in den Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen noch die vollen Auswirkungen von Änderungen des Eisschildflusses, daher dürfen die Werte am oberen Ende der Bandbreiten nicht als Obergrenzen für den Meeresspiegelanstieg angesehen werden. Sie enthalten zwar einen Beitrag des verstärkten Eisabflusses in Grönland und der Antarktis mit der von 1993–2003 beobachteten Geschwindigkeit, aber dieser könnte in Zukunft zu- oder abnehmen¹². {3.2.1}

Im Vergleich zum TAR besteht nun höheres Vertrauen in projizierte Erwärmungsmuster und andere Erscheinungen auf regionaler Ebene, darunter Änderungen der Windmuster, Niederschläge und einiger Aspekte von Extremen und Meereis. {3.2.2}

Änderungen auf regionaler Ebene sind unter anderem: {3.2.2}

- stärkste Erwärmung über Landoberflächen und in den höchsten nördlichen Breiten und schwächste Erwärmung über dem Südlichen Ozean und Teilen des Nordatlantiks, was einer Fortsetzung kürzlich beobachteter Trends entspricht (Abbildung SPM.6)
- Abnahme der Schneebedeckung, Zunahmen der Auftautiefe in den meisten Permafrostregionen und Rückgang der Meereisausdehnung; in einigen Projektionen von SRES-Szenarien verschwindet in der Arktis im letzten Teil des 21. Jahrhunderts das Meereis im Spätsommer fast vollständig
- *sehr wahrscheinliche* Zunahme in der Häufigkeit von Hitze-Extremen, Hitzewellen und Starkniederschlagsereignissen
- *wahrscheinlicher* Anstieg der Intensität tropischer Wirbelstürme; weniger Vertrauen in eine globale Abnahme der Anzahl tropischer Wirbelstürme

¹¹ Die TAR-Projektionen wurden für 2100 durchgeführt, wohingegen die Projektionen für diesen Bericht für den Zeitraum 2090-2099 gelten. Der TAR hätte ähnliche Bandbreiten wie in Tabelle SPM.1 erhalten, hätte er die Unsicherheiten auf die gleiche Weise behandelt.

¹² Eine Diskussion der längerfristigen Auswirkungen ist weiter unten gegeben.

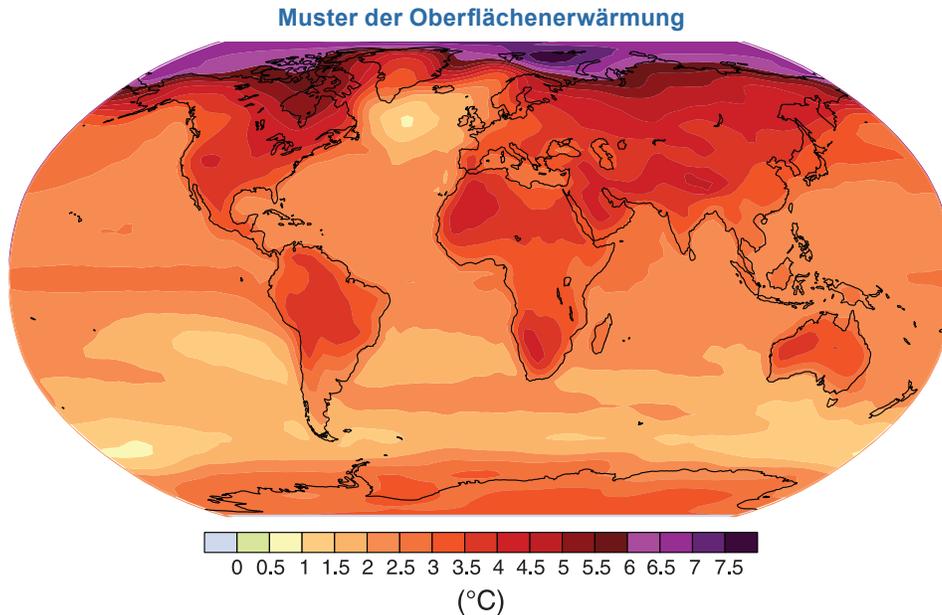


Abbildung SPM.6. Projizierte Änderungen der Erdoberflächentemperatur für das späte 21. Jahrhundert (2090-2099). Die Karte zeigt ein Mittel aus mehreren AOGCM-Projektionen für das A1B SRES-Szenario. Alle Temperaturen sind relativ zum Zeitraum 1980-1999. {Abbildung 3.2}

- polwärtige Verlagerung außertropischer Sturmzugbahnen mit entsprechenden Änderungen der Wind-, Niederschlags- und Temperaturmuster
- *sehr wahrscheinliche* Zunahme der Niederschlagsmengen in höheren Breiten und *wahrscheinliche* Abnahmen über den meisten subtropischen Landregionen, was eine Fortführung der aktuellen Trends bedeutet.

Für jährliche Flussabflussmengen und die Wasserverfügbarkeit wird mit *hohem Vertrauen* eine Zunahme in den hohen Breiten (sowie in einigen tropischen Feuchtgebieten) und eine Abnahme in einigen trockenen Gebieten der mittleren Breiten und der Tropen bis Mitte dieses Jahrhunderts projiziert. Auch besteht *hohes Vertrauen* darin, dass viele semi-aride Gebiete (z.B. das Mittelmeerbecken, der Westen der Vereinigten Staaten, das südliche Afrika und Nordost-Brasilien) unter einer Verringerung der Wasserressourcen aufgrund des Klimawandels zu leiden haben werden. {3.3.1, Abbildung 3.5}

Untersuchungen seit dem TAR haben ein systematischeres Verständnis des zeitlichen Auftretens und des Ausmaßes von Auswirkungen je nach unterschiedlicher Stärke und Geschwindigkeit des Klimawandels ermöglicht. {3.3.1, 3.3.2}

Beispiele für diese neuen Erkenntnisse sind in Abbildung SPM.7 für Systeme und Sektoren dargestellt. Die obere Tafel zeigt Auswirkungen, die mit zunehmender Temperaturänderung verstärkt werden. Ihr geschätztes Ausmaß und ihr zeitliches Auftreten werden auch durch den Entwicklungspfad beeinflusst (untere Tafel). {3.3.1}

Beispiele für einige projizierte Auswirkungen auf unterschiedliche Regionen sind in Tabelle SPM.2 aufgeführt.

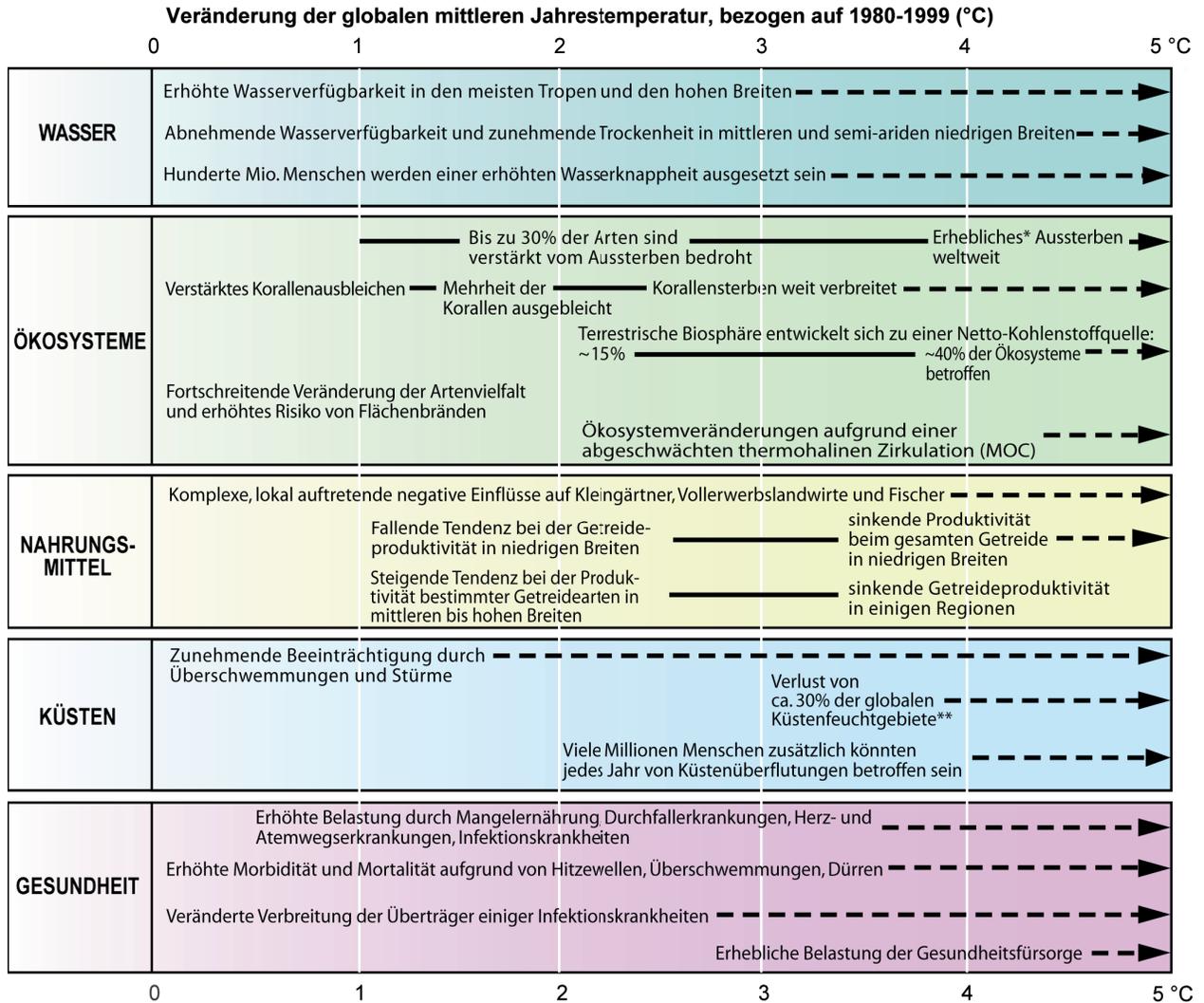
Einige Systeme, Sektoren und Regionen werden *wahrscheinlich* besonders durch Klimawandel betroffen sein¹³. {3.3.3}

Systeme und Sektoren: {3.3.3}

- Einzelne Ökosysteme:
 - Terrestrisch: Tundra, boreale Wälder und Gebirgsregionen wegen ihrer Empfindlichkeit gegenüber Erwärmung, Ökosysteme des mediterranen Typs aufgrund des Rückgangs von Niederschlägen; und tropische Regenwälder wo Niederschläge zurückgehen
 - Küstennah: Mangroven und Salzmarschen aufgrund multipler Stressfaktoren

¹³ Auf der Grundlage einer fachkundigen Beurteilung der bewerteten Literatur und unter Berücksichtigung des Ausmaßes, des Zeitpunkts und der projizierten Geschwindigkeit des Klimawandels, der Klimasensitivität und der Anpassungskapazität.

**Beispiele für Auswirkungen in Abhängigkeit von der mittleren globalen Erdoberflächenerwärmung
(Auswirkungen werden je nach Ausmaß der Anpassung, Geschwindigkeit der Temperaturänderung und
sozioökonomischem Entwicklungspfad unterschiedlich ausfallen)**



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

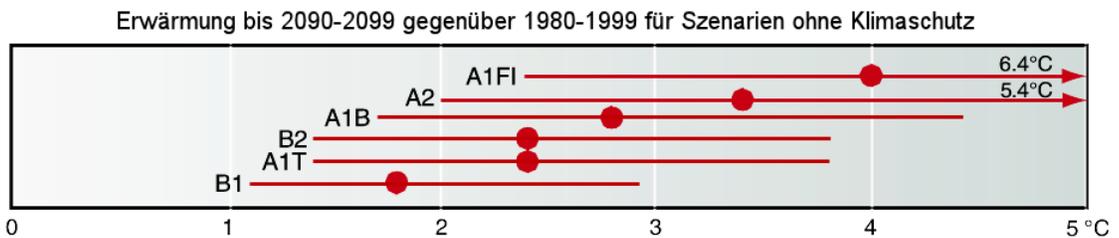


Abbildung SPM.7. Beispiele für Auswirkungen in Verbindung mit projizierten Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur. **Obere Tafel:** Illustrative Beispiele für projizierte globale Auswirkungen von Klimaänderungen (und, falls relevant, von Meeresspiegel und atmosphärischem Kohlendioxid), in Verbindung mit Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur unterschiedlichen Ausmaßes im 21. Jahrhundert. Die schwarzen Linien verbinden die Auswirkungen untereinander, die gestrichelten Pfeile zeigen die bei steigender Temperatur weiter ansteigenden 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 über die Bandbreite der SRES-Szenarien A1F1, A2, B1 und B2 projizierten Bedingungen. Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung sind in diesen Abschätzungen nicht enthalten. Für alle Aussagen besteht ein hohes Vertrauensniveau. **Untere Tafel:** Punkte und Balken geben den besten Schätzwert und die wahrscheinlichen Bandbreiten der Erwärmung an, die für die sechs SRES-Musterszenarien für den Zeitraum 2090-2099 gegenüber 1980-1999 abgeschätzt wurden. {Abbildung 3.6}

Tabelle SPM.2. Beispiele einiger projizierter regionaler Auswirkungen. {3.3.2}

Afrika	<ul style="list-style-type: none"> • Es wird projiziert, dass bis zum Jahr 2020 75 bis 250 Millionen Menschen aufgrund der Klimaänderung unter zunehmender Wasserknappheit leiden. • In einigen Ländern könnten sich die Erträge aus der vom Regen abhängigen Landwirtschaft bis 2020 um bis zu 50 % reduzieren. Für viele Länder Afrikas werden schwerwiegende Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Produktion – einschließlich des Zugangs zu Nahrungsmitteln – projiziert. Dies würde die Nahrungsmittelsicherheit weiter beeinträchtigen und die Unterernährung verschlimmern. • 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. • Bis 2080 wird in einer Reihe von Klimaszenarien eine Ausdehnung der ariden und semi-ariden Flächen in Afrika um 5-8% projiziert (TS).
Asien	<ul style="list-style-type: none"> • In Zentral-, Süd-, Ost- sowie Südostasien wird bis zu den 2050er Jahren vor allem in großen Flusseinzugsgebieten ein Rückgang des verfügbaren Süßwassers projiziert. • Für Küstengebiete, insbesondere dicht besiedelte Regionen der großen Flussdeltas in Süd-, Ost- und Südostasien, wird das Risiko für zunehmende Meeresüberflutungen und – in einigen Megadeltas – für Flussüberflutungen am größten sein. • Der Klimawandel wird, in Verbindung mit rascher Urbanisierung, Industrialisierung und wirtschaftlicher Entwicklung, voraussichtlich den Druck auf die natürlichen Ressourcen und die Umwelt erhöhen. • Endemische Krankheiten und Todesfälle infolge von – vorrangig in Verbindung mit Überschwemmungen und Dürren auftretenden – Durchfallerkrankungen werden in Ost-, Süd- und Südostasien aufgrund projizierter Änderungen des hydrologischen Kreislaufs voraussichtlich zunehmen.
Australien und Neuseeland	<ul style="list-style-type: none"> • Für einige ökologisch reiche Gebiete, wie z.B. das Great Barrier Reef und die feuchten Tropengebiete von Queensland, werden signifikante Verluste der biologischen Vielfalt bis 2020 projiziert. • 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 verstärken. • Bis zum Jahr 2030 wird die land- und forstwirtschaftliche Produktion aufgrund vermehrt auftretender Dürren und Brände in weiten Teilen Süd- und Ostaustraliens sowie in Teilen des östlichen Neuseelands voraussichtlich einen Rückgang verzeichnen. In Neuseeland hingegen werden in einigen anderen Gebieten anfängliche Vorteile projiziert. • Für einige Gebiete in Australien und Neuseeland werden durch die anhaltende Entwicklung an der Küste und den Bevölkerungszuwachs bis 2050 ein erhöhtes Risiko durch Anstieg des Meeresspiegels sowie zunehmend stärkere und häufigere Stürme und Küstenüberflutungen projiziert.
Europa	<ul style="list-style-type: none"> • Der Klimawandel wird voraussichtlich regionale Unterschiede in Europas natürlichen Ressourcen und Gütern verstärken. Zu den negativen Auswirkungen zählen ein erhöhtes Risiko durch flutartige Überschwemmungen im Landesinneren, häufigere Küstenüberschwemmungen und verstärkte Erosion (durch Unwetter und Meeresspiegelanstieg). • 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 Szenarien mit hohen Emissionen in manchen Gebieten um bis zu 60 % bis 2080) kommen. • Für Südeuropa – eine Region, die bereits heute gegenüber Klimaschwankungen anfällig 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 projiziert. • Der Klimawandel wird voraussichtlich auch das Gesundheitsrisiko durch Hitzewellen sowie die Häufigkeit von Waldbränden erhöhen.
Lateinamerika	<ul style="list-style-type: none"> • 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 Verlusts an biologischer Vielfalt.

Fortsetzung...

Tabelle SPM.2. Fortsetzung...

Lateinamerika (fortgesetzt)	<ul style="list-style-type: none"> • 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. Insgesamt wird eine steigende Anzahl der Menschen, die einem Hungerrisiko ausgesetzt sein werden, projiziert (TS; mittleres Vertrauen). • 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.
Nordamerika	<ul style="list-style-type: none"> • 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. • 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 regionalen Unterschieden. Nutzpflanzen, die nahe der oberen Temperaturgrenze ihrer entsprechenden Verbreitungsgebiete liegen oder von stark genutzten Wasserressourcen abhängen, werden voraussichtlich vor große Herausforderungen gestellt. • Städte, die bereits jetzt Hitzewellen zu verzeichnen haben, werden im Laufe des Jahrhunderts voraussichtlich häufigeren, intensiveren und länger anhaltenden Hitzewellen ausgesetzt sein, ebenso wie den damit verbundenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen. • Bevölkerung und Lebensräume in den Küstengebieten werden zunehmend durch die Auswirkungen der Klimaänderung – zusammen mit Einflüssen von Entwicklung und Verschmutzung – belastet werden.
Polarregionen	<ul style="list-style-type: none"> • Zu den wesentlichen projizierten biophysikalischen Auswirkungen zählen der Rückgang der Dicke und Ausdehnung von Gletschern, Eisschilden und Meereis sowie Veränderungen natürlicher Ökosysteme mit nachteiligen Auswirkungen für zahlreiche Organismen, wie z.B. Wandervögel, Säugetiere und Raubtiere an der Spitze der Nahrungskette. • Die zu erwartenden Auswirkungen für die menschlichen Gesellschaften der Arktis – insbesondere infolge veränderter Bedingungen von Schnee und Eis – werden laut Projektionen unterschiedlich ausfallen. • Zu den nachteiligen Auswirkungen wären Folgen für die Infrastruktur sowie für die traditionelle indigene Lebensweise zu zählen. • Für beide Polarregionen zeigen die Projektionen, dass spezifische Ökosysteme und Lebensräume durch das Eindringen von Arten infolge niedrigerer klimatischer Barrieren verwundbar sind.
Kleine Inseln	<ul style="list-style-type: none"> • 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 den Lebensunterhalt der Inselbevölkerung absichern, gefährden. • Die beispielsweise durch Erosion der Strände sowie Korallenbleiche hervorgerufene Verschlechterung des Küstenzustandes wird voraussichtlich die örtlichen Ressourcen beeinträchtigen. • Die Projektionen für zahlreiche kleine Inseln – z.B. in der Karibik und im Pazifik – zeigen, dass deren Wasserressourcen durch die Klimaänderung bis zur Mitte des Jahrhunderts auf eine Menge verringert werden, die nicht ausreicht, den Bedarf in Zeiten geringer Regenfälle zu decken. • Mit höheren Temperaturen wird voraussichtlich eine vermehrte Einwanderung nicht-heimischer Arten auftreten, vor allem auf den Inseln der mittleren und hohen Breiten.

Anmerkung:

Falls nicht ausdrücklich angegeben, stammen alle Einträge aus dem Text der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der WGII und sind Aussagen mit entweder sehr hohem oder hohem Vertrauen, die unterschiedliche Sektoren widerspiegeln (Landwirtschaft, Ökosysteme, Wasser, Küsten, Gesundheit, Industrie und Siedlungen). Die Quelle für die Aussagen, Zeitangaben und Temperaturen ist in der WGII-SPM angegeben. Das Ausmaß und der Zeitpunkt von im Endeffekt auftretenden Auswirkungen wird vom Ausmaß und der Geschwindigkeit des Klimawandels, den Emissionsszenarien, den Entwicklungspfaden und der Anpassung abhängen.

- Marin: Korallenriffe aufgrund multipler Stressfaktoren; Meereisbiome aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber Erwärmung
- Wasserressourcen in einigen trockenen Gebieten mittlerer Breite¹⁴ und in den trockenen Tropen, aufgrund von Änderungen in Niederschlag und Evapotranspiration, und in Gebieten, die von Schnee- und Eisschmelze abhängig sind.
- Landwirtschaft in Gebieten niedriger Breite aufgrund verringerter Wasserverfügbarkeit
- Tiefliegende Küstenregionen aufgrund der Bedrohung durch den Meeresspiegelanstieg und des verstärkten Risikos durch extreme Wetterereignisse
- Menschliche Gesundheit in Bevölkerungen mit geringer Anpassungskapazität.

Regionen: {3.3.3}

- Die Arktis aufgrund der Auswirkungen der hohen projizierten Erwärmungsraten auf natürliche Systeme und menschliche Gesellschaften
- Afrika aufgrund einer niedrigen Anpassungskapazität und der projizierten Auswirkungen des Klimawandels
- Kleine Inseln, auf denen die Bevölkerung und Infrastruktur durch die projizierten Auswirkungen des Klimawandels stark gefährdet sind
- Asiatische und afrikanische Megadeltas aufgrund hoher Bevölkerungszahlen und starker Gefährdung durch Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten und Flusshochwasser.

In anderen Gebieten, selbst solchen mit hohem Einkommen, können einige Menschen (z.B. die Armen, kleine Kinder und Alte) besonders gefährdet sein, genau wie einige Gebiete und Tätigkeiten. {3.3.3}

Versauerung der Ozeane

Die Aufnahme von anthropogenem Kohlenstoff seit 1750 hat – bei einer durchschnittlichen Abnahme des pH-Werts um 0,1 Einheiten – zu einer zunehmenden Versauerung des Ozeans geführt. Steigende atmosphärische CO₂-Konzentrationen führen zu einer zunehmenden Versauerung. Die auf den SRES-Szenarien basierenden Projektionen zeigen über das 21. Jahrhundert Abnahmen des mittleren globalen Meeresoberflächen-pHs um 0,14 bis 0,35 Einheiten. Obwohl die Auswirkungen der beobachteten Versauerung der Ozeane auf die Meeresbiosphäre bis jetzt noch nicht dokumentiert sind, wird erwartet, dass die fortschreitende Versauerung der Ozeane negative Auswirkungen auf marine schalenbildende Organismen (z.B. Korallen) und auf Arten, die von ihnen abhängen, hat. {3.3.4}

Es wird erwartet, dass veränderte Frequenzen und Intensitäten von extremen Wetterereignissen zusammen mit dem Meeresspiegelanstieg hauptsächlich negative Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme haben. {3.3.5}

Beispiele für ausgewählte Extreme und Sektoren sind in Tabelle SPM.3 aufgeführt.

Die anthropogene Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg würden aufgrund der Zeitskalen, die mit Klimaprozessen und Rückkopplungen verbunden sind, über Jahrhunderte andauern, selbst wenn Treibhausgaskonzentrationen stabilisiert würden. {3.2.3}

Die geschätzte langfristige Erwärmung (über mehrere Jahrhunderte) entsprechend der sechs AR4 WGIII Stabilisierungskategorien ist in Abbildung SPM.8 dargestellt.

Geschätzte langfristige Erwärmung gegenüber 1980-1999 für AR4-Stabilisierungskategorien

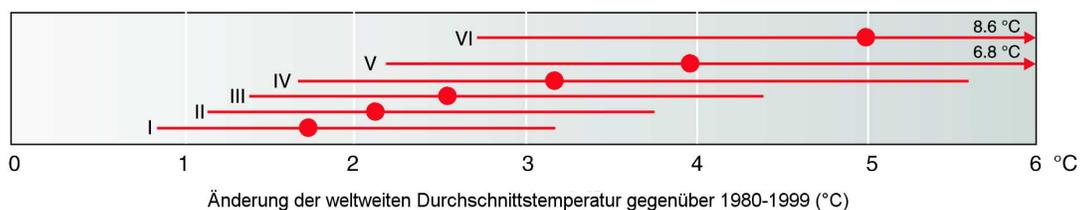


Abbildung SPM.8. Geschätzte langfristige Erwärmung (über mehrere Jahrhunderte) entsprechend der sechs AR4 WGIII Stabilisierungskategorien (Tabelle SPM.6). Die Temperaturskala ist gegenüber Tabelle SPM.6 um -0,5 °C verschoben, um ungefähr die Erwärmung zwischen vorindustrieller Zeit und 1980-1999 auszugleichen. Für die meisten Stabilisierungsniveaus nähert sich die globale Durchschnittstemperatur dem Gleichgewichtswert über ein paar Jahrhunderte an. Für THG-Emissionsszenarien, die bis 2100 zu einer Stabilisierung auf mit SRES B1 und A1B (600 und 850 CO₂-Äq. ppm; Kategorie IV und V) vergleichbaren Niveaus führen, projizieren die bewerteten Modelle, dass etwa 65-70% des geschätzten globalen Anstiegs der Gleichgewichtstemperatur unter der Annahme einer Klimasensitivität von 3 °C zum Zeitpunkt der Stabilisierung geschehen wäre. Für die deutlich niedrigeren Stabilisierungsszenarien (Kategorie I und II, Abbildung SPM.11) kann die Gleichgewichtstemperatur früher erreicht werden. {Abbildung 3.4}

¹⁴ Einschließlich arider und semi-arider Regionen

Tabelle SPM.3. Beispiele für mögliche Auswirkungen des Klimawandels durch Veränderungen extremer Wetter- und Klimaereignisse, basierend auf Projektionen für Mitte bis Ende des 21. Jahrhunderts. Nicht berücksichtigt sind etwaige Änderungen oder Entwicklungen bei der Anpassungskapazität. Die Wahrscheinlichkeitsabschätzungen in Spalte 2 beziehen sich auf die in Spalte 1 beschriebenen Phänomene. {Tabelle 3.2}

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 {WGII 4.4, 5.4}	Wasserressourcen {WGII 3.4}	Menschliche Gesundheit {WGII 8.2, 8.4}	Industrie, Siedlungen und Gesellschaft {WGII 7.4}
Über den meisten Landflächen wärmere und weniger kalte Tage und Nächte; wärmere und häufiger heiße Tage und Nächte	<i>Praktisch sicher^b</i>	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/Hitzeperioden: Zunahme der Häufigkeit über den meisten Landflächen	<i>Sehr wahrscheinlich</i>	Geringere Erträge in wärmeren Regionen durch Hitzebelastung; erhöhte Gefahr durch Flächenbrände	Erhöhter Wasserbedarf; Probleme mit der Wasserqualität, z.B. Algenblüte	Erhöhtes Risiko hitzebedingter 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	<i>Sehr wahrscheinlich</i>	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	<i>Wahrscheinlich</i>	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 Wasserkraft-erzeugung; Potenzial für Bevölkerungsmigration
Die Aktivität starker tropischer Wirbelstürme nimmt zu	<i>Wahrscheinlich</i>	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	<i>Wahrscheinlich^d</i>	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

Anmerkungen:

- Bezüglich Definitionen siehe Tabelle 3.7 im Vierten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I
- Erwärmung der extremsten Tage und Nächte jedes Jahres
- 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.
- Der projizierte mittlere globale Meeresspiegel für 2100 liegt in allen Szenarien höher als im Bezugszeitraum. Die Auswirkungen von Veränderungen der regionalen Wettersysteme auf extreme Meeresspiegel wurden nicht untersucht.

Es wird projiziert, dass der Rückgang des grönländischen Eisschildes nach 2100 fortgesetzt zum Meeresspiegelanstieg beiträgt. Aktuelle Modelle legen ein praktisch vollständiges Abschmelzen des grönländischen Eisschildes und einen daraus folgenden Meeresspiegelanstieg von etwa 7 m nahe, falls die weltweite durchschnittliche Erwärmung über Jahrtausende hinweg mehr als 1.9 bis 4.6 °C über den vorindustriellen Werten betrüge. Die entsprechenden zukünftigen Temperaturen in Grönland sind vergleichbar mit den für die letzte Zwischeneiszeit vor 125'000 Jahren geschätzten Temperaturen, für die paläoklimatische Informationen eine Reduktion der Ausdehnung der polaren Landeis Massen und einen Meeresspiegelanstieg von 4 bis 6 m nahelegen. {3.2.3}

Aktuelle globale Modellstudien projizieren, dass der antarktische Eisschild zu kalt für eine verbreitete Oberflächenschmelze bleiben wird und ein Massenzuwachs aufgrund zunehmender Schneefälle stattfinden wird. Allerdings könnte ein Netto-Eismassenverlust auftreten, falls der dynamische Eisabfluss die Massenbilanz des Eisschildes dominiert. {3.2.3}

Die anthropogene Erwärmung könnte zu einigen Auswirkungen führen, die abrupt oder irreversibel sind, je nach Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels. {3.4}

Ein partielles Abschmelzen von Eisschilden auf polaren Landmassen könnte mehrere Meter Meeresspiegelanstieg, erhebliche Änderungen von Küstenstrukturen sowie Überschwemmungen tief liegender Gebiete nach sich ziehen, wobei die Auswirkungen in Flussdeltas und tief liegenden Inseln am größten wären. Solche Änderungen treten laut Projektionen über sehr lange Zeiträume (Jahrtausende) auf, ein schnellerer Meeresspiegelanstieg über einen Zeitrahmen von Jahrhunderten kann jedoch nicht ausgeschlossen werden. {3.4}

Der Klimawandel wird *wahrscheinlich* einige irreversible Auswirkungen haben. Für etwa 20-30% der bisher untersuchten Arten besteht *wahrscheinlich* ein erhöhtes Risiko auszusterben, falls die Zunahmen der mittleren globalen Erwärmung 1,5-2,5°C (gegenüber 1980-1990) überschreiten (*mittleres Vertrauen*). Für eine globale mittlere Erwärmung von über etwa 3,5 °C deuten die Modellprojektionen auf ein signifikantes Artensterben (40-70% der untersuchten Arten) weltweit hin. {3.4}

Basierend auf aktuellen Modellrechnungen ist es *sehr wahrscheinlich*, dass sich die atlantische meridionale Um-

wälzungsströmung (MOC) während des 21. Jahrhunderts abschwächen wird; die Temperaturen über dem Atlantik und Europa werden laut Projektionen trotzdem ansteigen. 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. Es ist *wahrscheinlich*, dass die Auswirkungen großräumiger und anhaltender Änderungen der MOC 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. Änderungen der CO₂-Aufnahme an Land und in den Ozeanen können sich auf das Klimasystem rückkoppelnd auswirken. {3.4}

4. Anpassungs- und Emissionsminderungsoptionen¹⁵

Ein breites Angebot an Anpassungsmaßnahmen steht zur Verfügung, aber über die existierenden hinaus sind weitergehende Anpassungsmaßnahmen nötig, um die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel zu verringern. Es bestehen Hemmnisse, Einschränkungen und Kosten, die nicht vollständig verstanden sind. {4.2}

Gesellschaften haben sich schon seit langer Zeit an die Auswirkungen von Wetter- und Klimaereignissen angepasst. Dennoch werden zusätzliche Anpassungsmaßnahmen vonnöten sein, um die negativen Auswirkungen der projizierten Klimaänderung und –variabilität zu mindern, ungeachtet des Ausmaßes an Emissionsminderung, das über die nächsten zwei bis drei Jahrzehnte umgesetzt wird. Darüberhinaus kann die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel durch andere Stressfaktoren erhöht werden. Diese entstehen aus z.B. gegenwärtigen Klimarisiken, Armut und ungleichem Zugang zu Ressourcen, Nahrungsmittelunsicherheit, Trends der wirtschaftlichen Globalisierung, Konflikten und dem Auftreten von Krankheiten wie HIV/AIDS. {4.2}

Eine gewisse geplante Anpassung an den Klimawandel findet bereits statt, allerdings auf begrenzter Basis. Anpassung kann die Verwundbarkeit verringern, insbesondere wenn sie in breitere sektorale Initiativen eingebettet ist (Tabelle SPM.4). Es besteht ein *hohes Vertrauen* darin, dass realisierbare Anpassungsmöglichkeiten bestehen, die in einigen Sektoren zu geringen Kosten und/oder mit ho-

¹⁵ Obwohl dieser Abschnitt Anpassung und Emissionsminderung getrennt behandelt, können diese Reaktionen sich gegenseitig ergänzen. Dieses Thema wird in Abschnitt 5 diskutiert.

Tabelle SPM.4. Ausgewählte Beispiele geplanter Anpassung nach Sektoren. {Tabelle 4.1}

Sektor	Anpassungsmöglichkeit/-strategie	Zugrundeliegender politischer Rahmen	Wichtige Hemmnisse und Möglichkeiten im Rahmen der Umsetzung (normaler Schriftsatz = Hemmnisse; <i>kursiv = Möglichkeiten</i>)
Wasser	Erweiterte Regenwassernutzung; Wasserspeicherungs- und -schutztechniken; Wasserwiedernutzung; Entsalzung; Effizienz in Wassernutzung und Bewässerung	Nationale Wasserpolitik und integriertes Ressourcenmanagement; wasserbezogenes Gefahrenmanagement	Finanzielle, personelle und technische Hindernisse; <i>integriertes Wasserressourcenmanagement; Synergien mit anderen Sektoren</i>
Landwirtschaft	Anpassung von Pflanzzeiten und Ertragspflanzensorten; Umsiedlung von Ertragspflanzen; verbesserte Bodenbewirtschaftung, z.B. Erosionsbekämpfung und Bodenschutz durch Baumpflanzungen	F&E-Politik; institutionelle Reform; Grundbesitz- und Bodenreform; Schulung; Kapazitätsaufbau; Ertragsversicherung; finanzielle Anreize, z.B. Subventionen und Steuervergünstigungen	Technologische & finanzielle Hemmnisse; Zugang zu neuen Sorten; Märkte; <i>längere Wachstumsperiode in höheren Breiten; Erträge durch „neue“ Produkte</i>
Infrastruktur/Siedlung (einschl. Küstengebiete)	Umsiedlung; Deiche und Sturmflutbarrieren; Dünenverstärkung; Landgewinnung und Schaffung von Marschland/Feuchtgebieten als Puffer gegen Meeresspiegelanstieg und Überflutung; Schutz bestehender natürlicher Barrieren	Standards und Regulierungen, die die Berücksichtigung des Klimawandels in die zugehörigen Vorschriften integrieren; Landnutzungspolitik; Baugesetze; Versicherung	Finanzielle & technologische Hemmnisse; Verfügbarkeit von Raum für Umsiedlungsmaßnahmen; <i>integrierte Politik und ganzheitliches Management; Synergien mit Zielen der nachhaltigen Entwicklung</i>
Menschliche Gesundheit	Gesundheitsaktionspläne für Hitzewellen; medizinische Notfallversorgung; verbesserte Krankheitsüberwachung unter Berücksichtigung des Klimawandels und bessere Vorsorge; sauberes Wasser und verbesserte Hygiene	Öffentliche Gesundheitspolitik, die Klimarisiken berücksichtigt; Ausbau der Gesundheitsdienste; regionale und internationale Zusammenarbeit	Grenzen menschlicher Widerstandsfähigkeit (besonders anfällige Bevölkerungsgruppen); Wissensbeschränkungen; finanzielle Kapazität; <i>verbesserte Gesundheitsdienste; höhere Lebensqualität</i>
Tourismus	Erweiterung des Angebots an Tourismusattraktionen und Erweiterung der Einnahmemöglichkeiten auf dieser Basis; Verlagerung von Skipisten in höhere Lagen und auf Gletscher; Kunstschneeherstellung	Integrierte Planung (z.B. Belastbarkeit; Verbindungen mit anderen Sektoren); finanzielle Anreize, z.B. Subventionen und Steuervergünstigungen	Anziehungskraft/Vermarktung neuer Attraktionen; finanzielle und logistische Herausforderungen; mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Sektoren (z.B. könnte Kunstschneeherstellung den Energiebedarf erhöhen); <i>Erlöse aus „neuen“ Attraktionen; Einbeziehung einer größeren Zahl von Interessensvertretern</i>
Verkehr	Neuordnung/Verlegung; Planungsstandards für Straßen, Schienen und andere Infrastruktur, die Aspekte wie Erwärmung und Entwässerung technisch meistern	Einbeziehung von Aspekten des Klimawandels in die nationale Verkehrspolitik; F&E-Investitionen für besondere Situationen, z.B. Permafrostgebiete	Finanzielle & technologische Hemmnisse; Verfügbarkeit weniger anfälliger Routen; <i>verbesserte Technologien und Verknüpfung mit wichtigen Sektoren (z.B. Energie)</i>
Energie	Ausbau des Freileitungsnetzes und der Verteilungsinfrastruktur; Erdkabel für Versorgungsbetriebe; Energieeffizienz; Nutzung erneuerbarer Quellen; Verringerung der Abhängigkeit von einzelnen Energiequellen	Nationale Energiepolitik, Gesetze sowie steuerliche und finanzielle Anreize zur Förderung der Nutzung alternativer Quellen; Einbeziehung des Klimawandels in Vorgaben und Planungen	Zugang zu praktikablen Alternativen; finanzielle und technologische Hemmnisse; Akzeptanz neuer Technologien; <i>Anreize für neue Technologien; Nutzung lokaler Ressourcen</i>

Anmerkung:

Weitere Beispiele aus zahlreichen Sektoren würden Frühwarnsysteme mit einschließen.

hen Nutzen/Kosten-Verhältnissen umgesetzt werden können. Die Anzahl umfassender Abschätzungen der Kosten und Nutzen von Anpassung auf globaler Ebene ist jedoch begrenzt. {4.2, Tabelle 4.1}

Kapazität zur Anpassung hängt eng mit der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung zusammen, aber sie ist nicht gleichmäßig über und innerhalb von Gesellschaften verteilt. {4.2}

Sowohl der Umsetzung als auch der Effektivität von Anpassungsmaßnahmen steht eine Reihe von Hemmnissen entgegen. Die Anpassungskapazität ist ein dynamischer Prozess, der durch die produktive Basis einer Gesellschaft beeinflusst wird, darunter: natürliche und künstliche Anlagegegenstände, soziale Netzwerke und Berechtigungen, menschliches Kapital und Institutionen, Regierungsstrukturen, nationales Einkommen und Technologie. Vielfache klimatische und nicht-klimatische Stressfaktoren beeinflussen sie ebenfalls, genau wie die Entwicklungspolitik. Selbst Gesellschaften mit hoher Anpassungskapazität bleiben anfällig gegenüber Klimaänderungen, -schwankungen und -extremen. {4.2}

Sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Untersuchungen weisen darauf hin, dass hohe Übereinstimmung über und eine starke Beweislage für ein signifikantes wirtschaftliches Potenzial zur Minderung von globalen Treibhausgasemissionen über die nächsten Jahrzehnte bestehen, das den projizierten Zuwachs globaler Emissionen kompensieren oder die Emissionen unter die ak-

tuellen Werte senken könnte (Abbildungen SPM.9 & SPM.10)¹⁶. Während Top-down- und Bottom-up-Untersuchungen auf globaler Ebene übereinstimmen (Abbildung SPM.9), bestehen auf sektoraler Ebene erhebliche Unterschiede. {4.3}

Keine einzelne Technologie kann das gesamte Emissionsminderungspotenzial eines Sektors liefern. Das wirtschaftliche Emissionsminderungspotenzial, das im Allgemeinen größer als das Marktpotenzial zur Emissionsminderung ist, kann nur erreicht werden, wenn angemessene Maßnahmen vorhanden sind und Hemmnisse aufgehoben sind (Tabelle SPM.5). {4.3}

Bottom-up-Untersuchungen weisen darauf hin, dass Emissionsminderungsmöglichkeiten mit negativen Nettokosten das Potenzial haben, Emissionen im Jahr 2030 um etwa 6 Gt CO₂-Äq./Jahr zu senken. Dies zu realisieren erfordert, sich mit Hemmnissen bei der Umsetzung zu befassen. {4.3}

Zukünftige Entscheidungen über Investitionen in Energieinfrastruktur, für die eine Gesamtsumme von

Vergleich weltweiter wirtschaftlicher Emissionsminderungspotenziale mit projizierten Emissionszuwächsen im Jahr 2030

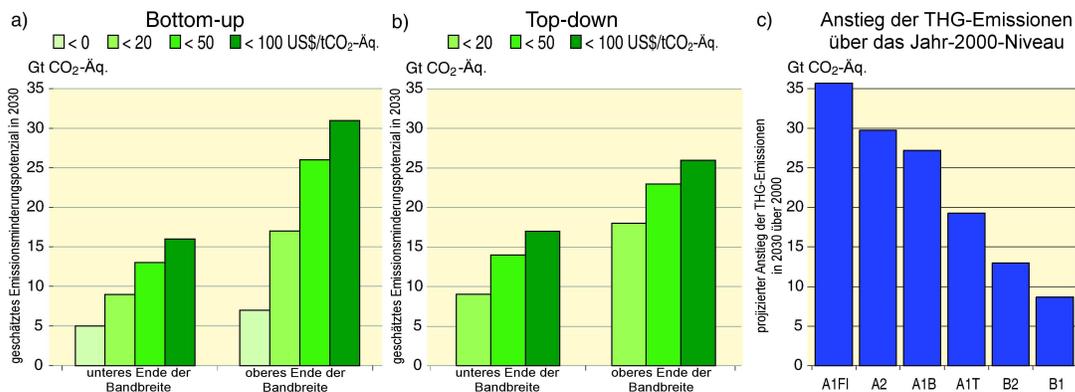


Abbildung SPM.9. Aus Bottom-up- (Tafel a) und Top-down-Untersuchungen (Tafel b) abgeschätztes weltweites wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030 im Vergleich mit den projizierten Emissionszuwächsen aus SRES-Szenarien relativ zu den THG-Emissionen im Jahr 2000 von 40,8 Gt CO₂-Äq. (Tafel c). Anmerkung: THG-Emissionen im Jahr 2000 schließen weder Emissionen aus der Zersetzung oberirdischer Biomasse, die nach Abholzung oder Entwaldung verbleibt, noch aus Torffeuern und trockengelegten Torfböden mit ein, um die Konsistenz mit den SRES-Emissionsergebnissen sicherzustellen. {Abbildung 4.1}

¹⁶ 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 zur Emissionsminderung ist das auf der Anlastung privater Kosten und Diskontraten 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.

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

Das Emissionsminderungspotenzial wird über unterschiedliche Vorgehensweisen abgeschätzt. **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. **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.

Aus Bottom-up-Untersuchungen abgeschätzte wirtschaftliche Emissionsminderungspotenziale für verschiedene Sektoren im Jahr 2030

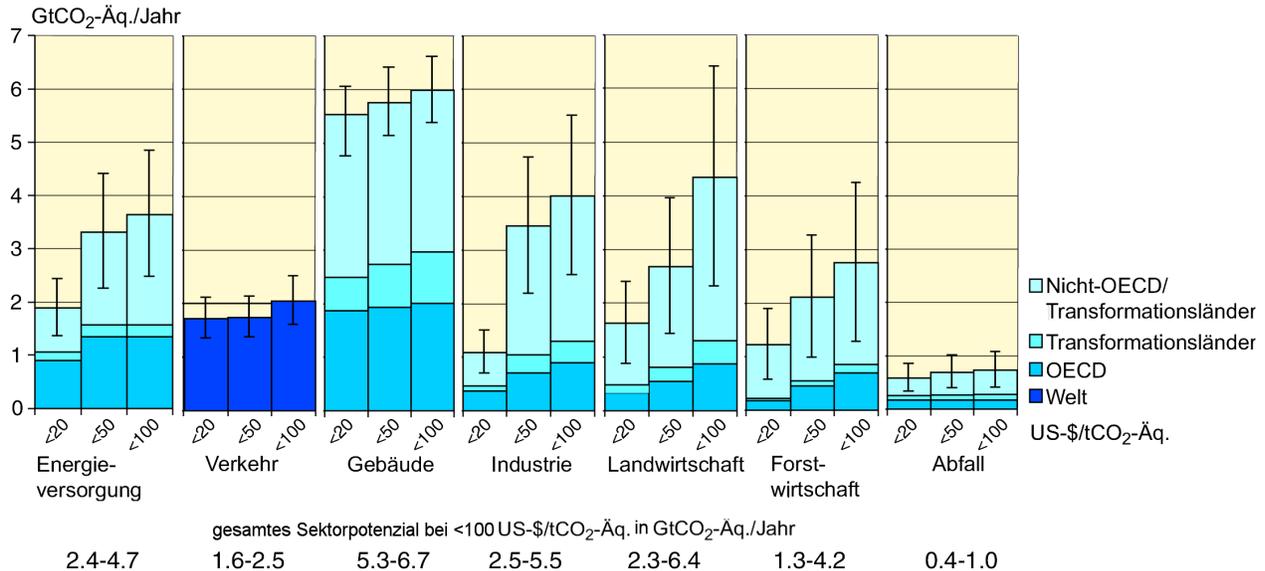


Abbildung SPM.10. Geschätztes sektorales wirtschaftliches Potenzial zur Emissionsminderung aus Bottom-up-Untersuchungen im Vergleich zu den jeweiligen Referenzwerten, die für die sektoralen Bewertungen angenommen wurden. Die Potenziale schließen keine nicht-technischen Optionen wie z.B. Lebensstiländerungen mit ein. {Abbildung 4.2}

Anmerkungen:

- 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.
- Die geschätzten Potenziale wurden durch die Verfügbarkeit von Untersuchungen, insbesondere für hohe Kohlendioxidpreinsniveaus, eingeschränkt.
- 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 abfall-spezifisches Referenzszenario zu schaffen; Land- und Forstwirtschaft basieren auf Referenzszenarien, die größtenteils SRES B2-Treibergrößen benutzten.
- Für Verkehr sind nur weltweite Gesamtwerte angegeben, da internationaler Flugverkehr mit einbezogen ist.
- Ausgeschlossene Kategorien sind: Nicht-CO₂-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%.

über 20 Billionen US-\$¹⁷ in der Zeit von 2005 bis 2030 erwartet wird, werden aufgrund der langen Nutzungsdauer von Kraftwerken und anderer Infrastruktur langfristige Auswirkungen auf THG-Emissionen haben. Die großflächige Verbreitung von kohlendioxidarmen Technologien kann Jahrzehnte dauern, selbst wenn frühe Investitionen in solche Technologien attraktiv gemacht werden. Erste Abschätzungen zeigen, dass eine Rückkehr der weltweiten energiebezogenen CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2030 auf das Niveau von 2005 eine große Umlenkung von Investitionen nötig machen würde, obwohl die zusätzlich benötigten Nettoinvestitionen von vernachlässigbar bis zu 5–10% reichen. {4.3}

Den Regierungen steht eine große Anzahl an Politiken und Instrumenten zur Verfügung, um Anreize für Emissionsminderungsmaßnahmen zu schaffen. Ihre Anwendbarkeit hängt von den nationalen Begleitumständen und dem sektoralen Kontext ab (Tabelle SPM.5). {4.3}

Dazu gehören die Einbeziehung von Klimapolitik in eine breitere Entwicklungspolitik, Regulierungen und Standards, Steuern und Gebühren, handelbare Zertifikate, finanzielle Anreize, freiwillige Vereinbarungen, Informationsmaßnahmen sowie Forschung, Entwicklung und Demonstration (FE&D). {4.3}

¹⁷ 20 Billionen = 20000 Milliarden = 20*10¹²

Tabelle SPM.5. Ausgewählte Beispiele für sektorale Schlüsseltechnologien, -politiken und -maßnahmen sowie –hemmnisse und –gelegenheiten zur Emissionsminderung.
 (Tabelle 4.2)

Sektor	Aktuell auf dem Markt befindliche Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Emissionsminderung. Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Emissionsminderung, für die eine Kommerzialisierung bis 2030 projiziert wird, sind kursiv dargestellt.	Politiken, Maßnahmen und Instrumente, die sich als umweltschädlich erwiesen haben	Wesentliche Einschränkungen oder Möglichkeiten (Normaldruck = Hemmnisse; kursiv = Möglichkeiten)
Energieversorgung	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 -Abscheidung und -speicherung (CCS; z.B. Speicherung von aus Erdgas entferntem CO ₂); CCS für gas-, biomass- oder kohlebetriebene Stromkraftwerke; weiterentwickelte Kernenergie; weiterentwickelte erneuerbare Energien, einschli. Gezeiten- und Wellenkraftwerke, solarthermische Energie (CSP – concentrating solar power) und solare Photovoltaik	Verminderung von Subventionen für fossile Brennstoffe; Steuern oder Kohlendioxidabgaben auf fossile Brennstoffe Einsparungsvergütungen für Erneuerbare-Energien-Technologien; Verpflichtungen für erneuerbare Energien; Subventionen für Produzenten	Widerstand durch Interessensgruppen aufgrund bestehender Rechte könnte die Umsetzung erschweren. Können angemessen sein, um Märkte für Niedrigemissionstechnologien zu schaffen
Verkehr	Treibstoffeffizientere Fahrzeuge; Hybridfahrzeuge; sauberere Dieselfahrzeuge; Biotreibstoffe; modale Verlagerung vom Straßenverkehr auf die Schiene und öffentliche Verkehrssysteme; nicht-motorisierter Verkehr (Fahrradfahren, Zufußgehen); Landnutzungs- und Verkehrsplanung; Biotreibstoffe zweiter Generation; effizientere Flugzeuge; weiterentwickelte Elektro- und Hybridfahrzeuge mit stärkeren und zuverlässigeren Batterien	Verpflichtende Standards für Treibstoffverbrauch, Biotreibstoffmischung und CO ₂ -Standards für den Straßenverkehr Steuern auf Fahrzeugkauf, Zulassung, Nutzung und Treibstoffe, Straßen- und Parkgebühren Mobilitätsbedürfnisse durch Flächennutzungsregelungen und Infrastrukturplanung beeinflussen; Investitionen in attraktive öffentliche Verkehrssysteme und nicht-motorisierte Verkehrsrformen	Unvollständige Erfassung der Fahrzeugflotte kann die Effektivität begrenzen Effektivität kann mit höheren Einkommen sinken Besonders geeignet für Länder, die gerade ihre Verkehrssysteme aufbauen
Gebäude	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 Kühlfüssigkeiten; Rückgewinnung und Wiederverwertung von fluorierten Gasen; Integrierte Energiekonzepte für Geschäftsbäude einschließl. Technologien wie z.B. intelligente Zähler, die Rückkopplung und Steuerung ermöglichen; in Gebäude integrierte Photovoltaik	Gerätestandards und Kennzeichnung Gebäudestandards und Zertifizierung Programme zur Nachfragesteuerung (demand-side management) Vorfunktion der öffentlichen Hand, einschli. der Beschaffung (Eco-Procurement) Anreize für Energiedienstleistungsunternehmen (ESCOs)	Regelmäßige Überarbeitung der Standards nötig Attraktiv für neue Gebäude. Durchsetzung kann schwierig sein Regulierung notwendig, so dass Versorgungsunternehmen profitieren können Regierungseinkäufe können die Nachfrage nach energieeffizienten Produkten steigern. Erfolgskriterium: Zugang zu Drittmitteln
Industrie	Effizientere elektrische Endverbraucher-ausrüstung; 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	Bereitstellung von Informationen für einen Leistungsvergleich (benchmark information); Leistungsstandards; Subventionen, Steuerergünstigungen Handelbare Zertifikate Freiwillige Vereinbarungen	Können angebracht sein, um die Etablierung der Technologien anzuregen. Beständigkeit der nationalen Politik ist wichtig im Hinblick auf internationale Wettbewerbsfähigkeit Vorhersehbare Zuteilungsmechanismen und stabile Preissignale sind wichtig für Investitionen.
Landwirtschaft	Verbessertes Management von Acker- und Weidflächen 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 ₂ O-Emissionen; gezielter Anbau von Energiepflanzen als Ersatz für fossile Brennstoffe; erhöhte Energieeffizienz; Verbesserung der Entfeerräte	Finanzielle Anreize und Regelungen für verbessertes Bodenbewirtschaftung, für die Erhaltung des Bodenkohlenstoffgehalts, für Effizienz in Düngernutzung und Bewässerung	Kann Synergie mit nachhaltiger Entwicklung und mit Verringerung der Verwundbarkeit gegenüber der Klimawandelung fördern und dadurch Hemmnisse gegen die Umsetzung überwinden.
Forstwirtschaft/Wälder	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/Böden und für die Kartierung von Landnutzungsänderungen	Finanzielle Anreize (national und international) für eine Vergrößerung der Waldfläche, eine Verringerung der Entwaldung und die Erhaltung und Bewirtschaftung von Wäldern; Landnutzungsregelungen und deren Durchsetzung	Einschränkungen sind unter anderem der Mangel an Investitionskapital und Grundgenümsstragen. Kann die Amtsbekämpfung unterstützen.
Abfall	Rückgewinnung von Methan aus Deponien; Müllverbrennung mit Energierückgewinnung; Kompostierung organischer Abfälle; kontrollierte Abwasserbehandlung; Recycling und Abfallminimierung; Methanoxidationskonsschicht (Biocover) und Biofilter für optimierte CH ₄ -Oxidation	Finanzielle Anreize für verbesserte Abfall- und Abwasserwirtschaft Anreize oder Verpflichtungen zur Nutzung erneuerbarer Energien Abfallwirtschaftsvorschriften	Können die Verbreitung von Technologien anregen. Lokale Verfügbarkeit von Brennstoff zu niedrigen Preisen Am wirkungsvollsten auf nationaler Ebene mit Durchsetzungsstrategien umgesetzt

Ein wirksames Kohlendioxid-Preissignal könnte signifikantes Emissionsminderungspotenzial in allen Sektoren realisieren. Modellstudien zeigen, dass globale Kohlendioxidpreise, die bis zum Jahr 2030 auf 20 bis 80 US-\$/t CO₂-Äq. ansteigen, mit einer Stabilisierung bei etwa 550 ppm CO₂-Äq. bis zum Jahr 2100 im Einklang stehen. Für das gleiche Stabilisierungsniveau kann induzierter Technologiewandel diese Preisspannen auf 5 bis 65 US-\$/t CO₂-Äq. im Jahr 2030 senken¹⁸. {4.3}

Es besteht *hohe Übereinstimmung* darin und eine *starke Beweislage* dafür, dass Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen zu kurzfristigen Vorteilen führen können (z.B. verbesserte Gesundheit durch geringere Luftverschmutzung), die einen erheblichen Teil der Emissionsminderungskosten aufwiegen können. {4.3}

Es besteht *hohe Übereinstimmung* darin und eine *mittlere Beweislage* dafür, 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 bleibt¹⁹. {4.3}

Länder, die fossile Brennstoffe exportieren (sowohl in Annex I- wie auch in Nicht-Annex I-Ländern) können, wie im TAR angemerkt, geringere Nachfrage und Preise sowie ein geringeres BIP-Wachstum aufgrund von Emissionsminderungsmaßnahmen erwarten. Das Ausmaß dieses „spill over“-Effekts hängt stark von den Annahmen zu politischen Entscheidungen und den Bedingungen auf dem Ölmarkt ab. {4.3}

Es bestehen auch *hohe Übereinstimmung* darüber und eine *mittlere Beweislage* dafür, dass Änderungen von Lebensstilen, Verhaltensmustern und Managementpraktiken über alle Sektoren hinweg zum Klimaschutz beitragen können. {4.3}

Es existieren viele Möglichkeiten zur Reduzierung der weltweiten THG-Emissionen über internationale Zusammenarbeit. Es besteht hohe Übereinstimmung darüber und eine starke Beweislage dafür, dass bemerkenswerte Errungenschaften der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nati-

onen (UNFCCC) und ihres Kyoto-Protokolls 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 sind, die die Basis für zukünftige Anstrengungen zur Emissionsminderung sein können. Bei der Behandlung von Anpassung innerhalb der UNFCCC gab es ebenfalls Fortschritte, und es sind weitere internationale Initiativen vorgeschlagen worden. {4.5}

Umfangreichere kooperative Anstrengungen und eine Ausweitung von Marktinstrumenten werden helfen, die weltweiten Kosten für die Erreichung eines bestimmten Minderungsziels zu senken, oder sie werden die Umweltwirksamkeit verbessern. Solche Anstrengungen 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. {4.5}

In mehreren Sektoren können Emissionsminderungsmöglichkeiten so umgesetzt werden, dass Synergien gefördert und Konflikte mit anderen Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung vermieden werden. Entscheidungen über gesamtwirtschaftliche und andere nicht klimabezogene Maßnahmen können Emissionen, die Anpassungskapazität und die Verwundbarkeit wesentlich beeinflussen. {4.4, 5.8}

Entwicklung nachhaltiger zu gestalten, kann die Kapazitäten zur Emissionsminderung und zur Anpassung stärken und Emissionen sowie die Verwundbarkeit verringern, aber der Umsetzung können Hemmnisse entgegenstehen. Andererseits ist es *sehr wahrscheinlich*, dass die Klimaänderung den Fortschritt in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung verlangsamen kann. Über die nächsten 50 Jahre könnte der Klimawandel die Erreichung der Millenniumsentwicklungsziele behindern. {5.8}

¹⁸ In diesem Bericht bewertete Untersuchungen zu Emissionsminderungsportfolios und gesamtwirtschaftlichen 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 gesamte 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. Bei der Anwendung von Ansätzen, die auf induziertem Technologiewandel basieren, auf Stabilisierungsuntersuchungen wurden signifikante Fortschritte gemacht; es verbleiben jedoch konzeptionelle Fragen. In den Modellen, die diese Ansätze aufgreifen, sind die projizierten Kosten für ein bestimmtes Stabilisierungsniveau reduziert; die Reduzierungen sind dann bei niedrigeren Stabilisierungsniveaus größer.

¹⁹ Weitere Einzelheiten sind unter Thema 4 dieses Syntheseberichts zu finden.

5. Die langfristige Perspektive

Die Festlegung, was in Bezug auf Artikel 2 der UNFCCC eine „gefährliche anthropogene Störung“ darstellt, beinhaltet Werturteile. Wissenschaft kann informierte Entscheidungen zu dieser Frage erleichtern, unter anderem indem sie Kriterien für eine Beurteilung dessen liefert, welche Verwundbarkeiten in diesem Zusammenhang als „Hauptverwundbarkeiten“ bezeichnet werden können. {Kasten „Hauptverwundbarkeiten und Artikel 2 der UNFCCC“, Thema 5}

Hauptverwundbarkeiten²⁰ können im Zusammenhang mit vielen klimasensiblen Systemen auftreten, darunter Nahrungsversorgung, Infrastruktur, Gesundheit, Wasserressourcen, Küstensysteme, Ökosysteme, globale biogeochemische Kreisläufe, Eisschilde und Zustände der ozeanischen und atmosphärischen Zirkulation. {Kasten „Hauptverwundbarkeiten und Artikel 2 der UNFCCC“, Thema 5}

Die im Dritten Sachstandsbericht festgehaltenen fünf „Gründe zur Besorgnis“ sind weiterhin ein geeigneter Rahmen für die Betrachtung von Hauptverwundbarkeiten. Diese „Gründe“ werden für stärker als im TAR erachtet. Viele Risiken werden mit höherem Vertrauensniveau identifiziert. Für einige Risiken wird ein größeres Ausmaß oder ein Auftreten bei niedrigeren Temperaturanstiegen projiziert. Das Verständnis der Beziehung zwischen Auswirkungen (Grundlage für die „Gründe zur Besorgnis“ im TAR) und Verwundbarkeit (die die Fähigkeit zur Anpassung an Auswirkungen beinhaltet) hat sich verbessert. {5.2}

Dies liegt an einer genaueren Identifizierung der Umstände, die Systeme, Sektoren und Regionen besonders verwundbar werden lassen, und an zunehmenden Hinweisen auf die Risiken sehr starker Auswirkungen in einem Zeitrahmen von mehreren hundert Jahren. {5.2}

• **Risiken für einzigartige und bedrohte Systeme.** Es gibt neue und stärkere Hinweise auf beobachtete Auswirkungen des Klimawandels auf einzigartige und bedrohte Systeme (wie z.B. polare und Hochgebirgs-gesellschaften und -ökosysteme), wobei die negativen Effekte mit weiter steigenden Temperaturen verstärkt werden. Für eine fortschreitende Erwärmung wird ein erhöhtes Risiko für Artensterben und Schäden an Ko-

rallenriffen mit höherem Vertrauen als im TAR projiziert. Für etwa 20-30% der bisher untersuchten Arten besteht *wahrscheinlich* ein erhöhtes Aussterberisiko, falls die Zunahmen der mittleren globalen Erwärmung 1,5-2,5°C gegenüber den Niveaus von 1980-1999 überschreiten (*mittleres Vertrauen*). Das Vertrauen darin, dass ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um 1-2 °C über die Werte von 1990 (etwa 1,5-2,5 °C über vorindustriellen Werten) signifikante Risiken für viele einzigartige und bedrohte Systeme, einschließlich vieler Hotspots biologischer Vielfalt, darstellt, ist gestiegen. Korallen sind gegenüber thermalem Stress verwundbar und besitzen eine geringe Anpassungskapazität. Eine Erwärmung der Meeresoberfläche um etwa 1-3 °C führt laut Projektionen zu häufigeren Korallenbleichen und großflächigem Absterben, es sei denn, es kommt zu einer thermalen Anpassung oder Akklimatisierung seitens der Korallen. Es wird eine zunehmende Verwundbarkeit von indigenen Bevölkerungsgruppen in der Arktis und von Bewohnern kleiner Inseln gegenüber einer Erwärmung projiziert. {5.2}

- **Risiken extremer Wetterereignisse.** Die Reaktionen auf einige jüngste Extremereignisse decken höhere Verwundbarkeiten auf als im TAR dargestellt. Es besteht nun ein höheres Vertrauen in die projizierten Zunahmen von Dürren, Hitzewellen und Überschwemmungen sowie deren nachteiligen Auswirkungen. {5.2}
- **Verteilung von Auswirkungen und Verwundbarkeiten.** Zwischen den Regionen bestehen erhebliche Unterschiede, und diejenigen in der schwächsten wirtschaftlichen Lage sind oft am verwundbarsten gegenüber dem Klimawandel. Es gibt zunehmend Hinweise auf eine größere Verwundbarkeit bestimmter Gruppen, wie z.B. der Armen und Alten, nicht nur in Entwicklungs- sondern auch in Industrieländern. Darüber hinaus gibt es stärkere Anzeichen dafür, dass Gebiete niedriger Breiten und mit geringerem Entwicklungsstand im Allgemeinen größeren Risiken ausgesetzt sind, z.B. in Trockengebieten und in Megadeltas. {5.2}
- **Aggregierte Auswirkungen.** Im Vergleich zum TAR wird für anfängliche marktwirtschaftliche Vorteile durch den Klimawandel ein früheres Maximum projiziert, wobei die Schäden für stärkere Ausmaße an Erwärmung größer wären. Die Nettokosten der Auswirkungen einer verstärkten Erwärmung werden laut Projektionen mit der Zeit ansteigen. {5.2}
- **Risiken großräumiger Singularitäten.** Es besteht ein *hohes Vertrauen* darin, dass eine globale Erwärmung über viele Jahrhunderte hinweg zu einem Meeresspiegelanstieg allein wegen der Wärmeausdehnung führen

²⁰ Hauptverwundbarkeiten können aufgrund einer Reihe von Kriterien in der Literatur identifiziert werden, darunter Größe, Zeitpunkt, Dauerhaftigkeit/Umkkehrbarkeit, Anpassungspotential, Verteilungsgesichtspunkte, Wahrscheinlichkeit und „Bedeutung“ der Auswirkungen.

würde, der als sehr viel größer projiziert wird, als über das 20. Jahrhundert beobachtet. Damit verbunden wären Verluste von Küstenregionen und weitere Auswirkungen. Das Verständnis darüber, dass das Risiko zusätzlicher Beiträge zum Meeresspiegelanstieg sowohl durch den Grönland- als auch möglicherweise den Antarktis-Eisschild größer sein könnte, als von Eisschildmodellen projiziert, und dass sie in einem Zeitrahmen von Jahrhunderten auftreten könnten, ist besser als im TAR. Dies beruht darauf, dass eisdynamische Prozesse, die durch neueste Beobachtungen nahegelegt werden, in den im TAR bewerteten Eisschildmodellen jedoch nicht mit einbezogen wurden, die Geschwindigkeit des Eisverlusts erhöhen könnten. {5.2}

Es besteht hohes Vertrauen darin, dass weder Anpassung noch Emissionsminderung allein alle Auswirkungen des Klimawandels verhindern können; sie können sich aber gegenseitig ergänzen und gemeinsam die Risiken des Klimawandels signifikant verringern. {5.3}

Anpassung ist kurz- und langfristig vonnöten, um die Auswirkungen der Erwärmung anzugehen, die selbst für die am niedrigsten bewerteten Stabilisierungsszenarien auftreten würde. Es bestehen Hemmnisse, Beschränkungen und Kosten, diese sind jedoch nicht vollständig verstanden. Ein unverminderter Klimawandel würde langfristig *wahrscheinlich* die Anpassungskapazität von natürlichen, bewirtschafteten und menschlichen Systemen überschreiten. Der Zeitpunkt, zu dem solche Grenzen erreicht werden könnten, wird je nach Sektor und Region unterschiedlich sein. Frühe Emissionsminderungsmaßnahmen würden eine weitere Festlegung auf langlebige kohlendioxidintensive Infrastruktur verhindern und den Klimawandel sowie die damit verbundenen Anpassungsbedürfnisse reduzieren. {5.2, 5.3}

Viele Auswirkungen können durch Emissionsminderung verringert, verzögert oder vermieden werden. Emissionsminderungsbemühungen und –investitionen über die nächsten zwei bis drei Jahrzehnte werden eine große Wirkung auf die Möglichkeiten zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsniveaus haben. Verzögerte Emissionsminderungen schränken die Möglichkeiten zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsniveaus signifikant ein und erhöhen das Risiko schwerwiegenderer Klimawirkungen. {5.3, 5.4, 5.7}

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 stattfinden²¹. {5.4}

Tabelle SPM.6 und Abbildung SPM.11 fassen die benötigten Emissionsniveaus für verschiedene Gruppen von Stabilisierungskonzentrationen und die daraus folgenden Anstiege der globalen Gleichgewichtserwärmung sowie den langfristigen Meeresspiegelanstieg allein aufgrund von Wärmeausdehnung²² zusammen. Bei hoher Klimasensitivität tritt der Zeitpunkt früher ein und das Ausmaß der Emissionsminderung fällt höher aus als bei niedriger Klimasensitivität. {5.4, 5.7}

Der Meeresspiegelanstieg ist bei Erwärmung unvermeidbar. Die Wärmeausdehnung würde unabhängig vom bewerteten Stabilisierungsniveau viele Jahrhunderte nach einer Stabilisierung der THG-Konzentrationen anhalten, was einen endgültigen Meeresspiegelanstieg erzeugen würde, der viel größer wäre als für das 21. Jahrhundert projiziert. Der endgültige Beitrag durch Verluste des Grönland-Eisschilts könnte mehrere Meter betragen und größer als durch Wärmeausdehnung sein, sollte eine Erwärmung von mehr als 1,9-4,6 °C über vorindustrielle Werte viele Jahrhunderte lang aufrecht erhalten werden. Die Reaktion der Wärmeausdehnung und der Eisschilde über lange Zeiträume hinweg weist darauf hin, dass eine Stabilisierung der THG-Konzentrationen bei oder über den heutigen Werten den Meeresspiegel über viele Jahrhunderte nicht stabilisieren würde. {5.3, 5.4}

Es besteht eine hohe Übereinstimmung darüber und eine starke Beweislage dafür, dass alle bewerteten Stabilisierungsniveaus durch die Anwendung eines Portfolios an heute verfügbaren Technologien und solchen, die wahrscheinlich in den nächsten Jahrzehnten auf den Markt kommen, erreicht werden können – unter der Annahme, dass angemessene und wirkungsvolle Anreize für ihre Entwicklung, Beschaffung, Anwendung und Verbreitung sowie für die Behandlung der damit verbundenen Hemmnisse vorhanden sind. {5.5}

Alle bewerteten Stabilisierungsszenarien stimmen jedoch darin überein, dass 60-80% der Reduzierungen im

²¹ Für die niedrigste bewertete Kategorie der Emissionsminderungsszenarien müssten die Emissionen bis 2015 ihren Höhepunkt erreicht haben, und für die höchste bis 2090 (siehe Tabelle SPM.6). Szenarien, die alternative Emissionsentwicklungspfade verwenden, zeigen wesentliche Unterschiede bezüglich der Geschwindigkeit des Klimawandels.

²² Abschätzungen der Temperaturentwicklung im Verlauf dieses Jahrhunderts sind im AR4 für die Stabilisierungsszenarien nicht verfügbar. Für die meisten Stabilisierungsniveaus nähert sich die globale Durchschnittstemperatur dem Gleichgewichtswert über ein paar Jahrhunderte an. Für die deutlich niedrigeren Stabilisierungsszenarien (Kategorie I und II, Abbildung SPM.11) kann die Gleichgewichtstemperatur früher erreicht werden.

Laufe des Jahrhunderts aus der Energieversorgung und –nutzung sowie industriellen Prozessen stammen würden, wobei Energieeffizienz in vielen Szenarien eine Schlüsselrolle spielt. Die Einbeziehung von Nicht-CO₂- und CO₂-Emissionsminderungsmöglichkeiten aus der Landnutzung und der Forstwirtschaft bietet eine größere Flexibilität und Kosteneffektivität. Niedrige Stabilisierungsniveaus machen frühe Investitionen und eine wesentlich schnellere Verbreitung und Kommerzialisierung von fortschrittlichen Niedrigemissionstechnologien nötig. {5.5}

Ohne substantielle Investitionsflüsse und effektiven Technologietransfer kann es schwierig sein, eine Emissionsminderung signifikanten Ausmaßes zu erreichen. Es ist wichtig, die Finanzierung der Mehrkosten kohlendioxid- armer Technologien zu mobilisieren. {5.5}

Die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Emissionsminderung steigen im Allgemeinen mit strikter werdenden Stabilisierungszielen (Tabelle SPM.7). Für bestimmte Länder und Sektoren weichen die Kosten erheblich vom globalen Durchschnitt ab²³. {5.6}

Im Jahr 2050 liegen die globalen gesamtwirtschaftlichen Durchschnittskosten für eine Emissionsminderung in Richtung einer Stabilisierung zwischen 710 und 445 ppm CO₂-Äq. zwischen einem Zuwachs des weltweiten BIP um 1% und einem Rückgang um 5,5% (Tabelle SPM.7). Dies entspricht einer Verlangsamung um weniger als 0,12 Prozentpunkte. {5.6}

Tabelle SPM.6. Charakteristika von post-TAR-Stabilisierungsszenarien sowie die daraus resultierende langfristige globale Gleichgewichtstemperatur und die Komponente des Meeresspiegelanstiegs ausschließlich durch Wärmeausdehnung. {Tabelle 5.1}^a

Kategorie	CO ₂ -Konzentration bei Stabilisierung (2005 = 379 ppm) ^b	CO ₂ -Äq.-Konzentration bei Stabilisierung einschließlich THG und Aerosole (2005 = 375 ppm) ^b	Jahr maximaler CO ₂ -Emissionen ^{a, c}	Änderung globaler CO ₂ -Emissionen im Jahr 2050 (% der Emissionen in 2000) ^{a, c}	Mittlerer globaler Gleichgewichtstemperaturanstieg über die vorindustriellen Werte unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität ^{d, e}	Mittlerer globaler Gleichgewichtsmeeresspiegelanstieg über die vorindustriellen Werte nur aus Wärmeausdehnung ^f	Anzahl bewerteter Szenarien
	ppm	ppm	Jahr	Prozent	°C	Meter	
I	350 - 400	445 - 490	2000 - 2015	-85 bis -50	2,0 - 2,4	0,4 - 1,4	6
II	400 - 440	490 - 535	2000 - 2020	-60 bis -30	2,4 - 2,8	0,5 - 1,7	18
III	440 - 485	535 - 590	2010 - 2030	-30 bis +5	2,8 - 3,2	0,6 - 1,9	21
IV	485 - 570	590 - 710	2020 - 2060	+10 bis +60	3,2 - 4,0	0,6 - 2,4	118
V	570 - 660	710 - 855	2050 - 2080	+25 bis +85	4,0 - 4,9	0,8 - 2,9	9
VI	660 - 790	855 - 1130	2060 - 2090	+90 bis +140	4,9 - 6,1	1,0 - 3,7	5

Anmerkungen:

- (a) Die Emissionen zur Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus, die in den hier bewerteten Emissionsminderungsstudien genannt sind, können aufgrund fehlender Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen unterschätzt sein (siehe auch Thema 2).
- (b) Atmosphärische CO₂-Konzentrationen lagen im Jahr 2005 bei 379 ppm. Die beste Schätzung der gesamten CO₂-Äq.-Konzentration für alle langlebigen THG im Jahr 2005 liegt bei etwa 445 ppm, während der entsprechende Wert inklusive des Nettoeffekts aller anthropogenen Antriebsfaktoren 375 ppm CO₂-Äq. beträgt.
- (c) Die Bandbreiten entsprechen dem Bereich vom 15. bis zum 85. Perzentil der Verteilung von post-TAR-Szenarien. CO₂-Emissionen sind ebenfalls angegeben, damit Multi-Gas-Szenarien mit Nur-CO₂-Szenarien verglichen werden können (siehe Abbildung SPM.3).
- (d) Die bestmögliche Schätzung der Klimasensitivität beträgt 3 °C.
- (e) Es ist zu beachten, dass die mittlere globale Gleichgewichtstemperatur sich 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 (siehe auch Fußnote 9).
- (f) Der Gleichgewichtsmeeresspiegelanstieg bezieht sich nur auf den Beitrag der Wärmeausdehnung der Ozeane und erreicht mindestens viele Jahrhunderte lang kein Gleichgewicht. Diese Werte sind mit relativ einfachen Klimamodellen abgeschätzt worden (ein AOGCM niedriger Auflösung und mehrere EMICs auf der Basis des besten Schätzwerts von 3 °C Klimasensitivität) und schließen keine Beiträge von schmelzenden Eisschilden, Gletschern und Eiskappen ein. Für die langfristige Wärmeausdehnung wird projiziert, dass sie zu 0,2 bis 0,6 m pro Grad Celsius globaler Durchschnittserwärmung über vorindustrielle Werte führt. (AOGCM bedeutet „Atmosphäre Ocean General Circulation Model“ (allgemeines Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell) und EMICs „Earth System Models of Intermediate Complexity“ (Erdsystemmodelle mittlerer Komplexität).)

²³ Zu mehr Einzelheiten über Kostenabschätzungen und Modellannahmen, siehe Fußnote 18.

CO₂-Emissionen und Gleichgewichtstemperaturanstiege für eine Bandbreite an Stabilisierungsszenarien

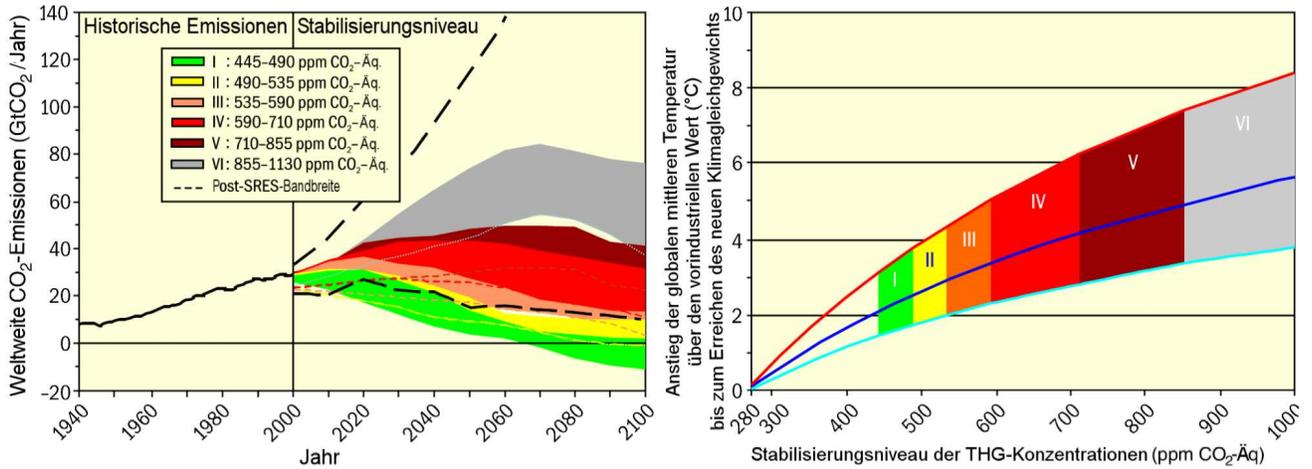


Abbildung SPM.11. Globale CO₂-Emissionen für den Zeitraum 1940-2000 und Emissionsbandbreiten für Kategorien von Stabilisierungsszenarien von 2000 bis 2100 (linke Tafel); und die entsprechende Beziehung zwischen Stabilisierungsziel und des wahrscheinlichen Anstiegs der mittleren globalen Temperatur über den vorindustriellen Wert bis zum Erreichen eines neuen Gleichgewichts (rechte Tafel). Die Annäherung an das Gleichgewicht kann mehrere Jahrhunderte dauern, insbesondere für Szenarien mit höheren Stabilisierungsniveaus. Farbige Schattierungen geben die Stabilisierungsszenarien nach unterschiedlichen Zielen gruppiert an (Stabilisierungskategorie I bis VI). Die rechte Tafel zeigt Bereiche der Änderung der mittleren globalen Temperatur oberhalb vorindustrieller Werte 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 der wahrscheinlichen Bandbreite der Klimasensitivität von 4,5°C (rote Linie am oberen Rand des gefärbten Bereichs) und (iii) der unteren Grenze der wahrscheinlichen Bandbreite der Klimasensitivität von 2 °C (blaue Linie am unteren Rand des gefärbten Bereichs). Schwarze gestrichelte Linien in der linken Tafel geben die Emissionsbandbreite neuer Referenzszenarien an, die seit dem SRES (2000) veröffentlicht wurden. Emissionsbandbreiten der Stabilisierungsszenarien umfassen Nur-CO₂- und Multi-Gas-Szenarien und entsprechen den 10.-90. Perzentilen der vollen Szenarierverteilung. Anmerkung: In den meisten Modellen schließen CO₂-Emissionen weder die Emissionen aus der Zersetzung von oberirdischer Biomasse, die nach Abholzung und Entwaldung zurückbleibt, noch aus Torffeuern und entwässerten Torfböden mit ein. {Abbildung 5.1}

Tabelle SPM.7. Geschätzte globale gesamtwirtschaftliche Kosten in 2030 und 2050. Die Kosten sind relativ zu den Referenzwerten von Mindestkosten-Trajektorien für verschiedene langfristige Stabilisierungsniveaus angegeben. {Tabelle 5.2}

Stabilisierungsniveaus (ppm CO ₂ -Äq.)	Median der BIP-Reduzierung ^a (%)		Bandbreite der BIP-Reduzierung ^b (%)		Reduzierung der durchschnittlichen jährlichen BIP-Zuwachsraten ^{c, e} (Prozentpunkte)	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
445-535 ^d	nicht verfügbar		<3	<5,5	<0,12	<0,12
535-590	0,6	1,3	0,2 bis 2,5	Leicht negativ bis 4	<0,1	<0,1
590-710	0,2	0,5	-0,6 bis 1,2	-1 bis 2	<0,06	<0,05

- Anmerkungen:
 Die in dieser Tabelle aufgeführten Werte entsprechen der gesamten Literatur quer durch alle Referenz- und Emissionsminderungsszenarien, die BIP-Beträge angeben.
 a) Dies ist weltweites BIP basierend auf Marktwechselkursen.
 b) Der Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil der untersuchten Daten ist angegeben, wo zutreffend. Negative Werte stehen für einen BIP-Gewinn. Die erste Zeile (445-535 ppm CO₂-Äq.) gibt lediglich die geschätzte Obergrenze in der Literatur an.
 c) 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.
 d) Die Anzahl der Untersuchungen ist relativ klein und sie nutzen im Allgemeinen niedrige Referenzszenarien. Hohe Referenzemissionen führen im Allgemeinen zu höheren Kosten.
 e) Die Werte entsprechen dem höchsten Schätzwert für eine BIP-Reduzierung in Spalte 3.

Eine Reaktion auf den Klimawandel erfordert einen iterativen Risikomanagementprozess, der sowohl Anpassung als auch Emissionsminderung mit einbezieht und die Schäden durch Klimawandel, positive Nebeneffekte, Nachhaltigkeit, Gerechtigkeit und Einstellungen gegenüber Risiken berücksichtigt. {5.1}

Die Auswirkungen des Klimawandels verursachen *sehr wahrscheinlich* jährliche Nettokosten, die sich mit zunehmenden globalen Temperaturen im Verlauf der Zeit immer weiter erhöhen werden. Fachlich begutachtete Abschätzungen der sozialen Kohlendioxidkosten²⁴ für 2005 betragen im Durchschnitt 12 US-\$ pro Tonne CO₂, die Bandbreite aus 100 Schätzungen ist jedoch groß (-3 US-\$ bis 95 US-\$/t CO₂). Dies liegt zum Großteil an Unterschieden in den Annahmen hinsichtlich der Klimasensitivität, Reaktionsverzögerungen, der Behandlung von Risiko und Gerechtigkeit, wirtschaftlichen und nicht-wirtschaftlichen Auswirkungen, der Einbeziehung von potenziell katastrophalen Verlusten und der Diskontraten. Aggregierte Kostenschätzungen verschleiern signifikante Unterschiede in

den Auswirkungen in verschiedenen Sektoren, Regionen und Bevölkerungen und unterschätzen *sehr wahrscheinlich* die Schadenskosten, da sie nicht-quantifizierbare Auswirkungen nicht mit einbeziehen können. {5.7}

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. {5.7}

Die Klimasensitivität stellt eine entscheidende Unsicherheit für Emissionsminderungsszenarien zu bestimmten Temperaturniveaus dar. {5.4}

Entscheidungen über das Ausmaß und den Zeitpunkt von THG-Emissionsminderung beinhalten die Abwägung wirtschaftlicher Kosten schnellerer zeitnaher Emissionsminderungen gegenüber den entsprechenden mittel- und langfristigen Klimarisiken eines Aufschubs. {5.7}

²⁴ Weltweit aggregierte und auf das angegebene Jahr diskontierte wirtschaftliche Nettokosten von Schäden durch Klimawandel.

Klimaänderung 2007: Synthesebericht

Synthesebericht

Ein Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)

Diese Zusammenfassung, im Detail auf der XXVII. IPCC-Vollversammlung (Valencia, Spanien, 12.-17. November 2007) verabschiedet, stellt die formell vereinbarte Aussage des IPCC zu den Haupteigenschaften und -unsicherheiten in den Arbeitsgruppenbeiträgen zum Vierten Sachstandsbericht dar.

Basierend auf einem Entwurf von:

Kernautorenteam

Lenny Bernstein, Peter Bosch, Osvaldo Canziani, Zhenlin Chen, Renate Christ, Ogunlade Davidson, William Hare, Saleemul Huq, David Karoly, Vladimir Kattsov, Zbigniew Kundzewicz, Jian Liu, Ulrike Lohmann, Martin Manning, Taroh Matsuno, Bettina Menne, Bert Metz, Monirul Mirza, Neville Nicholls, Leonard Nurse, Rajendra Pachauri, Jean Palutikof, Martin Parry, Dahe Qin, Nijavalli Ravindranath, Andy Reisinger, Jiawen Ren, Keywan Riahi, Cynthia Rosenzweig, Matilde Rusticucci, Stephen Schneider, Youba Sokona, Susan Solomon, Peter Stott, Ronald Stouffer, Taishi Sugiyama, Rob Swart, Dennis Tirpak, Coleen Vogel, Gary Yohe

erweitertes Autorenteam

Terry Barker

Begutachtungseditoren

Abdelkader Allali, Roxana Bojariu, Sandra Diaz, Ismail Elgizouli, Dave Griggs, David Hawkins, Olav Hohmeyer, Bubu Pateh Jallow, Lučka Kajfež-Bogataj, Neil Leary, Hoesung Lee, David Wratt

Einleitung

Einleitung

Dieser Synthesebericht basiert auf der Sachstandsbewertung der drei Arbeitsgruppen des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC). Als Schlussteil des Vierten Sachstandsberichts (AR4) des IPCC bietet er eine integrierte Darstellung des Klimawandels.

Thema 1 fasst die beobachteten Klimaänderungen und deren Auswirkungen auf menschliche und natürliche Systeme unabhängig von ihren Ursachen zusammen, während Thema 2 die Ursachen der beobachteten Änderungen bewertet. Thema 3 stellt Projektionen zukünftiger Klimaänderungen sowie damit verbundene Auswirkungen in verschiedenen Szenarien vor.

Thema 4 behandelt Möglichkeiten zur Anpassung an Klimawandel und zur Minderung des Klimawandels über die nächsten Jahrzehnte und deren Wechselwirkungen mit nachhal-

tiger Entwicklung. Thema 5 bewertet die Beziehung zwischen Anpassung und Minderung auf eher konzeptioneller Ebene und nimmt eine langfristige Perspektive an. Thema 6 fasst die wichtigsten belastbaren Ergebnisse und die verbleibenden Hauptsicherheiten dieses Sachstandsberichts zusammen.

Abbildung I.1 stellt anthropogene Antriebe und Wirkungen von sowie Reaktionen auf den Klimawandel und deren Verbindungen untereinander schematisch dar. Zur Zeit des Dritten Sachstandsberichts (TAR) in 2001 standen hauptsächlich Informationen für eine Beschreibung der Verbindungen im Uhrzeigersinn zur Verfügung, d.h. für das Herleiten von Klimaänderungen und –wirkungen aus sozioökonomischen Daten und Emissionen. Mit einem erweiterten Verständnis dieser Verbindungen ist es nun möglich, sie auch gegen den Uhrzeigersinn zu analysieren, d.h. mögliche Entwicklungspfade und weltweite Emissionsbeschränkungen zu bewerten, die das Risiko zukünftiger Auswirkungen, die man möglicherweise vermeiden möchte, verringern würden.

Schematische Darstellung von anthropogenen Antrieben und Auswirkungen des Klimawandels sowie von Reaktionen darauf

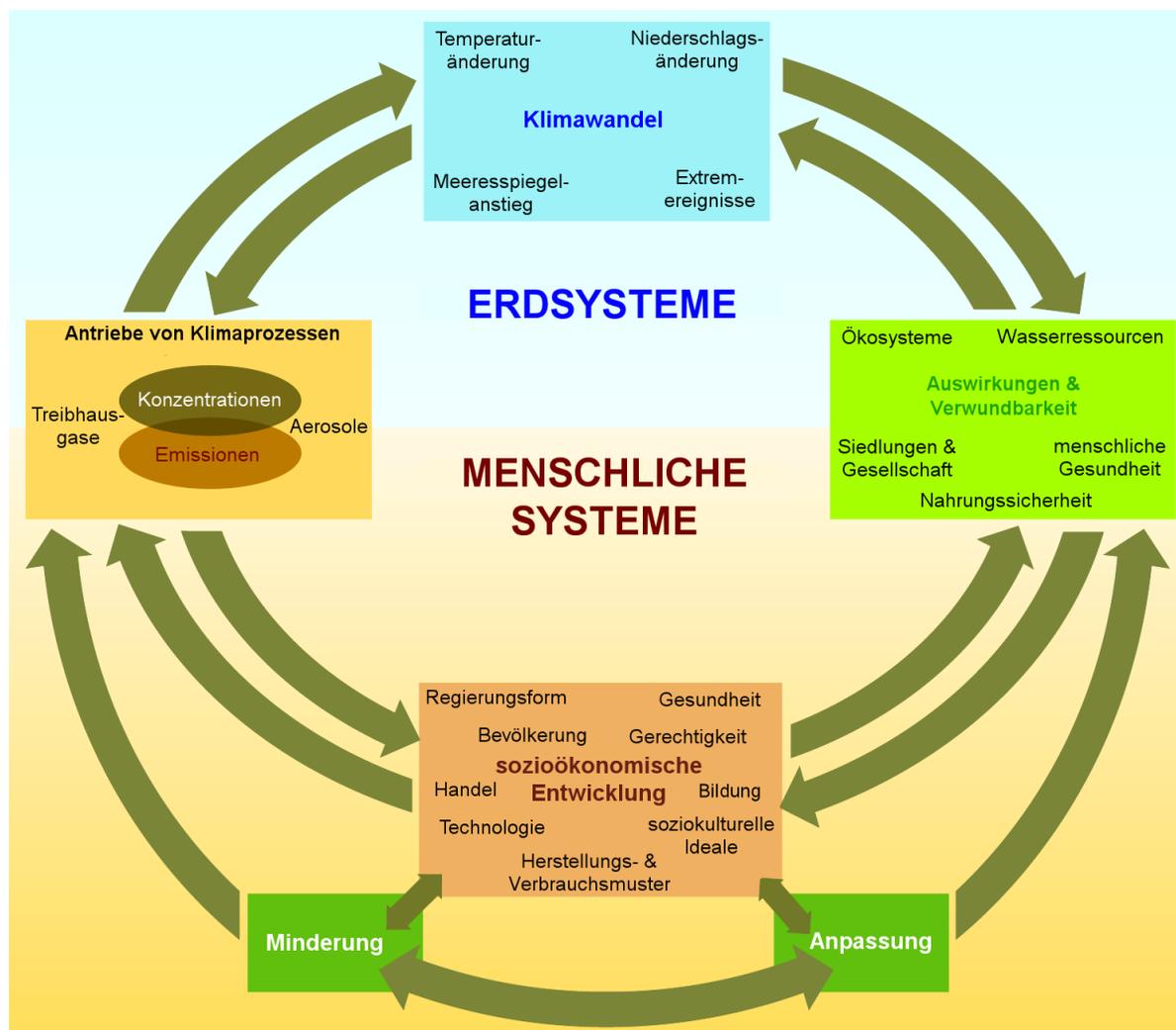


Abbildung I.1. Schematische Darstellung der anthropogenen Antriebe und Auswirkungen des Klimawandels, der Reaktionen darauf sowie deren Verbindungen untereinander.

Behandlung von Unsicherheiten

Das IPCC-Anleitungsdokument zu Unsicherheiten¹ definiert einen Rahmen für den Umgang mit Unsicherheiten in allen Arbeitsgruppen (WGs) und in diesem Synthesebericht. Dieser Rahmen ist breit, da die WGs Material aus unterschiedlichen Disziplinen bewerten und eine Vielfalt an Ansätzen aus der Literatur zur Behandlung von Unsicherheiten behandeln. Daten, Indikatoren und Analysen in den Naturwissenschaften sind im Allgemeinen von anderer Art als diejenigen, die bei der Bewertung von Technologieentwicklung oder in den Sozialwissenschaften herangezogen werden. WGI konzentriert sich auf erstere, WGIII auf letztere, und WGII deckt Aspekte von beidem ab.

Zur Beschreibung von Unsicherheiten werden drei unterschiedliche Ansätze benutzt, von denen jeder eine bestimmte Sprache anwendet. Die Auswahl unter und innerhalb von diesen drei Ansätzen hängt sowohl vom Wesen der verfügbaren Daten ab als auch von der fachkundigen Beurteilung der Richtigkeit und Vollständigkeit des aktuellen wissenschaftlichen Verständnisses durch die Autoren.

Bei einer qualitativen Abschätzung wird Unsicherheit dadurch beschrieben, dass ein relatives Gefühl vermittelt wird für die Menge und Qualität an Beweisen (d.h. Informationen aus Theorie, Beobachtungen oder Modellen, die angeben, ob eine Annahme oder Behauptung wahr oder gültig ist) und für das Ausmaß an Übereinstimmung (d.h. den Grad an Überschneidungen in der Literatur zu einem bestimmten Ergebnis). Dieser Ansatz wird von WGIII mit einer Reihe von selbsterklärenden Begriffen wie *hohe Übereinstimmung*, *starke Beweislage*; *hohe Übereinstimmung*, *mittlere Beweislage*; *mittlere Übereinstimmung*, *mittlere Beweislage*, usw. angewendet.

Bei einer quantitativeren Bewertung von Unsicherheit mittels fachkundiger Beurteilung der Richtigkeit zugrundeliegender Daten, Modelle oder Analysen wird folgende Skala angewandt, um die geschätzte Wahrscheinlichkeit für die Richtigkeit eines Ergebnisses auszudrücken: *sehr hohes Vertrauen* in mindestens 9 von 10 Fällen korrekt; *hohes Vertrauen* in etwa 8 von 10 Fällen korrekt; *mittleres Vertrauen* in etwa 5 von 10 Fällen korrekt; *geringes Vertrauen* in etwa 2 von 10 Fällen korrekt und *sehr geringes Vertrauen* in weniger als 1 von 10 Fällen korrekt.

Bei einer Einschätzung der Unsicherheit bestimmter Ergebnisse mittels fachkundiger Beurteilung und statistischer Analyse eines Beweises (z.B. Beobachtungen oder Modellergebnisse) werden folgende Wahrscheinlichkeitsbereiche verwendet, um die geschätzte Eintrittswahrscheinlichkeit auszudrücken: *praktisch sicher* >99%; *höchst wahrscheinlich* >95%; *sehr wahrscheinlich* >90%; *wahrscheinlich* >66%; *wahrscheinlicher als nicht* >50%; *etwa so wahrscheinlich wie nicht* 33% bis 66%; *unwahrscheinlich* <33%; *sehr unwahrscheinlich* <10%; *höchst unwahrscheinlich* <5%; *außergewöhnlich unwahrscheinlich* <1%.

WGII hat eine Kombination von Vertrauens- und Wahrscheinlichkeitsabschätzungen und WGI überwiegend Wahrscheinlichkeitsabschätzungen angewendet.

Der Synthesebericht folgt der Unsicherheitsabschätzung der zugrundeliegenden WGs. Falls zusammengefasste Ergebnisse auf Informationen aus mehreren WGs basieren, wird die Unsicherheitsbeschreibung jeweils übereinstimmend mit derjenigen für die Bestandteile aus den jeweiligen WG-Berichten gehalten.

Falls nicht anders angegeben, stellen Zahlenangaben in eckigen Klammern 90%-Unsicherheitsbereiche dar (d.h. es besteht eine geschätzte Wahrscheinlichkeit von 5%, dass der Wert über dem in eckigen Klammern angegebenen Bereich liegen könnte und von 5%, dass er unterhalb des Bereichs liegen könnte). Unsicherheitsbereiche liegen nicht unbedingt symmetrisch um den besten Schätzwert.

¹ Siehe <http://www.ipcc.ch/activity/uncertaintyguidancenote.pdf>

1

Beobachtete Klimaänderungen und ihre Auswirkungen

1.1 Beobachtungen von Klimaänderung

Seit dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) wurden Fortschritte im Verständnis von räumlichen und zeitlichen Klimaänderungen erzielt, die auf Verbesserungen und Ausweitungen zahlreicher Datensätze und Datenauswertungen, einer ausgedehnteren geographischen Erfassung, einem verbesserten Verständnis von Unsicherheiten sowie einer größeren Vielfalt an Messungen basieren. {WGI SPM}

Definitionen von Klimaänderung

Klimaänderung bezieht sich im Sprachgebrauch des IPCC auf eine Zustandsänderung des Klimas, die über Änderungen von Mittelwerten und/oder der Variabilität seiner Eigenschaften identifiziert werden kann (z.B. mittels statistischer Verfahren), und die über einen ausgedehnten Zeitraum bestehen bleibt, typischerweise über Jahrzehnte oder länger. Der Ausdruck bezieht sich 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 (UNFCCC), wo unter Klimaänderung eine Änderung des Klimas verstanden wird, die direkt oder indirekt menschlichen Aktivitäten zugeordnet werden kann, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommt.

Eine Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig, wie nun aus Beobachtungen der Anstiege der mittleren globalen Luft- und Meerestemperaturen, dem ausgedehnten Abschmelzen von Schnee und Eis sowie dem Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels ersichtlich ist (Abbildung 1.1). {WGI 3.2, 4.8, 5.2, 5.5, SPM}

Elf der letzten zwölf Jahre (1995–2006) gehören zu den zwölf wärmsten Jahren seit der instrumentellen Aufzeichnung der globalen Erdoberflächentemperatur² (seit 1850). Der 100-jährige lineare Trend (1906–2005) von 0,74 [0,56 bis 0,92] °C ist stärker als der entsprechende, im Dritten Sachstandsbericht (TAR) angegebene, Trend von 0,6 [0,4 bis 0,8] °C (1901–2000) (Abbildung 1.1). Der lineare Erwärmungstrend über die letzten 50 Jahre 1956–2005 (0,13 [0,10 bis 0,16] °C pro Jahrzehnt) ist fast zweimal so groß wie derjenige über die letzten 100 Jahre 1906–2005. {WGI 3.2, SPM}

Der Temperaturanstieg findet weit über den Globus verteilt statt und ist in den höheren nördlichen Breiten stärker (Abbildung 1.2). Die Durchschnittstemperaturen in der Arktis sind in den letzten 100 Jahren fast doppelt so schnell gestiegen wie

das globale Mittel. Landregionen haben sich schneller erwärmt als die Ozeane (Abbildungen 1.2 und 2.5). Beobachtungen seit 1961 zeigen, dass die Durchschnittstemperatur des Weltozeans bis in Tiefen von mindestens 3000 m angestiegen ist und dass der Ozean über 80% der dem Klimasystem zugeführten Wärme absorbiert hat. Neue Auswertungen von ballon- und satellitengestützten Temperaturmessungen in der unteren und mittleren Troposphäre zeigen ähnliche Erwärmungsraten wie die Aufzeichnungen der Erdoberflächentemperatur. {WGI 3.2, 3.4, 5.2, SPM}

Anstiege des Meeresspiegels stehen im Einklang mit der Erwärmung (Abbildung 1.1). Der mittlere globale Meeresspiegel ist in der Zeit von 1961 bis 2003 durchschnittlich um 1,8 [1,3 bis 2,3] mm pro Jahr und von 1993 bis 2003 um durchschnittlich etwa 3,1 [2,4 bis 3,8] mm pro Jahr gestiegen. Es ist unklar, ob der stärkere Anstieg von 1993–2003 eine dekadische Schwankung oder eine Zunahme des langfristigen Trends widerspiegelt. Seit 1993 waren 57% der gesamten geschätzten Einzelbeiträge zum Meeresspiegelanstieg auf die thermische Ausdehnung der Ozeane zurückzuführen, schmelzende Gletscher und Eiskappen steuerten etwa 28% bei und die Verluste polarer Eisschilde den Rest. In der Zeit von 1993 bis 2003 ist die Summe dieser Klimabeiträge innerhalb der Unsicherheiten konsistent mit dem gesamten direkt beobachteten Meeresspiegelanstieg. {WGI 4.6, 4.8, 5.5, SPM, Tabelle SPM.1}

Die beobachteten Rückgänge der Schnee- und Eisbedeckung sind ebenfalls konsistent mit der Erwärmung (Abbildung 1.1). Aus Satellitendaten seit 1978 ist ersichtlich, dass die durchschnittliche jährliche Ausdehnung des 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. Gebirgsgletscher und Schneebedeckung haben im Mittel in beiden Hemisphären abgenommen. Die maximale Ausdehnung der Fläche mit saisonal gefrorenem Boden hat in der Nordhemisphäre seit 1900 um etwa 7% abgenommen, wobei im Frühjahr Abnahmen von bis zu 15% auftreten. Die Temperaturen an der Obergrenze der Permafrostschicht sind in der Arktis seit den 1980er Jahren allgemein um bis zu 3 °C gestiegen. {WGI 3.2, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 5.5, SPM}

Auf kontinentaler und regionaler Ebene sowie auf der von Ozeanbecken wurden auch zahlreiche langfristige Änderungen anderer Klimaaspekte beobachtet. Für viele großräumige Regionen zeigen die Niederschlagsmengen Trends von 1900 bis 2005. Über diesen Zeitraum wurden signifikante Niederschlagszunahmen in östlichen Teilen von Nord- und Südamerika, in Nordeuropa und in Nord- und Zentralasien beobachtet. Niederschläge im Sahel, dem Mittelmeerraum, dem südlichen Afrika und in Teilen von Südasien haben abgenommen. Die von Dürre bedrohte Fläche hat *wahrscheinlich*³ seit den 1970er Jahren weltweit zugenommen. {WGI 3.3, 3.9, SPM}

Die Häufigkeit und/oder Intensität einiger extremer Wetter-

² Anmerkung der deutschen Redaktion: Erdoberflächentemperatur ist der Durchschnitt der bodennahen Lufttemperatur über dem Land und der Meeresoberflächentemperatur. {WGI SPM}

³ Kursiv gesetzte Aussagen über Wahrscheinlichkeit und Vertrauensniveaus sind Ausdrücke aus einer festgelegten Skala für Unsicherheiten und Vertrauensniveaus. Diese Ausdrücke werden im Kasten „Behandlung von Unsicherheiten“ in der Einleitung erläutert.

Änderungen von Temperatur, Meeresspiegel und nordhemisphärischer Schneebedeckung

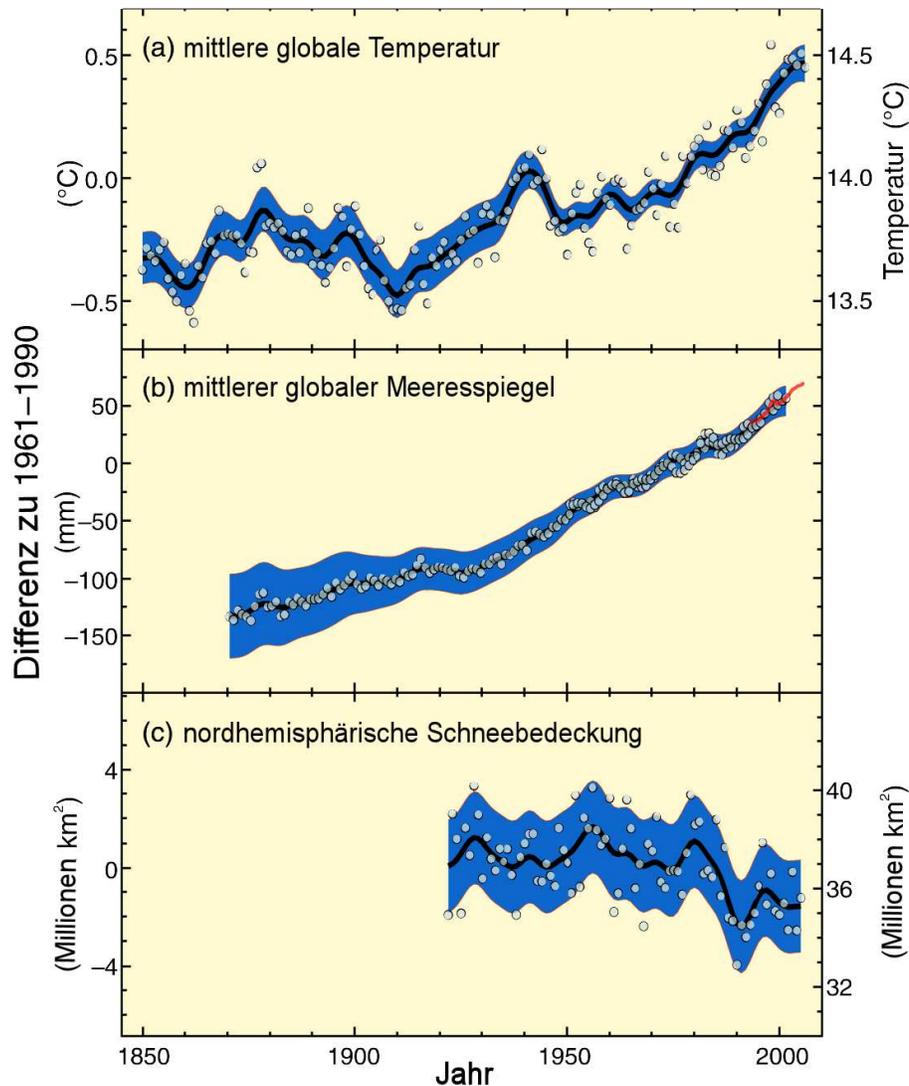


Abbildung 1.1. Beobachtete Änderungen (a) der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur; (b) des mittleren globalen Meeresspiegels aus Pegelmessungen (blau) und Satellitendaten (rot) und (c) der nordhemisphärischen Schneebedeckung im März und April. Alle Abweichungen beziehen sich auf die entsprechenden Mittelwerte 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). {WGI FAQ 3.1 Abbildung 1, Abbildung 4.2 und Abbildung 5.13, Abbildung SPM.3}

ereignisse hat sich über die letzten 50 Jahre verändert:

- Kalte Tage, kalte Nächte und Frost sind *sehr wahrscheinlich* über den meisten Landgebieten weniger häufig aufgetreten, wohingegen heiße Tage und heiße Nächte häufiger geworden sind. {WGI 3.8, SPM}
- Hitzewellen sind *wahrscheinlich* über den meisten Landgebieten häufiger geworden. {WGI 3.8, SPM}
- Die Häufigkeit schwerer Niederschlagsereignisse (oder der Anteil schwerer Regenfälle an der gesamten Regenmenge) hat *wahrscheinlich* in den meisten Gegenden zugenommen. {WGI 3.8, 3.9, SPM}

- Das Auftreten von extrem hohem Meeresspiegel⁴ hat *wahrscheinlich* seit 1975 an vielen Stellen weltweit zugenommen. {WGI 5.5, SPM}

Beobachtungen belegen eine zunehmende Aktivität starker tropischer Wirbelstürme im Nordatlantik seit ungefähr 1970. 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 seit etwa 1970 erschweren die Erkennung von langfristigen Trends in der Aktivität tropischer Wirbelstürme. {WGI 3.8, SPM}

⁴ Ausgenommen Tsunamis, die nicht auf den Klimawandel zurückzuführen sind. Extrem hoher Meeresspiegel hängt vom durchschnittlichen Meeresspiegel und regionalen Wettersystemen ab. Er ist hier definiert als das höchste 1% der stündlichen, an einer Station beobachteten Meeresspiegel für einen bestimmten Bezugszeitraum.

Die mittleren Temperaturen auf der Nordhalbkugel waren in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts *sehr wahrscheinlich* höher als während jedes anderen 50-Jahr-Abschnitts der letzten 500 Jahre und *wahrscheinlich* die höchsten in zumindest den letzten 1300 Jahren. {WGI 6.6, SPM}

1.2 Beobachtete Auswirkungen von Klimaänderungen

Die hier vorliegenden Aussagen basieren größtenteils auf Datensätzen, die den Zeitraum seit 1970 erfassen. Die Anzahl an Untersuchungen über beobachtete Trends in der physikalischen und biologischen Umwelt und deren Beziehung zu regionalen Klimaänderungen ist seit dem TAR 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. {WGII SPM}

Diese Untersuchungen haben eine, im Vergleich zum TAR, umfassendere und sicherere 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“. {WGII SPM}

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

Es besteht *hohes Vertrauen* darin, dass natürliche Systeme verbunden mit Eis-, Schneebedeckung und gefrorenem Boden (inklusive Permafrost) betroffen sind. Beispiele dafür sind:

- Vergrößerung und vermehrte Anzahl von Gletscherseen {WGII 1.3, SPM}
- Erhöhte Bodeninstabilität in Permafrostgebieten sowie Bergstürze in Gebirgsregionen {WGII 1.3, SPM}
- Veränderungen in einigen arktischen und antarktischen Ökosystemen, einschließlich Veränderungen von Meereisbiomen, sowie bei Raubtieren an der Spitze der Nahrungskette {WGII 1.3, 4.4, 15.4, SPM}

Aufgrund einer zunehmenden Zahl an Hinweisen besteht *hohes Vertrauen* darin, dass folgende Auswirkungen in hydrologischen Systemen eintreten: Erhöhter Abfluss und früher eintretende Abflusshöchstmengen im Frühjahr bei zahlreichen von Gletschern und Schnee gespeisten Flüssen; Erwärmung von Seen und Flüssen in vielen Regionen mit Auswirkungen auf die thermische Struktur und die Wasserqualität. {WGII 1.3, 15.2, SPM}

Basierend auf zusätzlichen Hinweisen aus einem breiteren Artenspektrum besteht ein *sehr hohes Vertrauen* darüber, dass

terrestrische biologische Systeme von der jüngsten Erwärmung stark betroffen sind – einschließlich solcher Veränderungen wie: Früheres Eintreten von Prozessen im Frühjahr wie z.B. Blattentfaltung, Vogelzug und Eiablage; Verschiebung der geografischen Verbreitungsgebiete von Pflanzen- und Tierarten polwärts und in höhere Lagen. Satellitenbeobachtungen seit den frühen 1980er Jahren begründen ein *hohes Vertrauen* darin, dass in vielen Gebieten in Zusammenhang mit längeren thermischen Vegetationsperioden aufgrund der jüngsten Erwärmung ein Trend zum früheren „Ergrünen“ der Vegetation im Frühling bestand. {WGII 1.3, 8.2, 14.2, SPM}

Umfangreiche neue Hinweise haben zu einem *hohen Vertrauen* darin geführt, dass zwischen den in biologischen Meeres- und Süßwassersystemen beobachteten Veränderungen und den ansteigenden Wassertemperaturen sowie den damit verbundenen Veränderungen der Eisdecke, der Salz- und Sauerstoffgehalte und der ozeanischen Zirkulation ein Zusammenhang besteht. Dies beinhaltet: Verschiebungen geografischer Verbreitungsgebiete sowie Veränderungen des Auftretens von Algen, Plankton und Fischen in den Ozeanen der hohen Breiten; Zunahme der Algen- und Zooplanktonmengen in höher gelegenen Seen sowie in Seen der hohen Breiten; Veränderungen der Verbreitungsgebiete und frühzeitigere Wanderungen von Fischen in Flüssen. Obwohl es zunehmend Beweise für Auswirkungen des Klimawandels auf Korallenriffe gibt, ist es schwierig, die Auswirkungen klimabezogener Belastungen von anderen Belastungen (z.B. Überfischung und Verschmutzung) zu unterscheiden. {WGII 1.3, SPM}

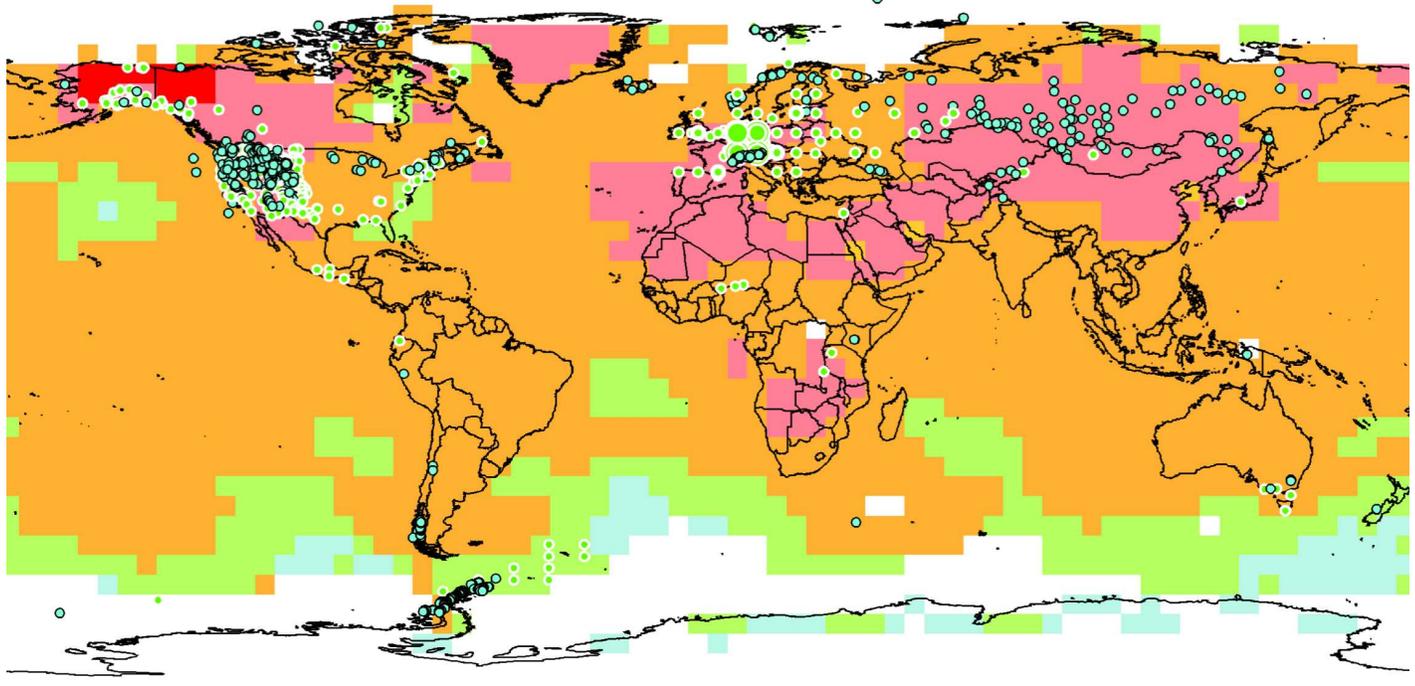
Weitere Auswirkungen regionaler Klimaänderungen auf die natürliche und menschliche Umwelt zeichnen sich ab, obwohl sie aufgrund von Anpassung und nicht-klimatischen Antriebselementen schwer zu erkennen sind. {WGII SPM}

Auswirkungen von Temperaturerhöhungen wurden in den folgenden bewirtschafteten und menschlichen Systemen dokumentiert (*mittleres Vertrauen*):

- Land- und Forstwirtschaft in den hohen Breiten der nördlichen Hemisphäre, wie z.B. frühere Auspflanzung von Feldfrüchten im Frühjahr sowie Veränderungen der Störungsregimes von Wäldern infolge von Bränden und Schädlingsbefall {WGII 1.3, SPM}
- Einige Aspekte der menschlichen Gesundheit, wie z.B. übersteigerte hitzebedingte Sterblichkeit in Europa, Veränderungen bei Überträgern von Infektionskrankheiten in einigen Gebieten Europas und ein früherer Beginn sowie eine Zunahme bei der saisonalen Produktion allergener Pollen in den hohen und mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre {WGII 1.3, 8.2, 8.ES, SPM}
- Einige menschliche Aktivitäten in der Arktis (z.B. Jagd und verkürzte Saison für Verkehr über Schnee- und Eisflächen) und in tiefer liegenden alpinen Gebieten (z.B. Berg- und Wintersport). {WGII 1.3, SPM}

In zahlreichen Gebieten tragen der Anstieg des Meeresspiegels und die menschliche Entwicklung gemeinsam zu Verlusten

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

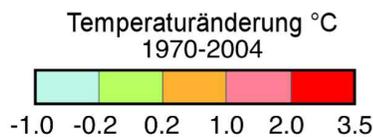


NAM		LA		EUR ^{28,115}		AFR		AS		ANZ		PR*		TER ^{28,586}		MFW**		GLO ^{28,671}	
355	455	53	5	119	28,115	5	2	106	8	6	0	120	24	764	28,586	1	85	765	28,671
94%	92%	98%	100%	94%	89%	100%	100%	96%	100%	100%	—	91%	100%	94%	90%	100%	99%	94%	90%

Beobachtete Datenreihen

- Physikalische Systeme (Schnee, Eis und gefrorener Boden; Hydrologie; Küstenprozesse)
- Biologische Systeme (terrestrische, Meer- und Süswassersysteme)

Europa ***	
○	1-30
○	31-100
○	101-800
○	801-1,200
○	1,201 -7,500



physikalisch	biologisch
Zahl der signifikanten beobachteten Änderungen	Zahl der signifikanten beobachteten Änderungen
Anteil jener Änderungen in Prozent, die mit der Erwärmung im Einklang stehen	Anteil jener Änderungen in Prozent, die mit der Erwärmung im Einklang stehen

* Polarregionen beinhalten auch beobachtete Veränderungen biologischer Meer- und Süswassersysteme.

** Meer- und Süswasser beinhaltet beobachtete Veränderungen in einzelnen und sich über grosse Flächen erstreckenden Gebieten in Ozeanen, auf kleinen Inseln und Kontinenten. Gebiete grossräumiger Änderungen im Meer sind auf der Karte nicht dargestellt.

*** Die Kreise in Europa stellen 1 bis 7'500 Datenreihen dar.

Abbildung 1.2. 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 Süswassersysteme) und Veränderungen der Erdoberflächentemperaturen im Zeitraum 1970-2004. Von etwa 80.000 Datenreihen aus 577 Studien wurde ein Teilsatz von ungefähr 29.000 Datenreihen ausgewählt. Diese Datenreihen entsprechen 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 Süswasser [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 Süswassersysteme (MFR) nicht mit einschließen. Gebiete großräumiger Änderungen im Meer sind auf der Karte nicht dargestellt. {WGII Abbildung SPM.1, Abbildung 1.8, Abbildung 1.9; WGI Abbildung 3.9b}

von Küstenfeuchtgebieten und Mangroven sowie zu steigenden Schäden infolge von Küstenüberflutungen bei. Auf der Basis veröffentlichter Literatur haben sich die Auswirkungen jedoch noch nicht als feste Trends etabliert. *{WGII 1.3, 1.ES, SPM}*

1.3 Änderungen in physikalischen und biologischen Systemen im Einklang mit Erwärmung

Veränderungen im Ozean und an Land, darunter die beobachteten Rückgänge von Schneebedeckung und Meereisausdehnung auf der Nordhalbkugel, dünneres Meereis, kürzeres Zufrieren von Seen und Flüssen, Gletscherschmelze, Rückgänge in der Permafrostausdehnung, Zunahme von Bodentemperaturen und Temperaturprofilen in Bohrlöchern sowie der Meeresspiegelanstieg, liefern zusätzliche Hinweise darauf, dass sich die Welt erwärmt. *{WGI 3.9}*

Von den über 29.000 Beobachtungsdatensätzen aus 75 Untersuchungen, die signifikante Veränderung in vielen physikalischen und biologischen Systemen zeigen, stehen über 89% in Einklang mit der Änderungsrichtung, wie sie als Reaktion auf eine Erwärmung zu erwarten wäre (Abbildung 1.2). *{WGII 1.4, SPM}*

1.4 Bei einigen Klimaaspekten wurden keine Veränderungen beobachtet

Einige klimatische Aspekte scheinen sich nicht verändert zu haben, und bei einigen kann aufgrund inadäquater Daten nicht festgestellt werden, ob sie sich verändert haben. Die Ausdehnung des antarktischen Meereises zeigt Schwankungen von Jahr zu Jahr sowie örtlich begrenzte Veränderungen, aber keine statistisch signifikanten mittleren Trends über mehrere Jahrzehnte. Dies steht im Einklang mit der Tatsache, dass die über den Kontinent gemittelten Temperaturen in der Atmosphäre nahe der Erdoberfläche keinen Anstieg zeigen. Die Beweislage für das Bestehen von Trends in anderen Variablen, wie z.B. der meridionalen Zirkulation des globalen Ozeans oder kleinskaligen Phänomenen wie Tornados, Hagel, Blitz oder Staubstürmen, ist ungenügend. Es besteht kein klarer Trend in der jährlichen Anzahl tropischer Wirbelstürme. *{WGI 3.2, 3.8, 4.4, 5.3, SPM}*

2

Ursachen für Änderungen

Ursachen für Änderungen

Dieses Thema behandelt sowohl natürliche als auch anthropogene Antriebe von Klimawandel einschließlich der Kette von den Treibhausgas- (THG-)emissionen über atomosphärische Konzentrationen und Strahlungsantrieb⁵ bis hin zu klimatischen Reaktionen und Auswirkungen.

2.1 Emissionen langlebiger Treibhausgase

Der Strahlungsantrieb des Klimasystems wird durch die langlebigen THG bestimmt; dieser Abschnitt behandelt diejenigen, deren Emissionen durch die UNFCCC abgedeckt sind.

Die weltweiten Treibhausgasemissionen sind aufgrund menschlicher Aktivitäten seit der vorindustriellen Zeit angestiegen. Dabei beträgt die Zunahme zwischen 1970 und 2004 70% (Abbildung 2.1)⁶. {WGIII 1.3, SPM}

Emissionen und Konzentrationen von Kohlendioxid-äquivalenten (CO₂-Äq.)

Treibhausgase unterscheiden sich hinsichtlich ihres erwärmenden Einflusses (Strahlungsantrieb) auf das globale Klimasystem aufgrund ihrer unterschiedlichen Strahlungseigenschaften und Lebensdauern in der Atmosphäre. Diese erwärmenden Einflüsse können durch eine gemeinsame Maßeinheit auf der Basis des Strahlungsantriebs von CO₂ ausgedrückt werden.

- **CO₂-äquivalente Emission** ist die Menge an CO₂-Emission, die über einen bestimmten Zeitraum den selben, über die Zeit integrierten, Strahlungsantrieb erzeugen würde wie eine emittierte Menge eines langlebigen THG oder einer Mischung von THGs. Die äquivalente CO₂-Emission wird ermittelt, indem die Emission eines THG mit seinem Globalen Erwärmungspotenzial (GWP) für den festgelegten Zeitraum multipliziert wird⁷. Für eine Mischung von THGs wird sie ermittelt, indem die äquivalenten CO₂-Emissionen für jedes einzelne Gas addiert werden. Äquivalente CO₂-Emission stellt einen Standard und eine nützliche Maßeinheit für den Vergleich von Emissionen unterschiedlicher THGs dar, bedeutet jedoch nicht die gleichen Reaktionen bezüglich einer Klimaänderung (siehe WGI 2.10).
- **CO₂-äquivalente Konzentration** ist die Konzentration an CO₂, die den gleichen Betrag an Strahlungsantrieb erzeugen würde wie eine bestimmte Mischung aus CO₂ und anderen strahlungswirksamen Bestandteilen⁸.

CO₂ ist das wichtigste anthropogene THG. Seine jährlichen Emissionen stiegen von 1970 bis 2004 um etwa 80%, von 21 auf 38 Gt, und entsprachen 77% der gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004 (Abbildung 2.1). Die Zuwachsrate der Emissionen von CO₂-Äquivalenten war während des vergangenen 10-Jahres-Abschnitts von 1995-2004 erheblich größer (0,92 Gt CO₂-Äq. pro Jahr) als während des vorhergehenden Abschnitts von 1970-1994 (0,43 Gt CO₂-Äq. pro Jahr). {WGIII 1.3, TS.1, SPM}

Der größte Zuwachs an THG-Emissionen zwischen 1970 und 2004 stammte aus den Sektoren Energieversorgung, Verkehr und Industrie, während die Sektoren Wohn- und Betriebsgebäude, Forstwirtschaft (einschließlich Entwaldung) und Landwirtschaft langsamer wuchsen. Die sektoralen Quellen von Treibhausgasen im Jahr 2004 sind in Abbildung 2.1c dargestellt. {WGIII 1.3, SPM}

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 CO₂-Emissionen. Die langfristige Entwicklung abnehmender Kohlendioxidemissionen pro Einheit an bereitgestellter Energie kehrte sich nach dem Jahr 2000 um. {WGIII 1.3, Abbildung SPM.2, SPM}

Unterschiede zwischen Ländern bezüglich der pro Kopf-Einkommen, der pro Kopf-Emissionen und der Energieintensität bleiben signifikant. 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}) und waren für 46% der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich (Abbildung 2.2). {WGIII 1.3, SPM}

2.2 Antriebe des Klimawandels

Änderungen der atmosphärischen THG- und Aerosolkonzentrationen, der Landnutzung und der Sonneneinstrahlung verändern die Energiebilanz des Klimasystems und treiben den Klimawandel an. Sie beeinflussen die Absorption, Streuung und Emission von Strahlung innerhalb der Atmosphäre und an der Erdoberfläche. Die resultierenden positiven oder negativen Änderungen in der Energiebilanz aufgrund dieser Faktoren werden in Form des Strahlungsantriebs⁵ ausgedrückt, der für den Vergleich von wärmenden oder kühlenden Einflüssen auf das Weltklima herangezogen wird. {WGI TS.2}

⁵ 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 Anzeichen für die Bedeutung eines Faktors als potentieller Klimaänderungsmechanismus. In diesem Bericht sind Werte für den Strahlungsantrieb bezogen auf Änderungen gegenüber vorindustrieller Werte (definiert im Jahr 1750) und werden in Watt pro Quadratmeter (W/m²) ausgedrückt.

⁶ Beinhaltet nur CO₂, CH₄, N₂O, H-FKW, FKWs und SF₆, deren Emissionen durch die UNFCCC abgedeckt sind. Diese THGs sind entsprechend ihres auf 100 Jahre bezogenen Globalen Erwärmungspotenzials (GWP) gewichtet, wobei Werte verwendet wurden, die mit der Berichterstattung im Rahmen der UNFCCC konsistent sind.

⁷ Dieser Bericht nutzt auf 100 Jahre bezogene GWPs und Zahlenangaben, die mit der UNFCCC konsistent sind.

⁸ Solche Angaben können entweder ausschließlich THG oder eine Kombination aus THG und Aerosolen berücksichtigen.

Globale anthropogene THG-Emissionen

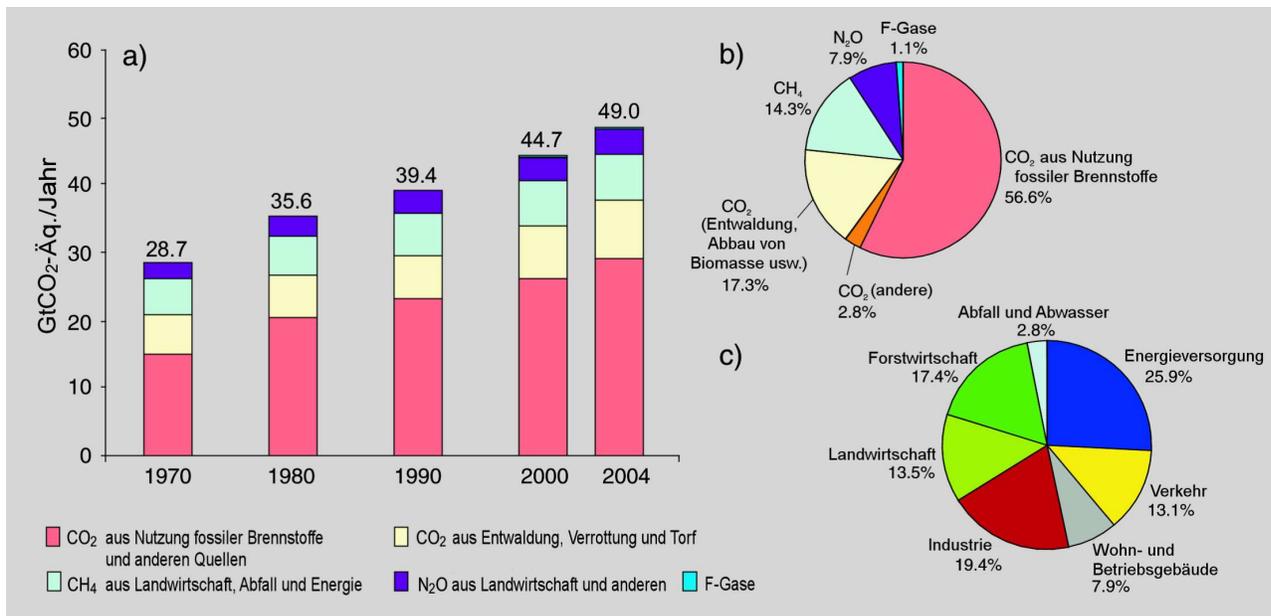


Abbildung 2.1. (a) Weltweite jährliche Emissionen anthropogener Treibhausgase von 1970 bis 2004⁶. (b) Anteil unterschiedlicher anthropogener THGs an den Gesamtemissionen im Jahr 2004 als CO₂-Äq. (c) Anteil unterschiedlicher Sektoren an den gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004 als CO₂-Äq. (Forstwirtschaft schließt Entwaldung mit ein). {WGIII Abbildungen TS 1a, TS 1b, TS 2b}

Regionale Verteilung von THG-Emissionen nach Bevölkerung und nach BIP_{KKP}

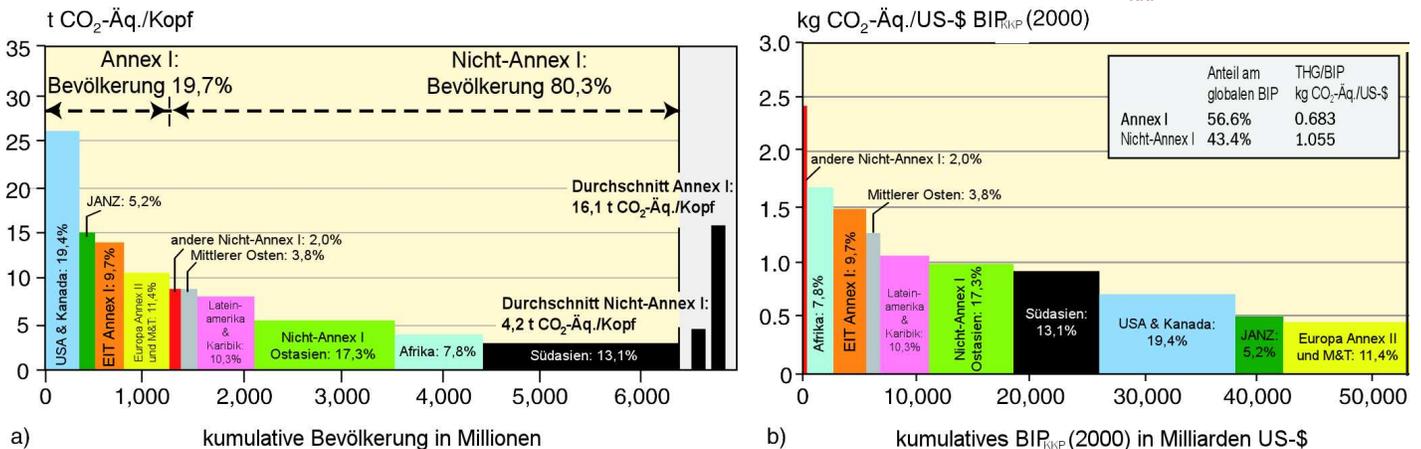


Abbildung 2.2. (a) Verteilung der regionalen pro Kopf-THG-Emissionen über die Bevölkerung verschiedener Ländergruppen im Jahr 2004 (siehe Anhang hinsichtlich der Definitionen von Ländergruppen). (b) Verteilung der regionalen THG-Emissionen pro US-\$ des BIP_{KKP} über das BIP verschiedener Ländergruppen im Jahr 2004. Die Prozentangaben in den Balken beider Tafeln geben den Anteil der jeweiligen Region an den weltweiten THG-Emissionen an. {WGIII Abbildungen SPM.3a, SPM.3b}

Menschliche Aktivitäten erzeugen Emissionen vier langlebiger Treibhausgase: CO₂, Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) und halogenierter Kohlenwasserstoffe (eine Gruppe von Gasen, die Fluor, Chlor oder Brom enthalten). Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre steigen, wenn deren Emissionen größer als die Beseitigungsprozesse sind.

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 (Abbildung

2.3). Die atmosphärischen CO₂- und CH₄-Konzentrationen im Jahr 2005 übertreffen die natürliche Bandbreite der letzten 650.000 Jahre bei Weitem. Globale Anstiege der CO₂-Konzentrationen sind vor allem auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zurückzuführen, wobei Landnutzungsänderungen einen weiteren signifikanten, aber kleineren Teil beitragen. Der beobachtete Anstieg der CH₄-Konzentrationen geht sehr wahrscheinlich vor allem auf Landwirtschaft und die Nutzung fossiler Brennstoff zurück. Der Anstieg der N₂O-Konzentration ist vor allem auf die Landwirtschaft zurückzuführen {WGI 2.3, 7.3, SPM}

Änderungen der Treibhausgase basierend auf Eisbohrkernen und modernen Daten

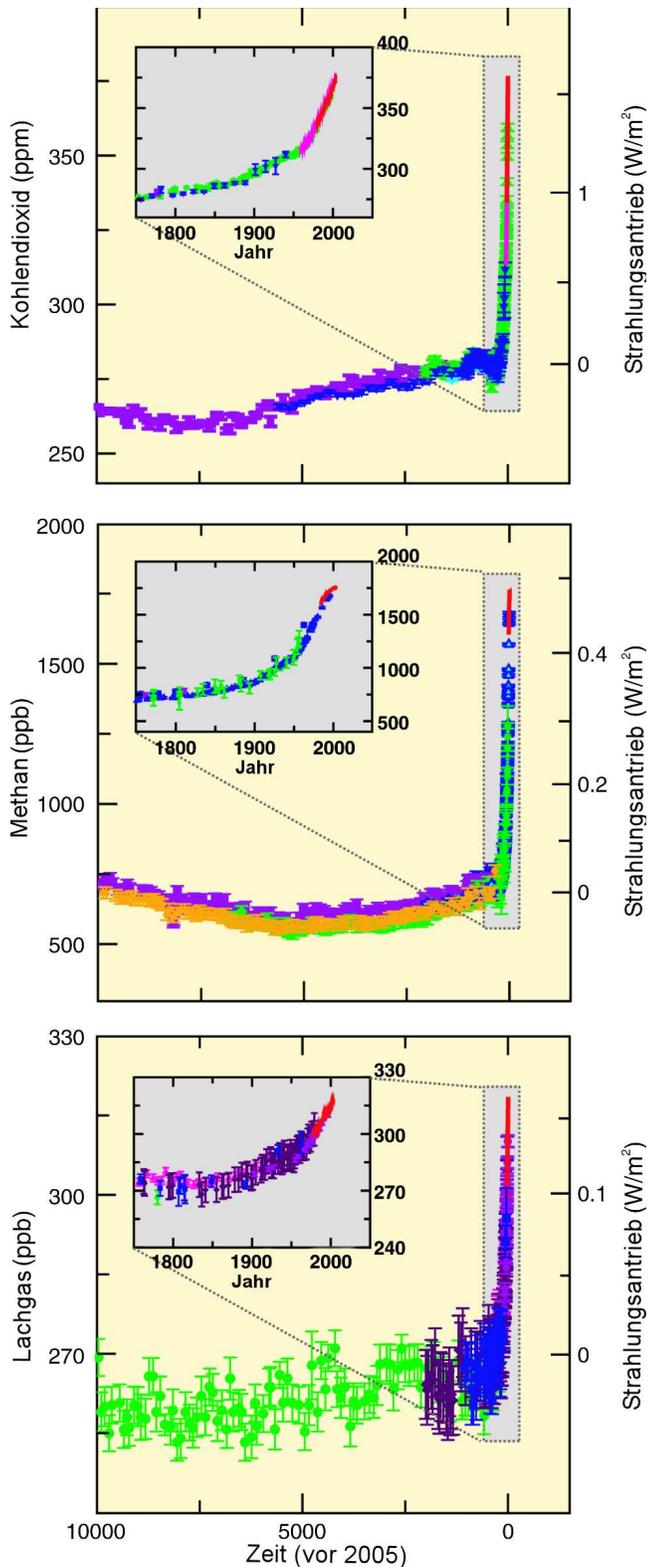


Abbildung 2.3. Atmosphärische Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas in den letzten 10.000 Jahren (große Grafiken) und seit 1750 (eingefügte Grafiken). Dargestellt sind Messungen aus Eisbohrkernen (Symbole mit verschiedenen Farben für unterschiedliche Studien) und atmosphärischen Proben (rote Linien). Die entsprechenden Strahlungsantriebe relativ zu 1750 sind auf der rechten Achse der großen Grafiken angegeben. {WGI Abbildung SPM.1}

Die globale atmosphärische Kohlendioxidkonzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm auf 379 ppm im Jahr 2005 angestiegen. Die jährliche Wachstumsrate der Kohlendioxidkonzentration war während der letzten zehn Jahre (Durchschnitt 1995–2005: 1,9 ppm pro Jahr) größer als während des Zeitraums seit Beginn der kontinuierlichen direkten atmosphärischen Messungen (Durchschnitt 1960–2005: 1,4 ppm pro Jahr), auch wenn die Wachstumsrate von Jahr zu Jahr schwankt. {WGI 2.3, 7.3, SPM; WGIII 1.3}

Die globale atmosphärische Methankonzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 715 ppb auf 1732 ppb in den frühen 1990er Jahren gestiegen und lag 2005 bei 1774 ppb. Die Wachstumsraten haben seit den frühen 1990er Jahren abgenommen, was im Einklang mit der Tatsache steht, dass die Gesamtemissionen (Summe der anthropogenen und natürlichen Quellen) während dieses Zeitraums nahezu konstant geblieben sind. {WGI 2.3, 7.4, SPM}

Die globale atmosphärische Lachgaskonzentration ist von einem vorindustriellen Wert von etwa 270 ppb auf 319 ppb im Jahr 2005 angestiegen. {WGI 2.3, 7.4, SPM}

Viele halogenierte Kohlenwasserstoffe (einschließlich HFCs) sind von einer Hintergrundkonzentration vor der Industrialisierung von nahezu Null angestiegen, vor allem aufgrund menschlicher Aktivitäten. {WGI 2.3, SPM; SROC SPM}

Es besteht sehr hohes Vertrauen darin, dass der globale durchschnittliche Nettoeffekt menschlicher Aktivitäten seit 1750 eine Erwärmung war, mit einem Strahlungsantrieb von +1,6 [+0,6 bis +2,4] W/m² (Abbildung 2.4). {WGI 2.3, 6.5, 2.9, SPM}

Der gesamte Strahlungsantrieb aufgrund der Zunahmen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas beträgt +2,3 [+2,1 bis +2,5] W/m², und seine Wachstumsrate während des Industriezeitalters ist sehr *wahrscheinlich* seit über 10.000 Jahren beispiellos (Abbildungen 2.3 und 2.4). Der Strahlungsantrieb durch Kohlendioxid ist zwischen 1995 und 2005 um 20% angestiegen, was die größte Änderung innerhalb eines Jahrzehnts während mindestens der letzten 200 Jahre darstellt. {WGI 2.3, 6.4, SPM}

Die anthropogenen Beiträge zu 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/m² und einem indirekten Strahlungsantrieb durch Wolkenalbedo von -0,7 [-1,8 bis -0,3] W/m². Aerosole beeinflussen auch den Niederschlag. {WGI 2.4, 2.9, 7.5, SPM}

Im Vergleich dazu wird der seit 1750 durch Änderungen der Sonneneinstrahlung verursachte geringe Strahlungsantrieb auf +0,12 [+0,06 bis +0,30] W/m² geschätzt. Dies ist weniger als die Hälfte der im TAR aufgeführten Schätzung. {WGI 2.7, SPM}

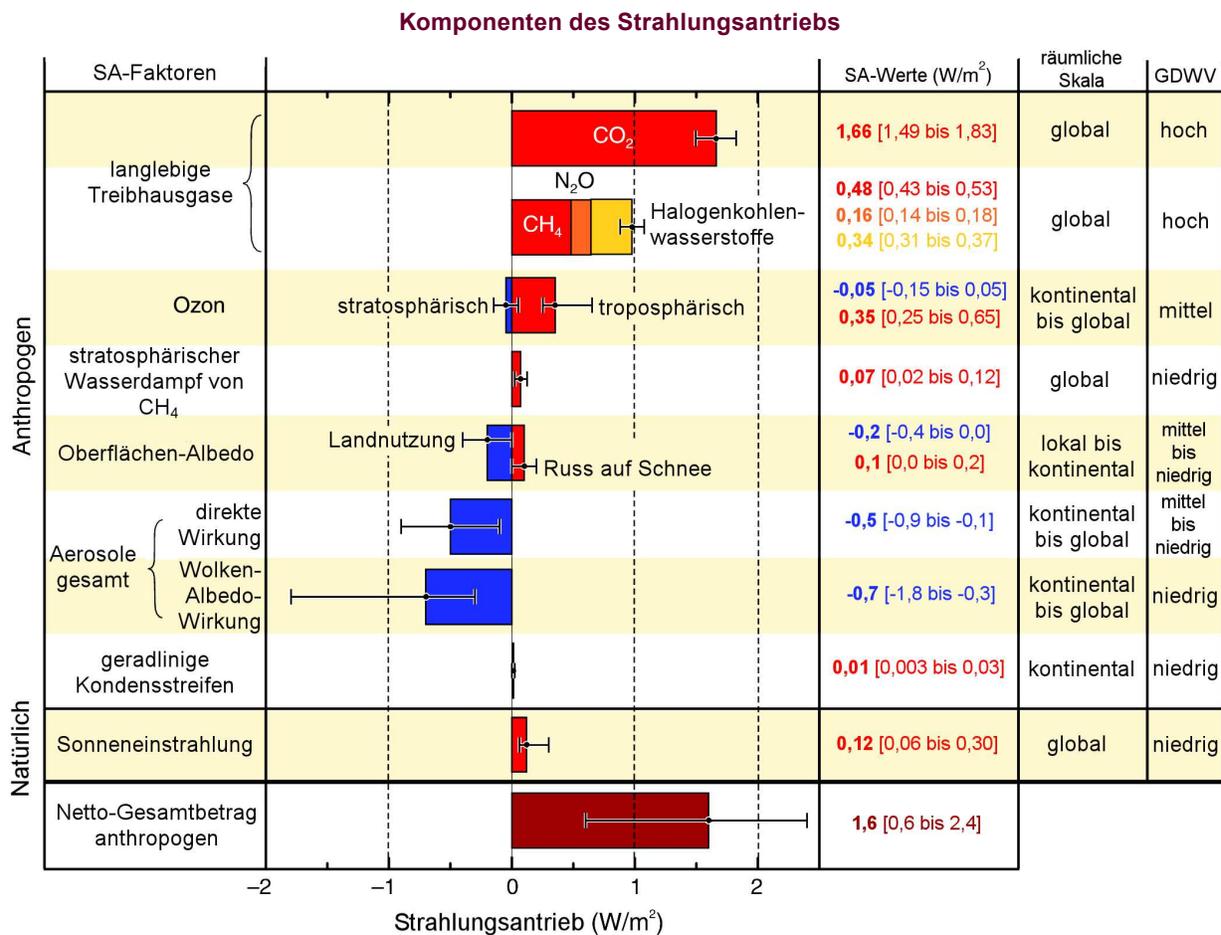


Abbildung 2.4. Global gemittelter Strahlungsantrieb (SA) im Jahr 2005 gegenüber 1750 (beste Schätzwerte und 5-95% Unsicherheitsbereiche) für CO₂, CH₄, N₂O und andere wichtige Faktoren und Mechanismen, zusammen mit der typischen geographischen Ausdehnung (räumliche Skala) des Antriebs und einer Beurteilung des Grades des wissenschaftlichen Verständnisses (GDWV). Aerosole aus explosiven Vulkanausbrüchen führen zu einer zusätzlichen episodischen Abkühlungsphase für ein paar Jahre nach einer Eruption. Die Bandbreite geradliniger Kondensstreifen schließt keine anderen möglichen Effekte der Luftfahrt auf die Bewölkung mit ein. {WGI Abbildung SPM.2}

2.3 Klimasensitivität und Rückkopplungen

Die Gleichgewichts-Klimasensitivität ist ein Maß für die Reaktion des Klimasystems auf einen anhaltenden Strahlungsantrieb. Sie ist definiert als die mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche aufgrund einer Verdoppelung der Kohlendioxidkonzentration. Aufgrund von Fortschritten seit dem TAR kann man abschätzen, dass die Klimasensitivität *wahrscheinlich* im Bereich von 2 bis 4,5 °C liegt, mit einem besten Schätzwert von etwa 3 °C, und es ist *sehr unwahrscheinlich*, dass sie kleiner als 1,5 °C ist. Wesentlich höhere Werte als 4,5 °C können nicht ausgeschlossen werden, aber die Übereinstimmung von Modellen mit den Beobachtungen ist für diese Werte nicht so gut. {WGI 8.6, 9.6, Kasten 10.2, SPM}

Rückkopplungen können die Reaktion auf einen bestimmten Antrieb verstärken oder abschwächen. Die direkte Emission von Wasserdampf (ein Treibhausgas) durch menschliche Aktivitäten leistet einen vernachlässigbaren Beitrag zum Strahlungsantrieb. Jedoch steigen die troposphärischen Wasserdampfkonzentrationen mit dem Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur, und dies stellt eine wichtige positive Rückkopplung dar, jedoch keinen Antrieb des Klimawandels. Änderungen des Wasserdampfes stellen die stärkste Rückkopplung bezüglich der Klimasensitivität dar und werden nun besser verstanden als im TAR. Rückkopplungen durch Wolken bleiben die größte Unsicherheitsquelle. Die räumliche Verteilung von Klimareaktionen wird zum Großteil über Klimaprozesse und Rückkopplungen geregelt. So neigen z.B. Rückkopplungen im Zusammenhang mit der Albedo von Meereis dazu, die Reaktionen in den hohen Breiten zu verstärken. {WGI 2.8, 8.6, 9.2, TS 2.1.3, TS 2.5, SPM}

Eine Erwärmung führt zu einer Verringerung der Aufnahme atmosphärischen Kohlendioxids durch Landoberflächen und Ozeane, wodurch der Anteil der in der Atmosphäre verbleibenden anthropogenen Emissionen erhöht wird. Diese positive Rückkopplung des Kohlenstoffkreislaufs führt zu stärkeren Zunahmen von CO₂ in der Atmosphäre und stärkerem Klimawandel für ein bestimmtes Emissionsszenario, aber die Stärke dieses Rückkopplungseffekts variiert erheblich unter den Modellen. {WGI 7.3, TS 5.4, SPM; WGII 4.4}

2.4 Zuordnung von Klimaänderungen

Zuordnung beurteilt, ob beobachtete Änderungen mit der erwarteten Reaktion auf äußere Antriebe (z.B. Änderungen der Sonneneinstrahlung oder anthropogene THGs) quantitativ übereinstimmen und mit alternativen physikalisch plausiblen Erklärungen unvereinbar sind. {WGI TS.4, SPM}

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 verursacht⁹. 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“ (Abbildung 2.5). {WGI 9.4, SPM}

Globale und kontinentale Temperaturänderungen

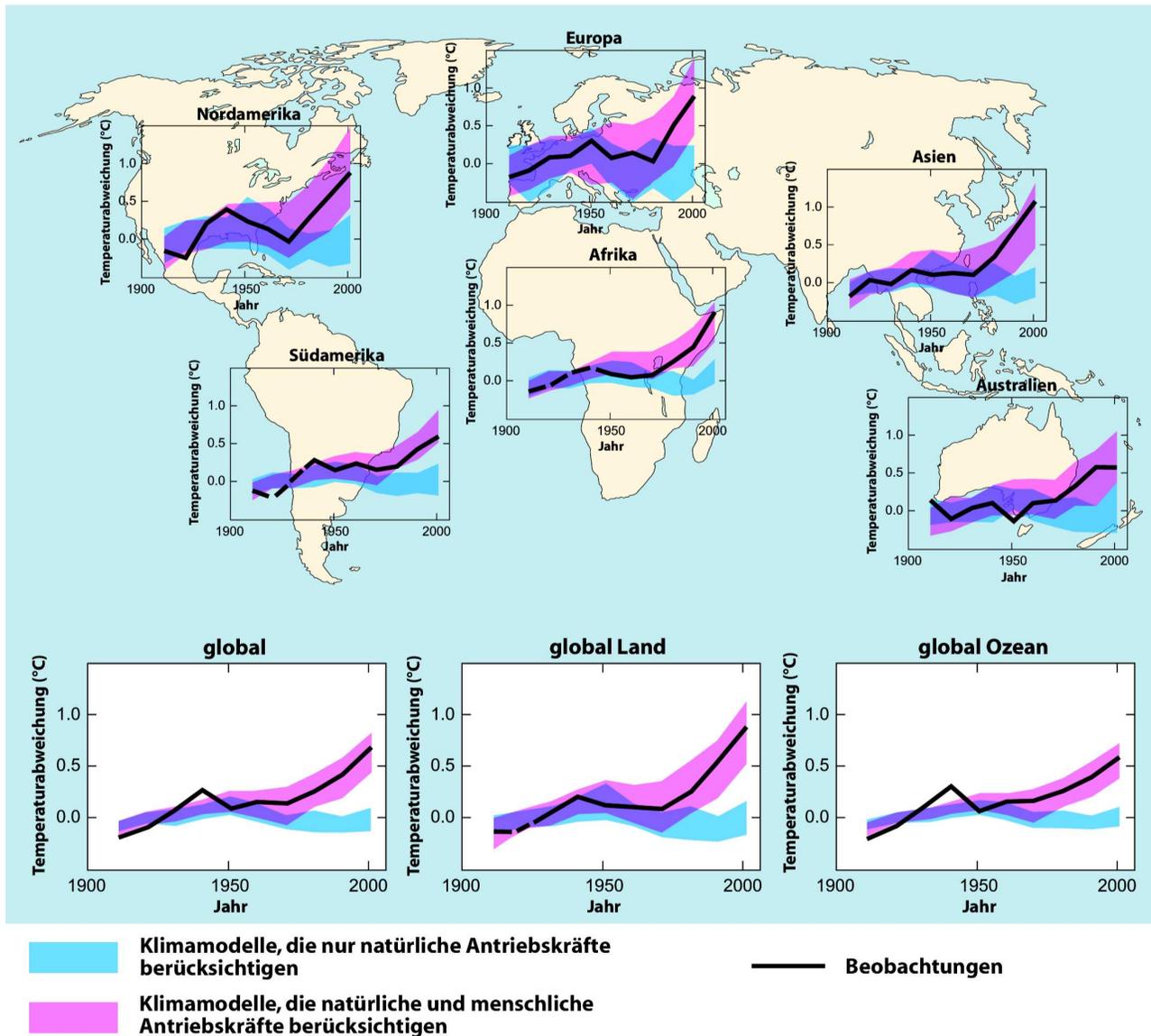


Abbildung 2.5. Vergleich der beobachteten Änderungen der Erdoberflächentemperatur auf kontinentaler und globaler Skala mit den von Klimamodellen auf Grund entweder natürlicher oder sowohl natürlicher als auch anthropogener Antriebe berechneten Resultaten. Die 10-Jahres-Mittel der Beobachtungen sind für 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. {WGI Abbildung SPM.4}

⁹ Die Berücksichtigung verbleibender Unsicherheiten basiert auf aktuellen Methoden.

Die beobachtete weit verbreitete Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeans sowie der Eismassenverlust unterstützen zusammengenommen 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. Während dieses Zeitraums hätte die Summe aus solaren und vulkanischen Antrieben *wahrscheinlich* eine Abkühlung, keine Erwärmung verursacht. Eine Erwärmung des Klimasystems wurde in Änderungen der bodennahen und atmosphärischen Temperaturen sowie in den Temperaturen der obersten paar hundert Meter des Ozeans festgestellt. Das beobachtete Muster von troposphärischer Erwärmung und stratosphärischer Abkühlung ist *sehr wahrscheinlich* durch die kombinierten Einflüsse der Treibhausgaszunahme und des stratosphärischen Ozonabbaus verursacht. 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. {WGI 2.9, 3.2, 3.4, 4.8, 5.2, 7.5, 9.4, 9.5, 9.7, TS 4.1, SPM}

Wahrscheinlich hat im Durchschnitt über jedem Kontinent (außer der Antarktis) in den letzten 50 Jahren eine signifikante anthropogene Erwärmung stattgefunden (Abbildung 2.5). {WGI 3.2, 9.4, SPM}

Die beobachteten Muster der Erwärmung, einschließlich der größeren Erwärmung über dem Land als über dem Ozean sowie deren Änderungen im Verlauf der Zeit, werden nur durch solche Modelle wiedergegeben, die anthropogene Antriebe miteinbeziehen. Kein gekoppeltes Klimamodell, das ausschließlich natürliche Antriebe benutzt hat, hat die mittleren kontinentalen Erwärmungstrends in den einzelnen Kontinenten (außer der Antarktis) über die zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts reproduziert. {WGI 3.2, 9.4, TS 4.2, SPM}

Es verbleiben Schwierigkeiten bei der Nachbildung und Zuordnung von kleinräumigeren beobachteten Temperaturänderungen. In diesem Maßstab sind die natürlichen Klimaschwankungen vergleichsweise stärker, was die Abgrenzung zu den erwarteten Änderungen aufgrund äußerer Antriebe schwieriger macht. Unsicherheiten in lokalen Antrieben, wie z.B. solche aufgrund von Aerosolen und Landnutzungsänderungen, und Rückkopplungen erschweren auch die Abschätzung des Beitrags von Treibhausgaszunahmen zu den beobachteten kleinräumigen Temperaturänderungen. {WGI 8.3, 9.4, SPM}

Fortschritte seit dem TAR machen deutlich, dass sich erkennbare menschliche Einflüsse über die Durchschnittstemperatur hinaus auf andere Aspekte des Klimas ausweiten, einschließlich Temperaturextreme und Windmuster. {WGI 9.4, 9.5, SPM}

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 Hitzeperioden erhöht hat. Der anthropogene Antrieb hat *wahrscheinlich*

zu den Änderungen der Windmuster beigetragen, welche die außertropischen Zugbahnen der Stürme und Temperaturmuster in beiden Hemisphären beeinflussen. Allerdings sind die beobachteten Änderungen in der nordhemisphärischen Zirkulation stärker als die durch Modelle in Reaktion auf die Änderungen des Antriebs im 20. Jahrhundert berechneten. {WGI 3.5, 3.6, 9.4, 9.5, 10.3, SPM}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass die Reaktion auf den anthropogenen Antrieb zum Meeresspiegelanstieg während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beigetragen hat. Es gibt Hinweise auf die Auswirkungen menschlichen Klimaeinflusses auf den Wasserkreislauf, einschließlich der beobachteten großräumigen Änderungsmuster in Niederschlägen über Land während des 20. Jahrhunderts. Es ist *eher wahrscheinlich als nicht*, dass menschlicher Einfluss zu einem weltweiten Trend in Richtung von Zunahmen der durch Dürre betroffenen Flächen seit den 1970ern und häufigeren Starkniederschlägen beigetragen hat. {WGI 3.3, 5.5, 9.5, TS 4.1, TS 4.3}

Die anthropogene Erwärmung über die letzten drei Jahrzehnte hatte wahrscheinlich auf globaler Ebene einen erkennbaren Einfluss auf beobachtete Veränderungen in vielen physikalischen und biologischen Systemen. {WGII 1.4}

Eine Synthese von Studien zeigt deutlich: Es ist *sehr unwahrscheinlich*, dass die räumliche Übereinstimmung zwischen Regionen mit signifikanter regionaler Erwärmung überall auf der Erde 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. Verschiedene Modellstudien haben zwischen den Reaktionen in einigen physikalischen und biologischen Systemen und der anthropogenen Erwärmung einen Zusammenhang hergestellt, es wurden jedoch nur wenige solche Studien durchgeführt. Zusammen mit den Hinweisen auf signifikante anthropogene Erwärmung über die letzten 50 Jahre, gemittelt über jedem Kontinent (außer der Antarktis), ist es *wahrscheinlich*, dass anthropogene Erwärmung über die letzten drei Jahrzehnte einen erkennbaren Einfluss auf viele natürliche Systeme hatte. {WGI 3.2, 9.4, SPM; WGII 1.4, SPM}

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, die Länge der Aufzeichnungen und die 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 nicht-klimatische Faktoren (wie etwa Landnutzungsänderungen, Verschmutzung und eingewanderte Arten) von Einfluss. {WGII 1.2, 1.3, 1.4, SPM}

3

Klimawandel und seine kurz- und langfristigen Auswirkungen in verschiedenen Szenarien

3.1 Emissionsszenarien

Es besteht eine *hohe Übereinstimmung* und eine *starke Beweislage*¹⁰ dafür, dass bei den derzeitigen Klimaschutzpolitiken und den damit verbundenen Maßnahmen für eine nachhaltige Entwicklung die globalen Emissionen von Treibhausgasen über die nächsten Jahrzehnte weiterhin zunehmen werden. Referenzemissionsszenarien, die seit dem IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios, SRES, 2000) publiziert wurden, sind im Hinblick auf ihre Bandbreite mit denen im SRES vergleichbar (siehe Kasten zu SRES-Szenarien und Abbildung 3.1).¹¹ {WGIII 1.3, 3.2, SPM}

Die SRES-Szenarien projizieren einen Anstieg der Referenzwerte globaler THG-Emissionen in einer Bandbreite von 9,7 bis 36,7 Gt CO₂-Äq. (25–90%) zwischen 2000 und 2030. In diesen Szenarien wird projiziert, dass die Dominanz fossiler Brennstoffe im weltweiten Energiemix bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus anhält. Daher wird für die CO₂-Emissionen aus dem Energieverbrauch zwischen 2000 und 2030 ein Wachstum von 40–110% projiziert. {WGIII 1.3, SPM}

Nach dem SRES veröffentlichte Untersuchungen (d.h. post-SRES-Szenarien) 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 den post-SRES-Szenarien niedriger als

Szenarien für THG-Emissionen von 2000 bis 2100 ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen

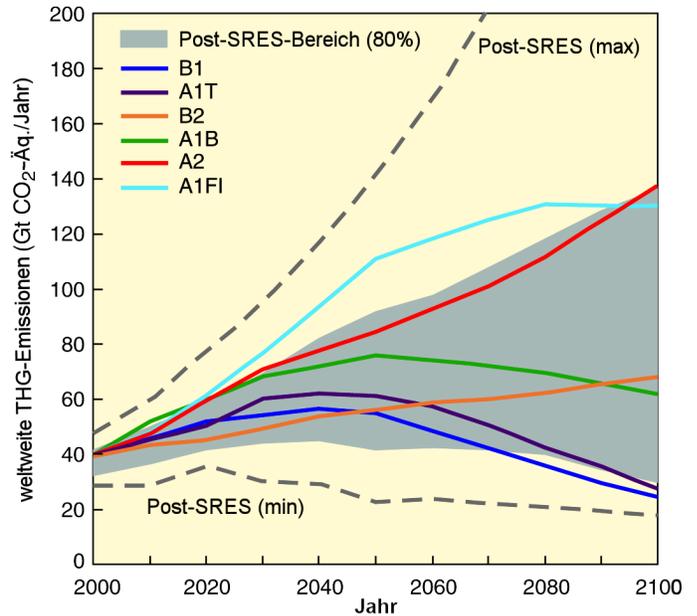


Abbildung 3.1 Weltweite THG-Emissionen (in CO₂-Äq. pro Jahr) ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen: sechs beispielhafte SRES-Markerszenarien (farbige Linien) und der 80. Perzentil-Bereich neuerer Szenarien, die nach dem SRES veröffentlicht wurden (post-SRES) (grau schattierter Bereich). Gestrichelte Linien zeigen die gesamte Bandbreite der post-SRES-Szenarien. Die Emissionen decken CO₂, CH₄, N₂O und F-Gase ab. {WGIII 1.3, 3.2, Abbildung SPM.4}

im SRES, aber dies hat nur geringe Auswirkungen auf das globale Wirtschaftswachstum und die Gesamtemissionen. {WGIII 3.2, TS.3, SPM}

SRES-Szenarien

SRES bezieht sich auf die Szenarien, die im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios, SRES; IPCC, 2000) beschrieben wurden. Die SRES-Szenarien sind in vier Szenarien-Familien zusammengefasst (A1, A2, B1 und B2), die alternative Entwicklungspfade untersuchen, wobei eine große Bandbreite an demographischen, wirtschaftlichen und technologischen Antriebskräften und den sich daraus ergebenden THG-Emissionen abgedeckt wird. Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimaschutzmaßnahmen über die jetzigen hinaus. Die Emissionsprojektionen werden für Abschätzungen zukünftigen Klimawandels intensiv genutzt, und ihre zugrundeliegenden Annahmen bezüglich sozioökonomischen, demographischen und technologischen Wandels dienen als Ausgangsmaterial für viele neuere Abschätzungen von Verwundbarkeit gegenüber Klimawandel und von Auswirkungen. {WGI 10.1; WGII 2.4; WGIII TS.1, SPM}

Die A1-Modellgeschichte geht aus von einer Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer in der Mitte des Jahrhunderts den Höchststand erreichenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. A1 teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen des Technologiewandels beschreiben: fossilintensiv (A1FI), nicht fossile Energieträger (A1T) und eine ausgewogene Nutzung aller Quellen (A1B). B1 beschreibt eine sich näher kommende (konvergente) Welt mit der gleichen Weltbevölkerung wie in A1, jedoch mit rascheren Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft. B2 beschreibt eine Welt mit Bevölkerung und Wirtschaftswachstum mittlerer Größe, mit Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. A2 beschreibt eine sehr heterogene Welt mit hohem Bevölkerungswachstum, langsamer wirtschaftlicher Entwicklung und langsamem Technologiewandel. Keinem der SRES-Szenarien wurden Wahrscheinlichkeiten zugeordnet. {WGIII SPM, TS.1}

¹⁰ Kursiv gesetzte Aussagen zu Übereinstimmung/Beweislage sind Ausdrücke aus einer festgelegten Skala für Unsicherheiten und Vertrauensniveaus. Diese Ausdrücke werden im Kasten „Behandlung von Unsicherheiten“ in der Einleitung erläutert.

¹¹ Referenzszenarien schließen über die aktuellen hinaus keine zusätzlichen klimapolitischen Maßnahmen ein; neuere Untersuchungen unterscheiden sich hinsichtlich der Einbeziehung von UNFCCC und Kyoto-Protokoll. Emissionspfade von Emissionsminderungsszenarien werden in Thema 5 behandelt.

Aerosole bewirken eine Netto-Abkühlung, und die Emissionen von Aerosolen und ihren Vorläufern, einschließlich Schwefeldioxids, Rußes und organischen Kohlenstoffs werden in post-SRES-Szenarien besser berücksichtigt. Diese Emissionen werden im Allgemeinen niedriger projiziert als im SRES. {WGIII 3.2, TS.3, SPM}

Die verfügbaren Studien weisen darauf hin, dass die Wahl des Wechselkurses für das BIP (Marktwechselkurse oder Kaufkraftparität) die projizierten Emissionen nicht nennenswert beeinflusst, solange die Einheiten durchgängig verwendet werden¹². Die Unterschiede, falls welche bestehen, sind klein im Vergleich zu den Unsicherheiten, die durch Annahmen über andere Parameter in den Szenarien, z.B. den Technologiewandel, entstehen. {WGIII 3.2, TS.3, SPM}

3.2 Projektionen zukünftiger Klimaänderungen

Für die nächsten zwei Jahrzehnte wird für eine Reihe von SRES-Emissionsszenarien eine Erwärmung von etwa 0,2 °C pro Jahrzehnt projiziert. Selbst wenn die Konzentrationen aller Treibhausgase und Aerosole auf den Niveaus

des Jahres 2000 konstant gehalten worden wären, wäre eine weitere Erwärmung um etwa 0,1 °C pro Jahrzehnt zu erwarten. Danach hängen Temperaturprojektionen zunehmend von bestimmten Emissionsszenarien ab (Abbildung 3.2). {WGI 10.3, 10.7; WGII 3.2}

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 °C pro Jahrzehnt hin. Dies kann nun mit den beobachteten Werten von ca. 0,2 °C pro Jahrzehnt verglichen werden. Dadurch wird das Vertrauen in kurzfristige Projektionen gestärkt. {WGI 1.2, 3.2}

3.2.1 Klimaänderungen des 21. Jahrhunderts

Anhaltend 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. {WGI 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. Tabelle 3.1 zeigt die besten

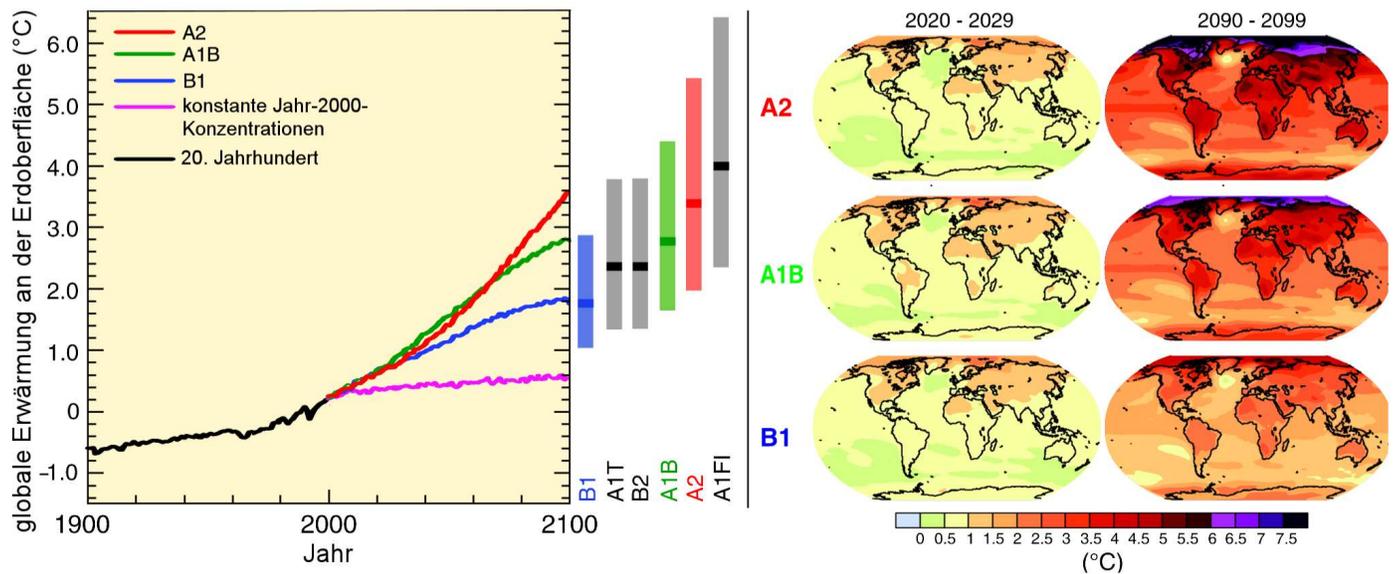


Abbildung 3.2. Linke Tafel: Die durchgezogenen Linien sind globale Mittelwerte der Erwärmung an der Erdoberfläche aus mehreren Modellen (relativ zu 1980–1999) für die SRES-Szenarien A2, A1B und B1, dargestellt als Fortsetzungen der Simulationen für das 20. Jahrhundert. Die orange Linie stellt das Resultat des Experiments dar, bei dem die Konzentrationen auf Jahr-2000-Werten konstant gehalten wurden. Die Balken in der Mitte der Abbildung zeigen die beste Schätzung (durchgezogene Linie innerhalb eines jeden Balkens) und die abgeschätzte wahrscheinliche Bandbreite für die sechs SRES-Musterszenarien. Die Herleitung der besten Schätzungen und wahrscheinlichen Bandbreiten in den Balken beinhaltet sowohl die AOGCMs im linken Teil der Abbildung als auch Resultate einer Hierarchie unabhängiger Modelle sowie beobachtungsgestützte Randbedingungen. **Rechte Tafeln:** Projizierte Änderungen der Erdoberflächentemperatur für das frühe und späte 21. Jahrhundert im Vergleich zum Zeitraum 1980–1999. Die Grafiken zeigen die AOGCM-Multimodell-Mittel-Projektionen für die A2- (oben), A1B- (Mitte) und B1- (unten) SRES-Szenarien, gemittelt über die Jahrzehnte 2020–2029 (links) und 2090–2099 (rechts). {WGI 10.4, 10.8; Abbildungen 10.28, 10.29, SPM}

¹² Seit dem 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 BIP_{KKP} gekennzeichnet. {WGIII SPM}

Schätzwerte und die *wahrscheinlichen* Bandbreiten der durchschnittlichen globalen erdoberflächennahen Lufterwärmung für die sechs SRES-Emissionsmusterszenarien (einschließlich Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen). {WGI 10.5}

Obwohl diese Projektionen weitgehend mit der im TAR angegebenen Spannweite (1,4 °C bis 5,8 °C) übereinstimmen, sind sie nicht direkt vergleichbar. Die geschätzten oberen Bereiche der Temperaturprojektionen sind hauptsächlich deshalb größer als im TAR, weil die größere Bandbreite der nun zur Verfügung stehenden Modelle eine stärkere Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung nahelegt. Beispielsweise erhöht die Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung im A2-Szenario die entsprechende globale Durchschnittserwärmung im Jahr 2100 um mehr als 1 °C. Kohlenstoff-Rückkopplungen werden unter Thema 2.3 behandelt. {WGI 7.3, 10.5, SPM}

Da das Verständnis einiger wichtiger Effekte, die den Meeresspiegelanstieg beeinflussen, zu begrenzt ist, schätzt dieser Bericht weder die Wahrscheinlichkeit ab, noch liefert er einen besten Schätzwert oder eine Obergrenze für den Meeresspiegelanstieg. Tabelle 3.1 zeigt modellbasierte Projektionen des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs am Ende des 21. Jahrhunderts (2090–2099). Für jedes Szenario liegt der Mittelpunkt der Bandbreiten in Tabelle 3.1 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 TAR¹³. Die Meeresspiegel-Projektionen 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. Daher dürfen die Werte am oberen Ende der Bandbreiten nicht als Obergrenzen für den Meeresspiegelanstieg angesehen werden. Die Projektionen enthalten zwar einen Beitrag aufgrund des verstärkten Eisabflusses 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 3.1 aufgeführten SRES-Szenarien um 0,1 bis 0,2 m zunehmen¹⁴. {WGI 10.6, SPM}

3.2.2 Regionale Klimaänderungen des 21. Jahrhunderts

In projizierte Erwärmungsmuster und andere regionale Charakteristika, darunter Änderungen der Windmuster, Niederschläge und einiger Aspekte von Extremen und von Meereis, besteht nun höheres Vertrauen als im TAR. {WGI 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 9.4, 9.5, 10.3, 11.1}

Die projizierte Erwärmung im 21. Jahrhundert zeigt szenario-unabhängige geographische Muster, welche den über die letzten paar Jahrzehnte beobachteten ähnlich sind. Die größte Erwär-

Tabelle 3.1. Projizierte mittlere globale Erwärmung an der Erdoberfläche und Meeresspiegelanstieg am Ende des 21. Jahrhunderts. {WGI 10.5, 10.6, Tabelle 10.7, Tabelle SPM.3}

Fall	Temperaturänderung (°C; 2090-2099 verglichen mit 1980-1999) ^{a,d}		Meeresspiegelanstieg (m; 2090-2099 verglichen mit 1980-1999)
	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
A1F1-Szenario	4,0	2,4-6,4	0,26-0,59

Anmerkungen:

- Die Temperaturen stellen beste Schätzwerte und *wahrscheinliche* Unsicherheitsbereiche aus einer Hierarchie von Modellen unterschiedlicher Komplexität und Einschränkungen hinsichtlich der Beobachtungen dar.
- Die Zahlen für den Fall konstanter Jahr-2000-Konzentrationen wurden nur aus Allgemeinen Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodellen (AOG-CMs) abgeleitet.
- Alle oben aufgeführten Szenarien sind sechs SRES-Musterszenarien. Die näherungsweise CO₂-Äquivalentkonzentrationen, die den berechneten Strahlungsantrieben aufgrund anthropogener THG und Aerosole im Jahr 2100 entsprechen (siehe S. 823 des TAR), liegen für die beispielhaften Musterszenarien SRES B1, A1T, B2, A1B, A2 und A1FI jeweils bei etwa 600, 700, 800, 850, 1250 und 1550 ppm.
- Temperaturänderungen sind als Abweichung gegenüber dem Zeitraum 1980-1999 ausgedrückt. Um den Unterschied gegenüber dem Zeitraum 1850-1899 auszudrücken, müssen 0,5 °C addiert werden.

¹³ 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.

¹⁴ Die längerfristige Perspektive wird in den Abschnitten 3.2.3 und 5.2 behandelt.

mung wird über dem Land und in den meisten hohen nördlichen Breiten erwartet, die kleinste über dem südlichen Ozean (nahe der Antarktis) und dem nördlichen Nordatlantik, was eine Fortsetzung kürzlich beobachteter Trends darstellt (Abbildung 3.2 rechte Tafeln). {WGI 10.3, SPM}

Es wird eine Abnahme der Schneebedeckung projiziert. Die Projektionen zeigen weit verbreitete Zunahmen der Auftautiefe in den meisten Permafrostregionen. Es wird für alle SRES-Szenarien ein Rückgang 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. {WGI 10.3, 10.6, SPM; WGII 15.3.4}

Heiße Extreme, Hitzewellen und Starkniederschlagsereignisse werden *sehr wahrscheinlich* zunehmen. {SYR Tabelle 3.2; WGI 10.3, SPM}

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 seit 1970 ist in einigen Regionen viel größer als von den aktuellen Modellen für diesen Zeitraum berechnet. {WGI 3.8, 9.5, 10.3, SPM}

Es wird eine polwärtige Verlagerung der außertropischen Sturmzugbahnen mit entsprechenden Änderungen der Wind-, Niederschlags- und Temperaturmuster projiziert. Dies bedeutet eine Fortführung des groben Musters der beobachteten Trends über das letzte halbe Jahrhundert. {WGI 3.6, 10.3, SPM}

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 3.3) *wahrscheinlich* sind. Dies bedeutet eine Fortführung der beobachteten Muster in den aktuellen Trends. {WGI 3.3, 8.3, 9.5, 10.3, 11.2-11.9, SPM}

3.2.3 Klimaänderungen jenseits des 21. Jahrhunderts

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

Falls der Strahlungsantrieb, unter Konstanthaltung aller seiner Faktoren im Jahr 2100 auf B1- oder A1B-Niveau, stabilisiert würde, wäre laut Modellexperimenten immer noch ein weiterer Anstieg der mittleren globalen Temperatur um etwa 0,5 °C bis zum Jahr 2200 zu erwarten. Zusätzlich 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. {WGI 10.7, SPM}

Es wird projiziert, dass der Rückgang 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 verstärkten Niederschlägen und dass die Oberflächen-Massenbilanz bei einer mittleren globalen Erwärmung (im Vergleich zu vorindustriellen Werten) von über 1,9 bis 4,6 °C negativ wird (Netto-Eisverlust). Falls eine solche negative

Von Multi-Modellen projizierte Änderungsmuster der Niederschläge

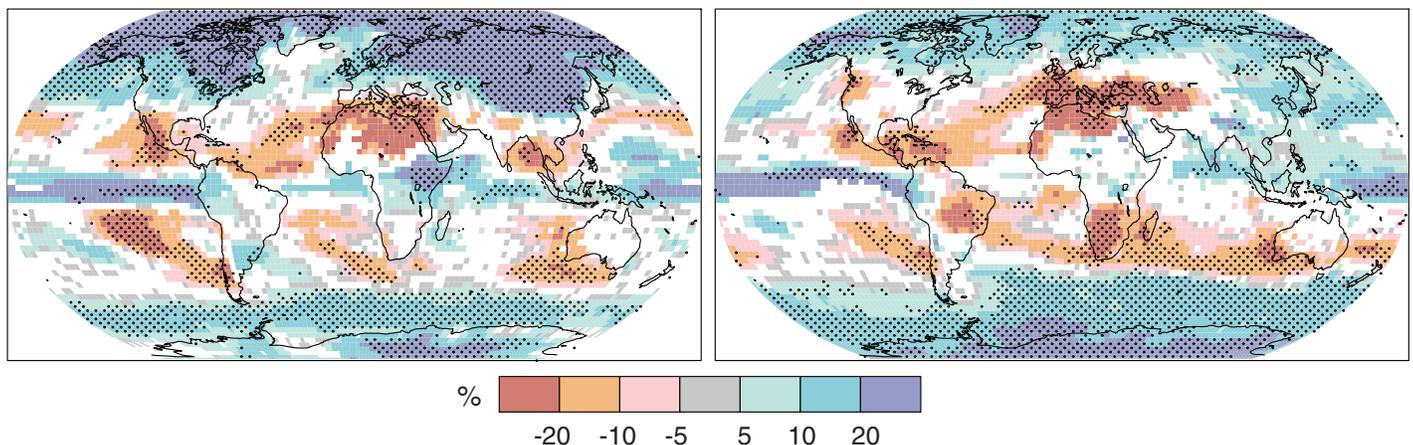


Abbildung 3.3. Relative Änderungen der Niederschläge (in Prozent) für den Zeitraum 2090–2099 im Vergleich zu 1980–1999. Die Werte sind Multimodell-Mittel, basierend auf dem SRES-A1B-Szenario für Dezember bis Februar (links) und Juni bis August (rechts). Flächen, für die weniger als 66% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderung übereinstimmen, sind weiß dargestellt; solche, für die mehr als 90% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderungen übereinstimmen, sind punktiert. {WGI Abbildung 10.9, SPM}

Oberflächen-Massenbilanz über Jahrtausende aufrechterhalten bliebe, würde dies zu einem praktisch vollständigen Abschmelzen des grönländischen Eisschildes und zu einem daraus folgenden Beitrag von etwa 7 m zum Meeresspiegelanstieg führen. Die entsprechenden zukünftigen Temperaturen in Grönland (1,9 bis 4,6 °C weltweit) sind vergleichbar mit den für die letzte Zwischeneiszeit vor 125.000 Jahren geschätzten Temperaturen. Paläoklimatische Informationen legen hierfür eine Reduktion der Ausdehnung der polaren Landeis Massen und einen Meeresspiegelanstieg von 4 bis 6 m nahe. {WGI 6.4, 10.7, SPM}

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

Aktuelle globale Modellstudien projizieren, dass der antarktische Eisschild zu kalt für eine verbreitete Oberflächenschmelze bleiben wird und ein Massenzuwachs aufgrund zunehmender Schneefälle stattfinden wird. Allerdings könnte ein Netto-Eismassenverlust auftreten, falls der dynamische Eisabfluss die Massenbilanz des Eisschildes dominiert. {WGI 10.7, SPM}

Sowohl frühere als auch zukünftige anthropogene CO₂-Emissionen werden weiterhin aufgrund der für eine Entfernung dieses Gases aus der Atmosphäre benötigten Zeitskala für mehr als 1000 Jahre zur Erwärmung und zum Meeresspiegelanstieg beitragen. {WGI 7.3, 10.3, Abbildung 7.12, Abbildung 10.35, SPM}

Die geschätzte langfristige Erwärmung (über mehrere Jahrhunderte) entsprechend der sechs AR4 WGIII Stabilisierungskategorien ist in Abbildung 3.4 dargestellt.

3.3 Auswirkungen zukünftiger Klimaänderungen

Es gibt inzwischen spezifischere Information über die Art zukünftiger Auswirkungen für eine große Bandbreite an Systemen und Sektoren, auch für einige Gebiete, die in vorherigen Bewertungen nicht mit abgedeckt waren. {WGII SPM; WGII TS.4}

Es folgt eine Auswahl an wichtigen Erkenntnissen¹⁵ hinsichtlich der Auswirkungen des Klimawandels auf Systeme, Sektoren und Regionen, sowie einige Erkenntnisse zu Verwundbarkeit¹⁶, bezogen auf die Bandbreite an für das 21. Jahrhundert projizierten Klimaänderungen. Falls nicht anders angegeben, ist das Vertrauensniveau in die Projektionen *hoch*. Anstiege der weltweiten Durchschnittstemperatur sind in Bezug auf 1980-1999 angegeben. Der WGII-Bericht enthält weitere Informationen zu Auswirkungen. {WGII SPM}

3.3.1 Auswirkungen auf Systeme und Sektoren

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 Antriebsselementen des globalen Wandels (z.B. Landnutzungsänderungen, Verschmutzung, Übernutzung von Ressourcen) überschritten wird. {WGII 4.1-4.6, SPM}
- Im Laufe dieses Jahrhunderts wird die Nettoaufnahme von Kohlenstoff durch terrestrische Ökosysteme wahrscheinlich

Geschätzte Erwärmung für AR4-Stabilisierungskategorien über mehrere Jahrhunderte im Vergleich zum Zeitraum 1980-1999

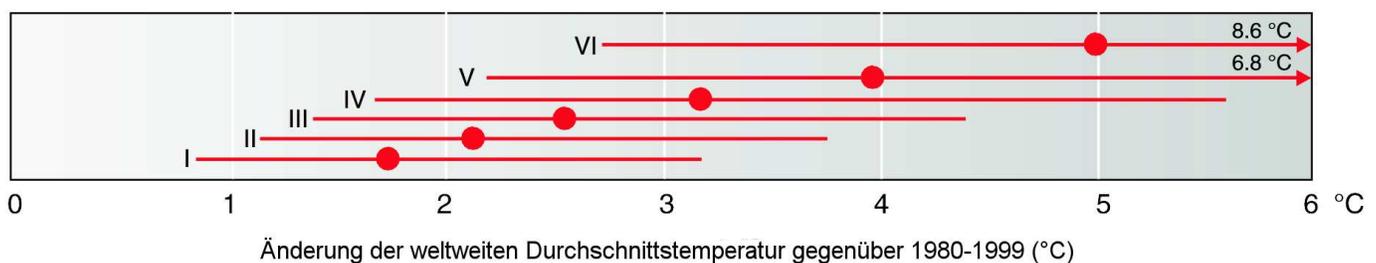


Abbildung 3.4 Geschätzte langfristige Erwärmung (über mehrere Jahrhunderte) entsprechend der sechs AR4 WGIII Stabilisierungskategorien (Tabelle 5.1). Die Temperaturskala ist gegenüber Tabelle 5.1 um -0,5 °C verschoben, um ungefähr die Erwärmung zwischen vorindustrieller Zeit und 1980-1999 auszugleichen. Für die meisten Stabilisierungsniveaus nähert sich die globale Durchschnittstemperatur dem Gleichgewichtswert über ein paar Jahrhunderte an. Für THG-Emissionsszenarien, die bis 2100 zu einer Stabilisierung auf mit SRES B1 und A1B vergleichbaren Niveaus (600 und 850 CO₂-Äq. ppm; Kategorie IV und V) führen, projizieren die bewerteten Modelle, dass etwa 65-70% des geschätzten globalen Anstiegs der Gleichgewichtstemperatur unter der Annahme einer Klimasensitivität von 3 °C zum Zeitpunkt der Stabilisierung geschehen wäre. Für die deutlich niedrigeren Stabilisierungsszenarien (Kategorie I und II, Abbildung 5.1) kann die Gleichgewichtstemperatur früher erreicht werden. {WGI 10.7.2}

¹⁵ Auswahlkriterien: Ausmaß und Zeitpunkt der Auswirkung, Vertrauen in die Bewertung, repräsentative Erfassung des Systems, des Sektors und der Region.

¹⁶ Verwundbarkeit gegenüber Klimawandel ist das Ausmaß, zu dem Systeme gegenüber widrigen Auswirkungen empfindlich und ihnen nicht gewachsen sind.

noch vor Mitte des Jahrhunderts einen Höchststand erreichen und anschließend schwächer werden – oder sich sogar umkehren¹⁷ – wodurch der Klimawandel verstärkt würde. {WGII 4.ES, Abbildung 4.2, SPM}

- Bei einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um mehr als 1,5-2,5 °C ist ein erhöhtes Risiko auszusterben für ca. 20-30 % der bisher untersuchten Tier- und Pflanzenarten wahrscheinlich (*mittleres Vertrauen*). {WGII 4.ES, Abbildung 4.2, SPM}
- Bei einem Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur um mehr als 1,5-2,5 °C und einem gleichzeitigen Anstieg der atmosphärischen CO₂-Konzentrationen werden erhebliche Veränderungen der Struktur und Funktion von Ökosystemen sowie der ökologischen Interaktionen und geografischen Verbreitung von Arten – mit hauptsächlich negativen Folgen für die biologische Vielfalt sowie für Güter und Leistungen der Ökosysteme wie z.B. Wasser- und Nahrungsmittelversorgung – projiziert. {WGII Kasten TS.6, 4.4, SPM}

Nahrungsmittel:

- 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 (*mittleres Vertrauen*). {WGII 5.4, SPM}
- In niedrigeren Breiten, insbesondere in 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 hätte (*mittleres Vertrauen*). {WGII 5.4, SPM}
- 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 (*mittleres Vertrauen*). {WGII 5.4, 5.5, SPM}

Küstengebiete:

- 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 (*sehr hohes Vertrauen*). {WGII 6.3, 6.4, SPM}
- Es wird projiziert, dass bis zu den 2080er-Jahren viele Millionen Menschen mehr pro Jahr von Überschwemmungen aufgrund des Meeresspiegelanstiegs betroffen sein werden. Die Anzahl der betroffenen Menschen wird in den dicht besiedelten und tief liegenden Großdeltas Asiens und Afrikas am höchsten sein, während kleine Inseln in besonderem Maße verwundbar sind (*sehr hohes Vertrauen*). {WGII 6.4, 6.5, Tabelle 6.11, SPM}

Industrie, Siedlungen und Gesellschaft:

- Am verwundbarsten sind Industrien, Siedlungen und Gesellschaften im Allgemeinen in Küsten- oder Flussschwemmgeländen sowie dort, wo die Wirtschaft eng an klimasensitive Ressourcen gebunden ist, aber auch in Gebieten, die für extreme Wetterereignisse anfällig sind – insbesondere dort, wo die Urbanisierung rasch voranschreitet. {WGII 7.1, 7.3, 7.4, 7.5, SPM}
- Arme Bevölkerungsgruppen können besonders verwundbar sein, vor allem wenn sie konzentriert in Hochrisikogebieten leben. {WGII 7.2, 7.4, 5.4, SPM}

Gesundheit:

- Es wird projiziert, dass der Gesundheitszustand von Millionen von Menschen in Mitleidenschaft gezogen werden wird durch z.B. wachsende Unterernährung; erhöhte Sterblichkeit, mehr Erkrankungen und Verletzungen aufgrund von extremen Wetterereignissen; erhöhte Belastung durch Durchfallerkrankungen; vermehrte Häufigkeit von Herz- und Atemwegserkrankungen aufgrund klimaänderungsbedingter höherer Konzentrationen von bodennahem Ozon in Stadtgebieten; sowie eine veränderte räumliche Verbreitung der Überträger einiger Infektionskrankheiten. {WGI 7.4, Kasten 7.4; WGII 8.ES, 8.2, 8.4, SPM}
- Laut Projektionen wird die Klimaänderung in gemäßigten Gebieten voraussichtlich gewisse Vorteile mit sich bringen, wie z.B. einen Rückgang von durch Kälte verursachten Todesfällen, und einige gemischte Auswirkungen wie z.B. Veränderungen des Verbreitungsgebiets und des Übertragungspotenzials für Malaria in Afrika. Insgesamt ist zu erwarten, dass weltweit – insbesondere in den Entwicklungsländern – die negativen Effekte steigender Temperaturen auf die Gesundheit die Vorteile überwiegen. {WGII 8.4, 8.7, 8.ES, SPM}
- 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. {WGII 8.3, SPM}

Wasser:

- Auswirkungen auf das Wasser sind entscheidend für alle Sektoren und Regionen. Diese werden unten im Kasten „Klimawandel und Wasser“ erörtert.

Untersuchungen seit dem TAR haben ein systematisches Verständnis des zeitlichen Auftretens und des Ausmaßes von Auswirkungen je nach unterschiedlicher Stärke und Geschwindigkeit des Klimawandels ermöglicht. {WGII SPM}

Beispiele für diese neuen Erkenntnisse über Systeme und Sektoren sind in Abbildung 3.6. dargestellt. Die obere Tafel zeigt Auswirkungen, die mit zunehmender Temperaturände-

¹⁷ Unter der Annahme fortgesetzter Treibhausgasemissionen mit derzeitiger oder höherer Anstiegsrate und anderen globalen Veränderungen, einschließlich Landnutzungsänderungen.

Klimawandel und Wasser

Es wird erwartet, dass der Klimawandel die aktuellen Belastungen der Wasserressourcen durch Bevölkerungswachstum sowie wirtschaftliche und Landnutzungsänderungen, einschließlich Verstädterung, verschlimmert. Auf regionaler Ebene spielen die Schneedecken der Gebirge, Gletscher und kleine Eiskappen eine entscheidende Rolle für die Süßwasserverfügbarkeit. Die weitverbreiteten Massenverluste von Gletschern und Rückgänge der Schneebedeckung über die letzten Jahrzehnte werden laut Projektionen über das 21. Jahrhundert an Geschwindigkeit zunehmen, wodurch die Wassererfügbarkeit und das Wasserkraftpotenzial verringert würden. Außerdem würde die Saisonalität von Abflüssen in mit Schmelzwasser aus großen Gebirgsketten versorgten Gegenden (z.B. Hindukusch, Himalaja, Anden) verändert, wo augenblicklich mehr als ein Sechstel der Weltbevölkerung lebt. {WGI 4.1, 4.5; WGII 3.3, 3.4, 3.5}

Änderungen in Niederschlägen (Abbildung 3.3) und Temperatur (Abbildung 3.2) führen zu Änderungen in Abflussmengen (Abbildung 3.5) und Wasserverfügbarkeit. Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird für die Abflussmenge in den höheren Breiten und einigen feuchten Tropengebieten (einschließlich der dicht besiedelten Gebiete in Ost- und Südostasien) mit *hohem Vertrauen* ein Anstieg von 10-40% projiziert, für einige trockene Gebiete in den mittleren Breiten sowie für trockene Tropengebiete hingegen aufgrund zurückgehender Regenmengen und höheren Evapotranspirationsraten eine Abnahme um 10-30%. Auch besteht *hohes Vertrauen* darin, dass viele semi-aride Gebiete (z.B. das Mittelmeerbecken, der Westen der Vereinigten Staaten, das südliche Afrika und Nordbrasilien) unter einer Verringerung der Wasserressourcen aufgrund des Klimawandels zu leiden haben werden. Laut Projektionen werden sich die von Dürre betroffenen Gebiete flächenmäßig ausdehnen, mit potenziell negativen Auswirkungen für eine Vielzahl an Sektoren, z.B. Landwirtschaft, Wasserversorgung, Energieerzeugung und Gesundheit. Regional werden starke Zunahmen des Bewässerungsbedarfs als Folge von Klimaänderungen projiziert. {WGI 10.3, 11.2-11.9; WGII 3.4, 3.5, Abbildung 3.5, TS.4.1, Kasten TS.5, SPM}

Die negativen Auswirkungen des Klimawandels auf Süßwassersysteme überwiegen seine Vorteile (*hohes Vertrauen*). In Gebieten, für die ein Rückgang der Abflussmengen projiziert wird, wird der Wert der durch Wasserressourcen erbrachten Dienstleistungen sinken (*sehr hohes Vertrauen*). Die positiven Auswirkungen von erhöhten jährlichen Abflussmengen werden in einigen Gegenden wahrscheinlich durch die negativen Effekte erhöhter Niederschlagsvariabilität und saisonalen Abflussverschiebungen auf die Wasserversorgung, Wasserqualität und Überflutungsrisiken abgeschwächt. {WGII TS.4.1}

Verfügbare Forschungsergebnisse weisen auf eine signifikante zukünftige Zunahme schwerer Regenereignisse in vielen Regionen hin, einschließlich solcher, in denen die mittlere Regenmenge laut Projektionen abnehmen wird. Das resultierende erhöhte Überschwemmungsrisiko stellt eine Herausforderung an die Gesellschaft, die physische Infrastruktur und die Wasserqualität dar. Bis zu 20% der Weltbevölkerung werden *wahrscheinlich* in Gegenden leben, wo das Potenzial für Flusshochwasser bis zu den 2080er Jahren zunehmen könnte. Erhöhte Häufigkeit und Heftigkeit von Überschwemmungen und Dürren werden laut Projektionen die nachhaltige Entwicklung nachteilig beeinflussen. Gestiegene Temperaturen werden die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften von Süßwasserseen und Flüssen weiter beeinträchtigen, wobei vorwiegend negative Auswirkungen auf viele einzelne Süßwasserarten, die Zusammensetzung der Gesellschaften und die Wasserqualität auftreten werden. In Küstengebieten wird der Meeresspiegelanstieg aufgrund verstärkter Versalzung der Grundwasservorräte Engpässe in der Wasserversorgung verschlimmern {WGI 11.2-11.9; WGII 3.2, 3.3, 3.4, 4.4}

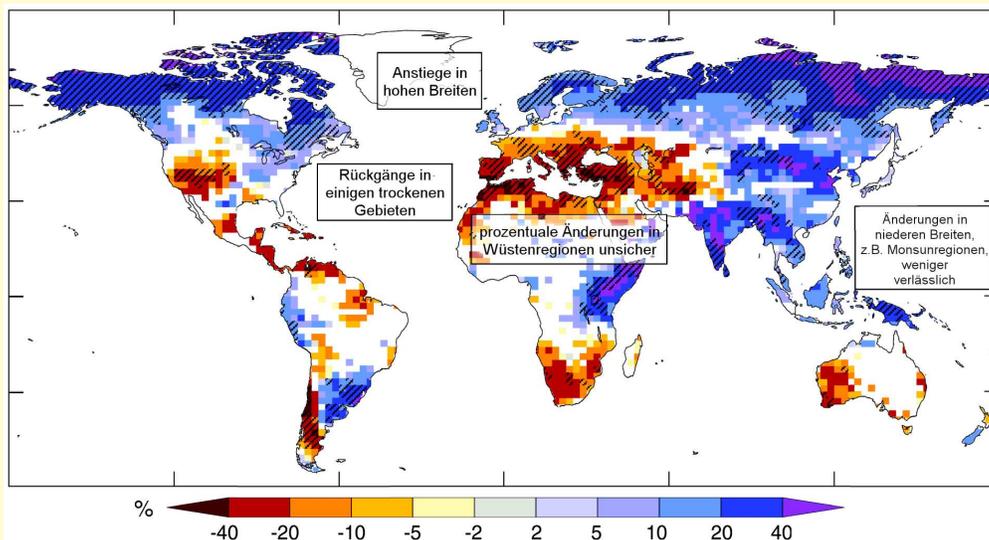
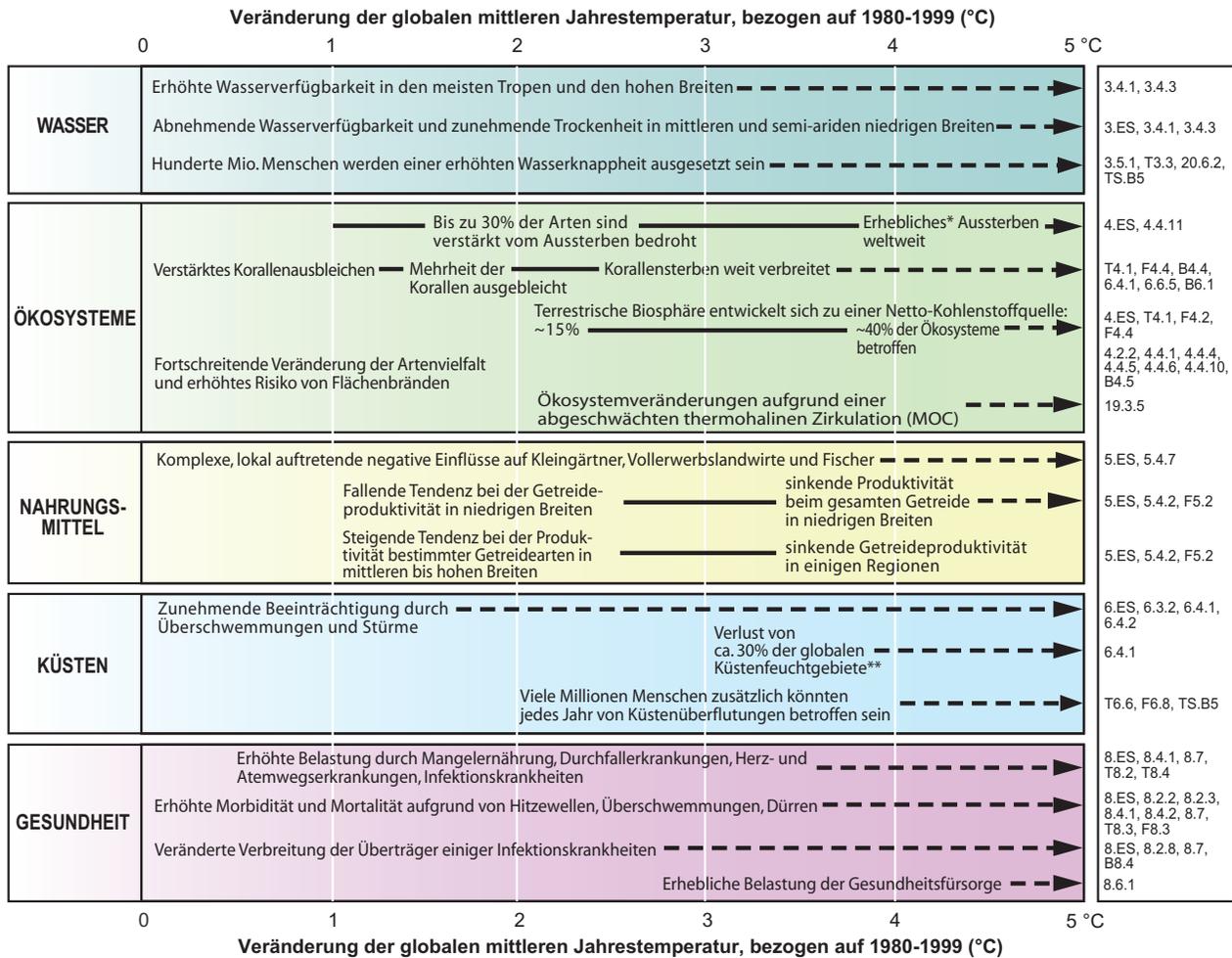


Abbildung 3.5. Großräumige relative Änderungen der jährlichen Abflussmenge (Wasserverfügbarkeit, in %) für den Zeitraum 2090-2099 in Bezug auf 1980-1999. Die Werte sind gemittelt aus 12 Klimamodellen und basieren auf dem SRES-A1B-Szenario. Flächen, für die weniger als 66% der 12 betrachteten Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderung übereinstimmen, sind weiß dargestellt; solche, für die mehr als 90% der Modelle bezüglich des Vorzeichens der Änderungen übereinstimmen, sind punktiert. Die Qualität der Simulation der beobachteten großräumigen Abflussmengen veranschaulicht einen großen Maßstab, ist jedoch nicht für den Bezug auf kleinere räumliche und zeitliche Ebenen gedacht. In Gebieten mit sehr geringen Niederschlägen und Abflussmengen (z.B. Wüstengebiete) können kleine Änderungen der Abflussmengen zu großen prozentualen Veränderungen führen. In einigen Gebieten haben die projizierten Änderungen der Abflussmengen ein anderes Vorzeichen als die jüngst beobachteten Entwicklungen. In einigen Gebieten, für die eine erhöhte Abflussmenge projiziert wird, werden unterschiedliche Auswirkungen je nach Jahreszeit erwartet, wie z.B. ein erhöhter Abfluss in der Regenzeit und ein verringerter Abfluss in der Trockenzeit. Untersuchungen, die Ergebnisse aus einer geringen Anzahl von Klimamodellen nutzen, können erheblich von den hier dargestellten Ergebnissen abweichen. {WGII Abbildung 3.4, angepasst, um den Annahmen von Abbildung SYR 3.3 zu entsprechen; WGII 3.3.1, 3.4.1, 3.5.1}

**Beispiele für Auswirkungen in Abhängigkeit von der mittleren globalen Erdoberflächenerwärmung
(Auswirkungen werden je nach Ausmaß der Anpassung, Geschwindigkeit der Temperaturänderung und
sozioökonomischem Entwicklungspfad unterschiedlich ausfallen)**



* Erheblich wird hier definiert als mehr als 40%.

** Auf Basis der durchschnittlichen Rate des Meeresspiegelanstiegs von 4,2 mm/Jahr von 2000-2080.

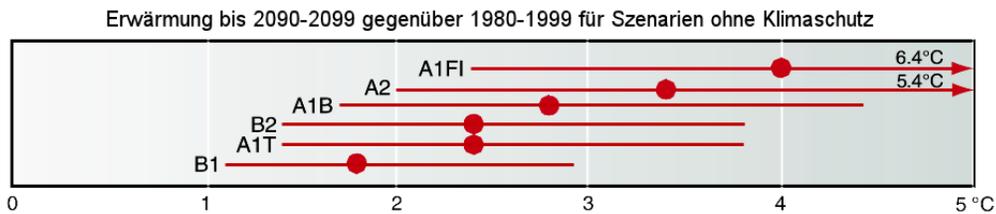


Abbildung 3.6. Beispiele für Auswirkungen in Verbindung mit projizierten Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur. **Obere Tafel:** Illustrative Beispiele für projizierte globale Auswirkungen von Klimaänderungen (und, falls relevant, von Meeresspiegel und atmosphärischem Kohlendioxid), in Verbindung mit Anstiegen der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur unterschiedlichen Ausmaßes im 21. Jahrhundert. Die schwarzen Linien verbinden die Auswirkungen untereinander, die gestrichelten Pfeile zeigen die bei steigender Temperatur weiter ansteigenden 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 über die Bandbreite der SRES-Szenarien A1F1, A2, B1 und B2 projizierten Bedingungen. Maßnahmen zur Anpassung an die Klimaänderung sind in diesen Abschätzungen nicht enthalten. Für alle Aussagen besteht ein hohes Vertrauensniveau. In der oberen rechten Tafel sind Verweise auf Abschnitte des WGII-Berichts zu den jeweiligen Aussagen in der oberen linken Tafel aufgeführt*. **Untere Tafel:** Punkte und Balken geben den besten Schätzwert und die wahrscheinlichen Bandbreiten der Erwärmung an, die für die sechs SRES-Musterszenarien für den Zeitraum 2090-2099 gegenüber 1980-1999 abgeschätzt wurden. {WGI Abbildung SPM.5, 10.7; WGII Abbildung SPM.2; WGIII Tabelle TS.2, Tabelle 3.10}

*Dabei gilt ES = Kurzfassung (Executive Summary), T = Tabelle (Table), B = Kasten (Box) und F = Abbildung (Figure). So verweist B4.5 auf den Kasten 4.5 in Kapitel 4 und 3.5.1 verweist auf den Abschnitt 3.5.1 in Kapitel 3.

rung verstärkt werden. Ihr geschätztes Ausmaß und ihr zeitliches Auftreten werden auch durch den Entwicklungspfad beeinflusst (untere Tafel). {WGII SPM}

Basierend auf einer Reihe von Kriterien in der Literatur (Ausmaß, Zeitpunkt, Fortdauer/Umkkehrbarkeit, Anpassungspotenzial, Aspekte der Verbreitung, Wahrscheinlichkeit und „Bedeutung“ der Auswirkungen) konnten – je nach Sachlage – einige der in Abbildung 3.6 dargestellten Auswirkungen mit „Haupt-Verwundbarkeiten“ assoziiert werden (siehe Thema 5.2). {WGII SPM}

3.3.2 Auswirkungen auf Regionen¹⁸

Afrika:

- Es wird projiziert, dass aufgrund des Klimawandels bis zum Jahr 2020 75 bis 250 Millionen Menschen unter zunehmender Wasserknappheit leiden. {WGII 9.4, SPM}
- In einigen Ländern könnten sich die Erträge aus der vom Regen abhängigen Landwirtschaft bis 2020 um bis zu 50% reduzieren. Für viele Länder Afrikas werden schwerwiegende Beeinträchtigungen der landwirtschaftlichen Produktion – einschließlich des Zugangs zu Nahrungsmitteln – projiziert. Dies würde die Nahrungsmittelsicherheit weiter beeinträchtigen und die Unterernährung verschlimmern. {WGII 9.4, SPM}
- 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. {WGII 9.4, SPM}
- Bis 2080 wird in einer Reihe von Klimaszenarien eine Ausdehnung der ariden und semi-ariden Flächen in Afrika um 5-8% projiziert (*hohes Vertrauen*). {WGII Kasten TS 6, 9.4.4}

Asien:

- In Zentral-, Süd-, Ost- sowie Südostasien wird vor allem in großen Flusseinzugsgebieten ein Rückgang des verfügbaren Süßwassers projiziert. {WGII 10.4, SPM}
- Für Küstengebiete, insbesondere dicht besiedelte Regionen der großen Flussdeltas in Süd-, Ost- und Südostasien, wird das Risiko für zunehmende Meeresüberflutungen und – in einigen Megadeltas – Flussüberflutungen am größten sein. {WGII 10.4, SPM}
- Der Klimawandel wird, in Verbindung mit rascher Urbanisierung, Industrialisierung und wirtschaftlicher Entwicklung, voraussichtlich den Druck auf die natürlichen Ressourcen und die Umwelt erhöhen. {WGII 10.4, SPM}
- Endemische Krankheiten und Todesfälle infolge von – vorrangig in Verbindung mit Überschwemmungen und Dürren auftretenden – Durchfallerkrankungen werden in Ost-

Süd- und Südostasien aufgrund projizierter Änderungen des hydrologischen Kreislaufs voraussichtlich zunehmen. {WGII 10.4, SPM}

Australien und Neuseeland:

- Für einige ökologisch reiche Gebiete, wie z.B. das Große Barriereriff und die feuchten Tropengebiete von Queensland, werden signifikante Verluste an biologischer Vielfalt bis 2020 projiziert. {WGII 11.4, SPM}
- Die Probleme bei der Wasserversorgung in Süd- und Ostaustralien sowie in Neuseeland in Northland und in einigen östlichen Regionen werden sich voraussichtlich bis 2030 verstärken. {WGII 11.4, SPM}
- Bis zum Jahr 2030 wird die land- und forstwirtschaftliche Produktion aufgrund vermehrt auftretender Dürren und Brände in weiten Teilen Süd- und Ostaustraliens sowie in Teilen Ost-Neuseelands voraussichtlich einen Rückgang verzeichnen. Für einige Gebiete in Neuseeland hingegen werden anfängliche Vorteile projiziert. {WGII 11.4, SPM}
- Für einige Gebiete in Australien und Neuseeland werden durch die anhaltende küstennahe Entwicklung und den Bevölkerungszuwachs bis 2050 ein erhöhtes Risiko durch Meeresspiegelanstieg sowie zunehmend stärkere und häufigere Stürme und Küstenüberflutungen projiziert. {WGII 11.4, SPM}

Europa:

- Der Klimawandel wird voraussichtlich regionale Unterschiede in Europas natürlichen Ressourcen und Gütern verstärken. Zu den negativen Auswirkungen zählen ein erhöhtes Risiko flutartiger Überschwemmungen im Landesinneren, häufigere Küstenüberschwemmungen und verstärkte Erosion (durch Unwetter und Meeresspiegelanstieg). {WGII 12.4, SPM}
- In Gebirgsregionen wird es zu einem Rückzug der Gletscher, einem Rückgang der Schneedecke und des Wintertourismus sowie zu einem erheblichen Verlust an Arten (in Szenarien mit hohen Emissionen in manchen Gebieten um bis zu 60% bis 2080) kommen (*sehr hohes Vertrauen*). {WGII 12.4, SPM}
- Für Südeuropa – eine Region, die bereits heute gegenüber Klimaschwankungen anfällig 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 projiziert. {WGII 12.4, SPM}
- Der Klimawandel wird voraussichtlich auch das Gesundheitsrisiko durch Hitzewellen sowie die Häufigkeit von Waldbränden erhöhen. {WGII 12.4, SPM}

¹⁸ Falls nicht ausdrücklich angegeben, stammen alle Einträge aus dem Text der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger der WGII und sind Aussagen mit entweder *sehr hohem* oder *hohem Vertrauen*, die unterschiedliche Sektoren widerspiegeln (Landwirtschaft, Ökosysteme, Wasser, Küsten, Gesundheit, Industrie und Siedlungen). Die Quelle für die Aussagen, Zeitangaben und Temperaturen ist in der WGII-SPM angegeben. Das Ausmaß und der Zeitpunkt von im Endeffekt auftretenden Auswirkungen wird vom Ausmaß und der Geschwindigkeit des Klimawandels, den Emissionsszenarien, den Entwicklungspfaden und der Anpassung abhängen.

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. *{WGII 13.4, SPM}*
- Infolge des Aussterbens von Arten besteht für viele tropische Gebiete Lateinamerikas das Risiko eines signifikanten Verlusts an biologischer Vielfalt. *{WGII 13.4, SPM}*
- 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. Insgesamt wird eine steigende Anzahl der Menschen, die einem Hungerrisiko ausgesetzt sein werden, projiziert (*mittleres Vertrauen*). *{WGII 13.4, Kasten TS.6}*
- 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. *{WGII 13.4, SPM}*

Nordamerika:

- Durch die Erwärmung in den westlichen Gebirgen 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. *{WGII 14.4, SPM}*
- 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 regionalen Unterschieden. Nutzpflanzen, die nahe der oberen Temperaturgrenze ihrer entsprechenden Verbreitungsgebiete liegen oder von stark genutzten Wasserressourcen abhängen, werden voraussichtlich vor große Herausforderungen gestellt. *{WGII 14.4, SPM}*
- Städte, die bereits jetzt Hitzewellen zu verzeichnen haben, werden im Laufe des Jahrhunderts voraussichtlich häufigeren, intensiveren und länger anhaltenden Hitzewellen ausgesetzt sein, ebenso wie den damit verbundenen gesundheitlichen Beeinträchtigungen. *{WGII 14.4, SPM}*
- Bevölkerung und Lebensräume in den Küstengebieten werden zunehmend durch die Auswirkungen der Klimaänderung – zusammen mit Einflüssen von Entwicklung und Verschmutzung – belastet werden. *{WGII 14.4, SPM}*

Polarregionen:

- Zu den wesentlichen projizierten biophysikalischen Auswirkungen zählen der Rückgang der Dicke und Ausdehnung von Gletschern, Eisschilden und Meereis sowie Veränderungen natürlicher Ökosysteme mit nachteiligen Auswirkungen für zahlreiche Organismen, wie z.B. Wandervögel, Säugetiere und Raubtiere an der Spitze der Nahrungskette. *{WGII 15.4, SPM}*
- Die zu erwartenden Auswirkungen für die menschlichen Gesellschaften der Arktis – insbesondere infolge veränderter Bedingungen von Schnee und Eis – werden laut Projektionen unterschiedlich ausfallen. *{WGII 15.4, SPM}*
- Zu den nachteiligen Auswirkungen wären Folgen für die Infrastruktur sowie für die traditionelle indigene Lebensweise zu zählen. *{WGII 15.4, SPM}*
- Für beide Polarregionen zeigen die Projektionen, dass spezifische Ökosysteme und Lebensräume durch das Eindringen von Arten infolge niedrigerer klimatischer Barrieren verwundbar sind. *{WGII 15.4, SPM}*

Kleine Inseln:

- 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 den Lebensunterhalt der Inselbevölkerung absichern, gefährden. *{WGII 16.4, SPM}*
- Die beispielsweise durch Erosion der Strände sowie Korallenbleiche hervorgerufene Verschlechterung des Küstenzustandes wird voraussichtlich die örtlichen Ressourcen beeinträchtigen. *{WGII 16.4, SPM}*
- Die Projektionen für zahlreiche kleine Inseln – z.B. in der Karibik und im Pazifik – zeigen, dass deren Wasserressourcen durch die Klimaänderung bis zur Mitte des Jahrhunderts auf eine Menge verringert werden, die nicht ausreicht, den Bedarf in Zeiten geringer Regenfälle zu decken. *{WGII 16.4, SPM}*
- Mit höheren Temperaturen wird voraussichtlich eine vermehrte Einwanderung nicht-heimischer Arten auftreten, vor allem auf den Inseln der mittleren und hohen Breiten. *{WGII 16.4, SPM}*

3.3.3 Besonders betroffene Systeme, Sektoren und Regionen

Einige Systeme, Sektoren und Regionen werden *wahrscheinlich* besonders durch Klimawandel betroffen sein¹⁹. *{WGII TS.4.5}*

Systeme und Sektoren: *{WGII TS.4.5}*

¹⁹ Auf der Grundlage einer fachkundigen Beurteilung der bewerteten Literatur und unter Berücksichtigung des Ausmaßes, des Zeitpunkts und der projizierten Geschwindigkeit des Klimawandels, der Klimasensitivität und der Anpassungskapazität.

- Einzelne Ökosysteme:
 - Terrestrisch: Tundra, boreale Wälder und Gebirgsregionen wegen ihrer Empfindlichkeit gegenüber Erwärmung; Ökosysteme des mediterranen Typs aufgrund des Rückgangs von Niederschlägen; und tropische Regenwälder, wo Niederschläge zurückgehen
 - Küstennah: Mangroven und Salzmarschen aufgrund multipler Stressfaktoren
 - Marin: Korallenriffe aufgrund multipler Stressfaktoren; Meereisbiome aufgrund ihrer Empfindlichkeit gegenüber Erwärmung
- Wasserressourcen in einigen trockenen Gebieten mittlerer Breite²⁰ und in den trockenen Tropen, aufgrund von Änderungen in Niederschlag und Evapotranspiration, und in Gebieten, die von Schnee- und Eisschmelze abhängig sind
- Landwirtschaft in Gebieten niedriger Breite aufgrund verringelter Wasserverfügbarkeit
- Tiefliegende Küstenregionen aufgrund der Bedrohung durch den Meeresspiegelanstieg und des verstärkten Risikos durch extreme Wetterereignisse
- Menschliche Gesundheit in Bevölkerungen mit geringer Anpassungskapazität.

Regionen: {WGII TS.4.5}

- Die Arktis aufgrund der Auswirkungen der hohen projizierten Erwärmungsraten auf natürliche Systeme und menschliche Gesellschaften
- Afrika aufgrund einer niedrigen Anpassungskapazität und der projizierten Auswirkungen des Klimawandels
- Kleine Inseln, auf denen die Bevölkerung und Infrastruktur durch die projizierten Auswirkungen des Klimawandels stark gefährdet sind
- Asiatische und afrikanische Megadeltas aufgrund hoher Bevölkerungszahlen und starker Gefährdung durch Meeresspiegelanstieg, Sturmfluten und Flusshochwasser.

In anderen Gebieten, selbst solchen mit hohem Einkommen, können einige Menschen (z.B. die Armen, kleine Kinder und ältere Menschen) besonders gefährdet sein, genau wie einige Gebiete und Tätigkeiten. {WGII 7.1, 7.2, 7.4, 8.2, 8.4, TS.4.5}

3.3.4 Versauerung der Ozeane:

Die Aufnahme von anthropogenem Kohlenstoff seit 1750 hat – bei einer durchschnittlichen Abnahme des pH-Werts um 0,1 Einheiten – zu einer zunehmenden Versauerung des Ozeans geführt. Steigende atmosphärische CO₂-Konzentrationen führen zu einer zunehmenden Versauerung. Die auf den SRES-Szenarien basierenden Projektionen zeigen über das 21. Jahrhundert Abnahmen des mittleren globalen Meeresoberflächen-pHs um 0,14 bis 0,35 Einheiten. Obwohl die Auswirkungen der beobachteten Versauerung der Ozeane auf die Meeresbiosphäre

bis jetzt noch nicht dokumentiert sind, wird erwartet, dass die fortschreitende Versauerung der Ozeane negative Auswirkungen auf marine schalenbildende Organismen (z.B. Korallen) hat und auf Arten, die von ihnen abhängen. {WGI SPM, WGII SPM}

3.3.5 Extremereignisse

Es wird erwartet, dass veränderte Frequenzen und Intensitäten von extremen Wetterereignissen zusammen mit dem Meeresspiegelanstieg hauptsächlich negative Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme haben (Tabelle 3.2). {WGII SPM}

Beispiele für ausgewählte Extreme und Sektoren sind in Tabelle 3.2 aufgeführt.

3.4 Das Risiko abrupten oder irreversibler Veränderungen

Je nach Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels könnte die anthropogene Erwärmung zu abrupten oder irreversiblen Auswirkungen führen. {WGII 12.6, 19.3, 19.4, SPM}

Es wird normalerweise davon ausgegangen, dass abrupte Klimaänderungen in der Größenordnung von Jahrzehnten Änderungen der Ozeanzirkulation mit einbeziehen. Darüber hinaus können über längere Zeiträume Veränderungen in Eisdecken und Ökosystemen eine Rolle spielen. Falls eine großräumige abrupte Klimaänderung eintreten sollte, könnte ihre Auswirkung recht groß sein (siehe Thema 5.2). {WGI 8.7, 10.3, 10.7; WGII 4.4, 19.3}

Ein partielles Abschmelzen von Eisschilden auf polaren Landmassen und/oder die thermische Ausdehnung von Meerwasser über sehr lange Zeit hinweg könnten mehrere Meter Meeresspiegelanstieg, erhebliche Änderungen von Küstenstrukturen sowie Überschwemmungen tief liegender Gebiete nach sich ziehen, wobei die Auswirkungen in Flussdeltas und tiefliegenden Inseln am größten wären. Aktuelle Modelle projizieren, dass bei einem dauerhaften Anstieg der mittleren globalen Temperatur um 1,9-4,6 °C (bezogen auf vorindustrielle Werte) solche Änderungen über sehr lange Zeiträume (Jahrtausende) auftreten würden. Ein schneller Meeresspiegelanstieg über einen Zeitraum von Jahrhunderten kann nicht ausgeschlossen werden. {SYR 3.2.3; WGI 6.4, 10.7; WGII 19.3, SPM}

Der Klimawandel wird *wahrscheinlich* einige irreversible Auswirkungen haben. Für etwa 20-30% der bisher untersuchten Arten besteht *wahrscheinlich* ein erhöhtes Risiko auszusterben, falls die Zunahmen der mittleren globalen Erwärmung 1,5-2,5 °C (gegenüber 1980-1999) überschreiten (*mittleres Vertrauen*). Für eine globale mittlere Erwärmung von über etwa 3,5 °C deuten Modellprojektionen weltweit signifikantes Artensterben an (40-70% der untersuchten Arten). {WGII 4.4, Abbildung SPM.2}

²⁰ Beinhaltet aride und semi-aride Regionen.

Basierend auf aktuellen Modellrechnungen ist es *sehr wahrscheinlich*, dass sich die atlantische meridionale Umwälzungsströmung (MOC) während des 21. Jahrhunderts abschwächen wird; laut Projektionen werden jedoch die Temperaturen in dieser Region ansteigen. 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. {WGI 10.3, 10.7; WGII Abbildung SPM.2, Tabelle TS.5}

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. Änderungen der terrestrischen oder ozeanischen CO₂-Aufnahme können sich auf das Klimasystem rückkoppelnd auswirken. {WGII 12.6, 19.3, Abbildung SPM.2}

Tabelle 3.2. Beispiele für mögliche Auswirkungen des Klimawandels durch Veränderungen extremer Wetter- und Klimaereignisse, basierend auf Projektionen für Mitte bis Ende des 21. Jahrhunderts. Nicht berücksichtigt sind etwaige Änderungen oder Entwicklungen bei der Anpassungskapazität. Die Wahrscheinlichkeitsabschätzungen in Spalte 2 beziehen sich auf die in Spalte 1 beschriebenen Phänomene. {WGII Tabelle SPM.1}

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 {WGII 4.4, 5.4}	Wasserressourcen {WGII 3.4}	Menschliche Gesundheit {WGII 8.2, 8.4}	Industrie, Siedlungen und Gesellschaft {WGII 7.4}
Über den meisten Landflächen wärmere und weniger kalte Tage und Nächte; wärmere und häufiger heiße Tage und Nächte	<i>Praktisch sicher^b</i>	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
Wärmepersonen/Hitzewellen: Zunahme der Häufigkeit über den meisten Landflächen	<i>Sehr wahrscheinlich</i>	Geringere Erträge in wärmeren Regionen durch Hitzebelastung; erhöhte Gefahr durch Flächenbrände	Erhöhter Wasserbedarf; Probleme mit der Wasserqualität, z.B. Algenblüte	Erhöhtes Risiko hitzebedingter 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	<i>Sehr wahrscheinlich</i>	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	<i>Wahrscheinlich</i>	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	<i>Wahrscheinlich</i>	Ernteschäden; Windwurf (Entwurzungen) 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	<i>Wahrscheinlich^d</i>	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

Anmerkungen:

- Bezüglich Definitionen siehe Tabelle 3.7 im Vierten Sachstandsbericht der Arbeitsgruppe I
- Erwärmung der extremsten Tage und Nächte jedes Jahres
- 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.
- Der projizierte mittlere globale Meeresspiegel für 2100 liegt in allen Szenarien höher als im Bezugszeitraum. Die Auswirkungen von Veränderungen der regionalen Wettersysteme auf extreme Meeresspiegel wurden nicht untersucht.

4

**Anpassungs- und Emissionsminderungsoptionen und
–reaktionen sowie die Wechselwirkung mit nachhaltiger
Entwicklung auf globaler und regionaler Ebene**

4.1 Auf Klimawandel reagieren

Gesellschaften können auf Klimawandel reagieren, indem sie sich an seine Auswirkungen anpassen und indem sie Treibhausgasemissionen reduzieren (Klimaschutz), wodurch die Geschwindigkeit und das Ausmaß der Veränderungen reduziert werden. Dieses Thema konzentriert sich auf Anpassungs- und Minderungsoptionen, die über die kommenden zwei bis drei Jahrzehnte umgesetzt werden können, und ihre Wechselwirkung mit nachhaltiger Entwicklung. Diese Reaktionen können sich gegenseitig ergänzen. Thema 5 behandelt ihre entsprechenden Rollen auf einer eher konzeptionellen Grundlage über einen längeren Zeitrahmen.

Die Fähigkeit zur Anpassung und zur Emissionsminderung hängt von sozioökonomischen und Umweltbedingungen sowie der Verfügbarkeit von Information und Technologie ab²¹. Es ist jedoch sehr viel weniger Information über die Kosten und die Effektivität von Anpassungsmaßnahmen verfügbar als über Emissionsminderungsmaßnahmen. {WGII 17.1, 17.3; WGIII 1.2}

4.2 Anpassungsmöglichkeiten

Anpassung kann die Verwundbarkeit vermindern, sowohl kurz- als auch langfristig. {WGII 17.2, 18.1, 18.5, 20.3, 20.8}

Weitere Belastungen können die Verwundbarkeit gegenüber Klimaänderungen erhöhen. Diese entstehen z.B. aus gegenwärtigen Klimagefahren, Armut, ungleichem Zugang zu Ressourcen, Nahrungsmittelunsicherheit, Trends der wirtschaftlichen Globalisierung, Konflikten und dem Auftreten von Krankheiten wie HIV/AIDS. {WGII 7.2, 7.4, 8.3, 17.3, 20.3, 20.4, 20.7, SPM}

Gesellschaften überall in der Welt haben sich schon seit langer Zeit an die Auswirkungen von Wetter- und Klimaereignissen wie Überschwemmungen, Dürren und Stürme angepasst und ihre Verwundbarkeit ihnen gegenüber verringert. Dennoch werden – ungeachtet des Ausmaßes an Emissionsminderung, das bis zum Jahr 2030 umgesetzt wird – zusätzliche Anpassungsmaßnahmen auf regionaler und lokaler Ebene vonnöten sein, um die negativen Auswirkungen der projizierten Klimaänderung und –variabilität zu mindern. 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. {WGII 17.2, SPM; WGIII 1.2}

Ein breites Angebot an Anpassungsmaßnahmen steht zur Verfügung, aber es sind weitergehende Anpassungsmaßnahmen über die existierenden hinaus nötig, um die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel zu verringern. Es bestehen Hemmnisse, Einschränkungen und Kosten, die nicht vollständig verstanden sind. Eine gewisse geplante Anpassung findet bereits statt, allerdings auf begrenzter Basis. Tabelle 4.1 liefert

Beispiele für geplante Anpassungsmöglichkeiten nach Sektor. Viele Anpassungsmaßnahmen werden durch mehrere Faktoren angetrieben, wie z.B. wirtschaftliche Entwicklung und Armutsbekämpfung, und sind in allgemeinere Initiativen zur Entwicklung oder Planung auf sektoraler, regionaler und lokaler Ebene, wie z.B. Wasserressourcenplanung, Küstenschutz und Strategien zur Verringerung von Katastrophenrisiken eingebunden. Beispiele für diese Vorgehensweise sind der Nationale Wassermanagementplan Bangladesch und die Küstenschutzpläne der Niederlande und Norwegens, die spezifische Klimaänderungsszenarien beinhalten. {WGII 1.3, 5.5.2, 11.6, 17.2}

Es gibt nur eine begrenzte Anzahl umfassender Abschätzungen der Kosten und Nutzen von Anpassung auf globaler Ebene. Die Zahl der Abschätzungen von Anpassungskosten und –nutzen auf regionaler und Projektebene bezogen auf Auswirkungen auf bestimmte Sektoren wie Landwirtschaft, Energiebedarf für Heizung und Kühlung, Management von Wasserressourcen und Infrastruktur nimmt jedoch zu. Auf der Grundlage dieser Untersuchungen besteht ein *hohes Vertrauen* darin, dass realisierbare Anpassungsmöglichkeiten bestehen, die in einigen dieser Sektoren zu geringen Kosten und/oder mit hohen Nutzen/Kosten-Verhältnissen umgesetzt werden können. Empirische Untersuchungen legen auch nahe, dass höhere Nutzen/Kosten-Verhältnisse dadurch erreicht werden können, dass einige Anpassungsmaßnahmen zu einem frühen Zeitpunkt implementiert werden, anstatt zu einem späteren Zeitpunkt langlebige Infrastruktur nachzurüsten. {WGII 17.2}

Kapazität zur Anpassung hängt eng mit der gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Entwicklung zusammen, aber sie ist nicht gleichmäßig über und innerhalb von Gesellschaften verteilt. {WGII 7.1, 7.2, 7.4, 17.3}

Die Anpassungskapazität ist dynamisch und wird durch die produktive Basis einer Gesellschaft beeinflusst, darunter: Natürliche und künstliche Anlagegegenstände, soziale Netzwerke und Berechtigungen, menschliches Kapital und Institutionen, Regierungsform, nationales Einkommen, Gesundheit und Technologie. Vielfache klimatische und nicht-klimatische Stressfaktoren beeinflussen sie ebenfalls, genau wie die Entwicklungspolitik. {WGII 17.3}

Neue Untersuchungen bestätigen das Ergebnis des TAR, dass Anpassung lebensnotwendig und vorteilhaft sein wird. Jedoch werden sowohl die Umsetzung als auch die Effektivität von Anpassungsmaßnahmen durch finanzielle, technologische, wahrnehmungs- und verhaltensbezogene, politische, gesellschaftliche, institutionelle und kulturelle Hemmnisse eingeschränkt. Selbst Gesellschaften mit hoher Anpassungskapazität bleiben anfällig gegenüber Klimaänderungen, –schwankungen und –extremen. So erzeugte eine Hitzewelle in 2003 hohe Sterberaten in europäischen Städten (insbesondere unter alten Mitmenschen), und der Wirbelsturm Katrina kostete im Jahr 2005 in den Vereinigten Staaten zahlreiche Menschenleben und finanzielle Mittel. {WGII 7.4, 8.2, 17.4}

²¹ Technologie ist als die praktische Anwendung von Wissen zur Erreichung bestimmter Aufgaben definiert, die sowohl technische Produkte (Hardware, Ausrüstung) als auch (soziale) Information („Software“, Sachkenntnis über Herstellung und Nutzung der Produkte) heranzieht.

Tabelle 4.1. Ausgewählte Beispiele geplanter Anpassung nach Sektoren.

Sektor	Anpassungsmöglichkeit/ -strategie	Zugrundeliegender politischer Rahmen	Wichtige Hemmnisse und Möglichkeiten im Rahmen der Umsetzung (normaler Schriftsatz = Hemmnisse; kursiv = Möglichkeiten)
Wasser {WGII 5.5, 16.4; Tabellen 3.5, 11.6, 17.1}	Erweiterte Regenwassernutzung; Wasserspeicherungs- und -schutztechniken; Wasserwiedernutzung; Entsalzung; Effizienz in Wassernutzung und Bewässerung	Nationale Wasserpolitik und integriertes Ressourcenmanagement; wasserbezogenes Gefahrenmanagement	Finanzielle, personelle und technische Hindernisse; integriertes Wasserressourcenmanagement; Synergien mit anderen Sektoren
Landwirtschaft {WGII 10.5, 13.5; Tabelle 10.8}	Anpassung von Pflanzzeiten und Ertragspflanzenorten; Umsiedlung von Ertragspflanzen; verbesserte Bodenbewirtschaftung, z.B. Erosionsbekämpfung und Bodenschutz durch Baumpflanzungen	F&E-Politik; institutionelle Reform; Grundbesitz- und Bodenreform; Schulung; Kapazitätsaufbau; Ertragsversicherung; finanzielle Anreize, z.B. Subventionen und Steuervergünstigungen	Technologische & finanzielle Hemmnisse; Zugang zu neuen Sorten; Märkte; längere Wachstumsperiode in höheren Breiten; Erträge durch „neue“ Produkte
Infrastruktur/Siedlung (einschl. Küstengebiete) WGII 3.6, 11.4; Tabellen 6.11, 17.1}	Umsiedlung; Deiche und Sturmflutbarrieren; Dünenverstärkung; Landgewinnung und Schaffung von Marschland/Feuchtgebieten als Puffer gegen Meeresspiegelanstieg und Überflutung; Schutz bestehender natürlicher Barrieren	Standards und Regulierungen, die die Berücksichtigung des Klimawandels in die zugehörigen Vorschriften integrieren; Landnutzungspolitik; Baugesetze; Versicherung	Finanzielle & technologische Hemmnisse; Verfügbarkeit von Raum für Umsiedlungsmaßnahmen; integrierte Politik und ganzheitliches Management; Synergien mit Zielen der nachhaltigen Entwicklung
Menschliche Gesundheit WGII 14.5, Tabelle 10.8}	Gesundheitsaktionspläne für Hitzewellen; medizinische Notfallversorgung; verbesserte Krankheitsüberwachung unter Berücksichtigung des Klimawandels und bessere Vorsorge; sauberes Wasser und verbesserte Hygiene	Öffentliche Gesundheitspolitik, die Klimarisiken berücksichtigt; Ausbau der Gesundheitsdienste; regionale und internationale Zusammenarbeit	Grenzen menschlicher Widerstandsfähigkeit (besonders anfällige Bevölkerungsgruppen); Wissensbeschränkungen; finanzielle Kapazität; verbesserte Gesundheitsdienste; höhere Lebensqualität
Tourismus {WGII 12.5, 15.5, 17.5; Tabelle 17.1}	Erweiterung des Angebots an Tourismusattraktionen und Erweiterung der Einnahmemöglichkeiten auf dieser Basis; Verlagerung von Skisport in höhere Lagen und auf Gletscher; Kunstschneeherstellung	Integrierte Planung (z.B. Belastbarkeit; Verbindungen mit anderen Sektoren); finanzielle Anreize, z.B. Subventionen und Steuervergünstigungen	Anziehungskraft/Vermarktung neuer Attraktionen; finanzielle und logistische Herausforderungen; mögliche nachteilige Auswirkungen auf andere Sektoren (z.B. könnte Kunstschneeherstellung den Energiebedarf erhöhen); Erlöse aus „neuen“ Attraktionen; Einbeziehung einer größeren Zahl von Interessensvertretern
Verkehr {WGII 7.6, 17.2}	Neuordnung/Verlegung; Planungsstandards für Straßen, Schienen und andere Infrastruktur, die Aspekte wie Erwärmung und Entwässerung technisch meistern	Einbeziehung von Aspekten des Klimawandels in die nationale Verkehrspolitik; F&E-Investitionen für besondere Situationen, z.B. Permafrostgebiete	Finanzielle & technologische Hemmnisse; Verfügbarkeit weniger anfälliger Routen; verbesserte Technologien und Verknüpfung mit wichtigen Sektoren (z.B. Energie)
Energie {WGII 7.4, 16.2}	Ausbau des Freileitungsnetzes und der Verteilungsinfrastruktur; Erdkabel für Versorgungsbedriebe; Energieeffizienz; Nutzung erneuerbarer Quellen; Verringerung der Abhängigkeit von einzelnen Energiequellen	Nationale Energiepolitik, Gesetze sowie steuerliche und finanzielle Anreize zur Förderung der Nutzung alternativer Quellen; Einbeziehung des Klimawandels in Vorgaben und Planungen	Zugang zu praktikablen Alternativen; finanzielle und technologische Hemmnisse; Akzeptanz neuer Technologien; Anreize für neue Technologien; Nutzung lokaler Ressourcen

Anmerkung:
Weitere Beispiele aus zahlreichen Sektoren würden Frühwarnsysteme mit einschließen.

4.3 Möglichkeiten zur Emissionsminderung

Sowohl aus Bottom-up- als auch aus Top-down-Untersuchungen²² geht hervor, dass **hohe Übereinstimmung und eine starke Beweislage** dafür existieren, dass ein **signifikantes wirtschaftliches Potenzial²² für die Minderung von globalen Treibhausgasemissionen über die nächsten Jahrzehnte besteht, welches den projizierten Zuwachs globaler Emissionen kompensieren oder die Emissionen unter die aktuellen Werte senken könnte.** {WGIII 11.3, SPM}

Abbildung 4.1 vergleicht das weltweite wirtschaftliche Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030 mit dem projizierten Emissionszuwachs in der Zeit von 2000 bis 2030. Bottom-up-Untersuchungen weisen darauf hin, dass Emissionsminderungsmöglichkeiten mit negativen Nettokosten²³ das Potenzial haben, Emissionen im Jahr 2030 um etwa 6 Gt CO₂-Äq./Jahr

zu senken. Dies zu realisieren erfordert, sich mit Hemmnissen bei der Umsetzung zu befassen. Das wirtschaftliche Emissionsminderungspotenzial, das im Allgemeinen größer als Marktpotenzial zur Emissionsminderung ist, kann nur ausgeschöpft werden, wenn angemessene Maßnahmen vorhanden und Hemmnisse beseitigt sind²². {WGIII 11.3, SPM}

Abbildung 4.2 zeigt Schätzungen des wirtschaftlichen Emissionsminderungspotenzials und der Grenzkosten aus Bottom-up-Studien nach Sektoren (korrigiert für Doppelzählung des Emissionsminderungspotenzials). Während Top-down- und Bottom-up-Untersuchungen auf globaler Ebene übereinstimmen, bestehen auf sektoraler Ebene erhebliche Unterschiede. {WGIII 11.3, SPM}

Keine einzelne Technologie kann das gesamte Emissionsminderungspotenzial eines Sektors liefern. Tabelle 4.2 zählt ausgewählte Beispiele von Schlüsseltechnologien, -politiken, -hemmnissen und -gelegenheiten nach Sektoren auf. {WGIII SPM}

Vergleich weltweiter wirtschaftlicher Emissionsminderungspotenziale mit projizierten Emissionszuwächsen im Jahr 2030

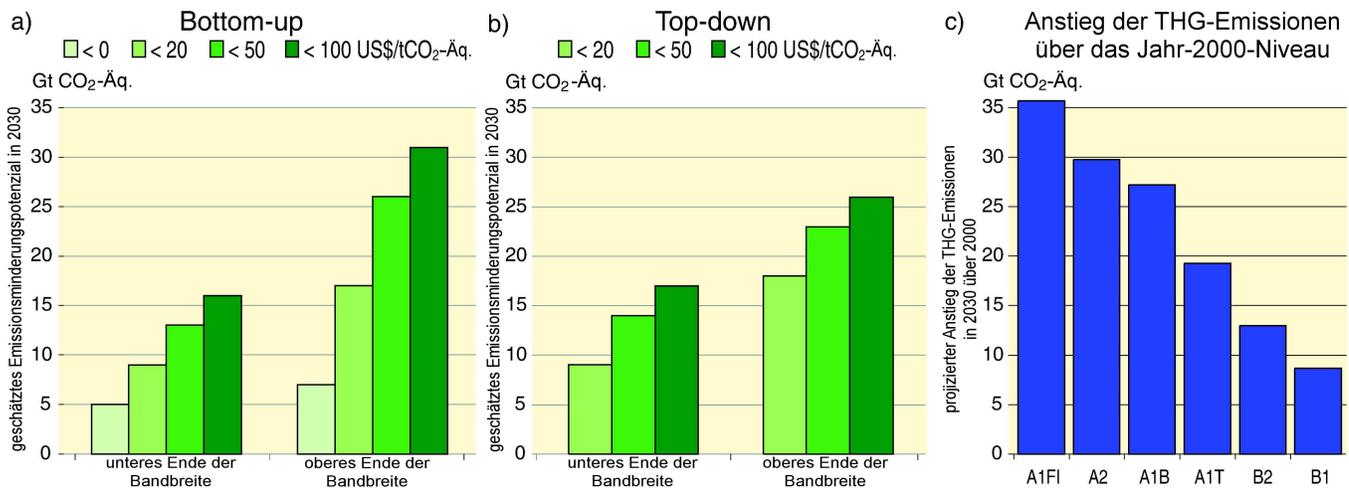


Abbildung 4.1. Aus Bottom-up- (Tafel a) und Top-down-Untersuchungen (Tafel b) abgeschätztes weltweites wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030 im Vergleich mit den projizierten Emissionszuwächsen aus SRES-Szenarien relativ zu den THG-Emissionen im Jahr 2000 von 40,8 Gt CO₂-Äq. (Tafel c). Anmerkung: THG-Emissionen im Jahr 2000 schließen weder Emissionen aus der Zersetzung oberirdischer Biomasse, die nach Abholzung oder Entwaldung verbleibt, noch aus Torffeuern und trockengelegten Torfböden mit ein, um die Konsistenz mit den SRES-Emissionszahlen sicherzustellen. {WGIII Abbildungen SPM.4, SPM.5A, SPM.5B}

²² 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 zur Emissionsminderung ist das auf der Anlastung privater Kosten und Diskontraten basierende Emissionsminderungspotenzial, das unter prognostizierten Marktbedingungen, einschließlich der zurzeit vorhandenen Politiken und Maßnahmen, erwartet werden kann (und die Sichtweise von privaten Verbrauchern und Firmen widerspiegelt). Dabei wird berücksichtigt, dass Hemmnisse die tatsächliche Umsetzung begrenzen.

Wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial ist das Emissionsminderungspotenzial, das eine Anlastung sozialer Kosten, Gewinne und Diskontraten mit einbezieht (und dabei die Sichtweise der Gesellschaft widerspiegelt; soziale Diskontraten sind niedriger als die von privaten Investoren angesetzt), unter der Annahme, dass die Effizienz des Marktes durch Politiken und Maßnahmen verbessert wird und dass Hemmnisse abgebaut werden.

Das Emissionsminderungspotenzial wird über unterschiedliche Vorgehensweisen abgeschätzt. **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.

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.

²³ Optionen mit negativen Nettokosten (no regret bzw. nachteilfreie Optionen) sind 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.

Aus Bottom-up-Untersuchungen abgeschätzte wirtschaftliche Emissionsminderungspotenziale für verschiedene Sektoren im Jahr 2030

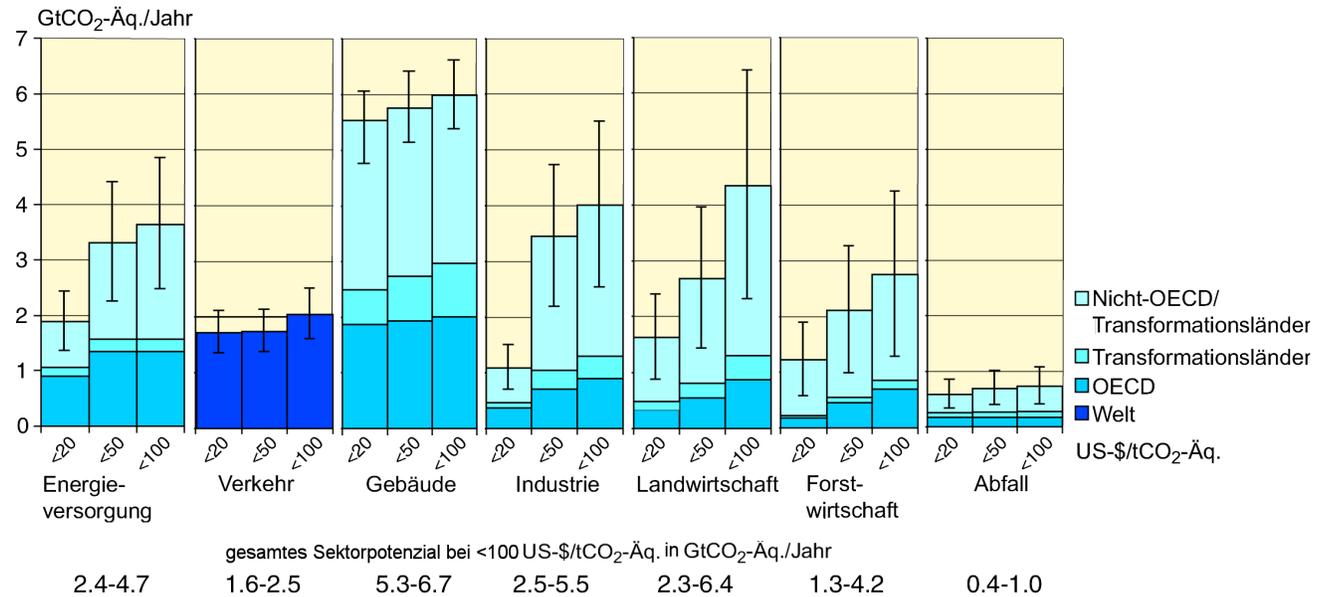


Abbildung 4.2. Geschätztes sektorales wirtschaftliches Potenzial zur Emissionsminderung für verschiedene Regionen und Sektoren unter Nutzung von Technologien und Praktiken, von denen erwartet wird, dass sie im Jahr 2030 verfügbar sind. {WGIII Abbildung SPM.6}

Anmerkungen:

- a) 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.
- b) Die geschätzten Potenziale wurden durch die Verfügbarkeit von Untersuchungen, insbesondere für hohe Kohlendioxidpreisniveaus, eingeschränkt.
- c) 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 benutzen.
- d) Für Verkehr sind nur weltweite Gesamtwerte angegeben, da internationaler Flugverkehr mit einbezogen ist.
- e) Ausgeschlossene Kategorien sind: Nicht-CO₂-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%.

Zukünftige Entscheidungen über Investitionen in Energieinfrastruktur, für die eine Gesamtsumme von über 20 Billionen US-\$²⁴ von 2005 bis 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 CO₂-Emissionen bis zum Jahr 2030 auf das Niveau von 2005 eine große Umlenkung von Investitionen nötig machen würde, obwohl die zusätzlich benötigten Nettoinvestitionen von vernachlässigbar bis zu 5–10% reichen. {WGIII 4.1, 4.4, 11.6, SPM}

Obwohl die Untersuchungen unterschiedliche Methoden anwenden, besteht **hohe Übereinstimmung** darin und eine **starke Beweislage** dafür, dass 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 können. {WGIII 11.8, SPM}

Energieeffizienz und die Nutzung erneuerbarer Energien bieten Synergien mit nachhaltiger Entwicklung. In den am wenigsten entwickelten Ländern kann der Nutzung anderer Energiequellen die Sterblichkeit und Morbidität durch die Verringerung der Raumluftverschmutzung senken, die Arbeitsbelastung für Frauen und Kinder verringern und die nicht nachhaltige Nutzung von Feuerholz sowie die damit verbundene Entwaldung senken. {WGIII 11.8, 11.9, 12.4}

Die nach dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) entstandene Literatur bestätigt mit **hoher Übereinstimmung** und **mittlerer Beweislage**, 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. {WGIII 11.7, SPM}

²⁴ 20 Billionen = 20.000 Milliarden = 20*10¹²

Tabelle 4.2. Ausgewählte Beispiele für sektorale Schlüsseltechnologien, -politiken und -maßnahmen sowie -hemmnisse und -gelegenheiten zur Emissionsminderung.
 {WGIII Tabellen SPM.3, SPM.7}

Sektor	Aktuell auf dem Markt befindliche Schlüsseltechnologien und -praktiken zur Emissionsminderung. Schlüsseltechnologien und -praktiken zur Emissionsminderung, für die eine Kommerzialisierung bis 2030 projiziert wird, sind kursiv dargestellt.	Politiken, Maßnahmen und Instrumente, die sich als umweltwirksam erwiesen haben	Wesentliche Einschränkungen oder Möglichkeiten (Normaldruck = Hemmnisse; kursiv = Möglichkeiten)
Energieversorgung {WGIII 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 entriegelm CO ₂); CCS für gas-, biomasse- oder kohlebetriebene Stromkraftwerke; <i>weiterentwickelte Kernenergie; weiterentwickelte erneuerbare Energien, einschli. Gezeiten- und Wellenkraftwerke, solarthermische Energie (CSP – concentrating solar power) und solare Photovoltaik</i>	Verringerung von Subventionen für fossile Brennstoffe; Steuern oder Kohlendioxidabgaben auf fossile Brennstoffe Einsparvergütungen für Erneuerbare-Energien-Technologien; Verpflichtungen für erneuerbare Energien; Subventionen für Produzenten	Widerstand durch Interessensgruppen aufgrund bestehender Rechte könnte die Umsetzung erschweren. <i>Können angemessen sein, um Märkte für Niedrigemissionstechnologien zu schaffen</i>
Verkehr {WGIII 5.4}	Treibstoffeffizientere Fahrzeuge; Hybridfahrzeuge; sauberere Dieselfahrzeuge; Biotreibstoffe; modale Verlagerung vom Straßenverkehr auf die Schiene und öffentliche Verkehrssysteme; nicht-motorisierter Verkehr (Fahrradfahren, Zufußgehen); Landnutzungs- und Verkehrsplanung; <i>Biotreibstoffe zweiter Generation; effizientere Flugzeuge; weiterentwickelte Elektro- und Hybridfahrzeuge mit stärkeren und zuverlässigeren Batterien</i>	Verpflichtende Standards für Treibstoffverbrauch, Biotreibstoffbeimischung und CO ₂ -Standards für den Straßenverkehr Steuern auf Fahrzeugkauf, Zulassung, Nutzung und Treibstoffe, Straßen- und Parkgebühren Mobilitätsbedürfnisse durch Flächennutzungsregelungen und Infrastrukturplanung beeinflussen; Investitionen in attraktive öffentliche Verkehrssysteme und nicht-motorisierte Verkehrstrassen	Unvollständige Erfassung der Fahrzeugflotte kann die Effektivität begrenzen Effektivität kann mit höheren Einkommen sinken <i>Besonders geeignet für Länder, die gerade ihre Verkehrssysteme aufbauen</i>
Gebäude {WGIII 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 Kühleffizienzen, Rückgewinnung und Wiederverwertung von flüorierten Gasen; <i>integrale Energiekonzepte für Geschäftsgebäude einschließlich Technologie wie z.B. intelligente Zähler, die Rückkopplung und Steuerung ermöglichen; in Gebäude integrierte Photovoltaik</i>	Gerätestandards und Kennzeichnung Gebäudestandards und Zertifizierung Programme zur Nachfragesteuerung (demand-side management)	Regelmäßige Überarbeitung der Standards nötig <i>Attraktiv für neue Gebäude. Durchsetzung kann schwierig sein</i> Regulierung notwendig, so dass Versorgungsunternehmen profitieren können <i>Regierungseinkäufe können die Nachfrage nach energieeffizienten Produkten steigern.</i> <i>Erfolgskriterium: Zugang zu Drittmitteln</i>
Industrie {WGIII 7.5}	Effizientere elektrische Endverbraucher-ausrüstung; Wärme- und Stromrückgewinnung; Materialwiederverwertung und -ersatz; Emissionsminderung von Nicht-CO ₂ -Gasen; sowie ein breites Spektrum an prozessspezifischen Technologien; <i>weiterentwickelte Energieeffizienz; CCS bei Zement-, Ammoniak- und Eisenherstellung; inerte Elektroden für die Aluminiumherstellung</i>	Bereitstellung von Informationen für einen Leistungsvergleich (benchmark information); Leistungsstandards; Subventionen, Steuervergünstigungen Handelbare Zertifikate Freiwillige Vereinbarungen	<i>Können angebracht sein, um die Etablierung der Technologien anzuregen. Beständigkeit der nationalen Politik ist wichtig im Hinblick auf internationale Wettbewerbsfähigkeit.</i> Vorhersehbare Zuteilungsmechanismen und stabile Preissignale sind wichtig für Investitionen. Erfolgskriterien sind unter anderem: klare Ziele, ein Referenzszenario, Einbeziehung Dritter in Entwurf und Begutachtung und formelle Überwachungsmaßnahmen, enge Zusammenarbeit zwischen Regierung und Industrie.
Landwirtschaft {WGIII 8.4}	Verbessertes Management von Acker- und Weideland 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 ₂ O-Emissionen; gezielter Anbau von Energiepflanzen als Ersatz für fossile Brennstoffe; erhöhte Energieeffizienz; <i>Verbesserung der Ernteerträge</i>	Finanzielle Anreize und Regelungen für verbesserte Bodenbewirtschaftung, für die Erhaltung des Bodenkohlenstoffgehalts, für Effizienz in Düngernutzung und Bewässerung	<i>Kann Synergie mit nachhaltiger Entwicklung und mit Verringerung der Verwundbarkeit gegenüber der Klimawandelung fördern und dadurch Hemmnisse gegen die Umsetzung überwinden.</i>
Forstwirtschaft/Wälder {WGIII 9.4}	(Wieder-)Aufforstung; Forstwirtschaft; reduzierte Entwaldung; Regulierung von Holzprodukten; Nutzung von Forstprodukten für Bioenergie als Ersatz für fossile Brennstoffe; <i>Weiterentwicklung von Baumarten zur Steigerung der Biomasseproduktivität und Kohlenstoffspeicherung; Verbesserte Fernerkundungstechnologien für die Analyse des Potenzials zur Kohlendioxidaufnahme durch Vegetation/Böden und für die Kartierung von Landnutzungsänderungen</i>	Finanzielle Anreize (national und international) für eine Vergrößerung der Waldfläche, eine Verringerung der Entwaldung und die Erhaltung und Bewirtschaftung von Wäldern; Landnutzungsregelungen und deren Durchsetzung	Einschränkungen sind unter anderem der Mangel an Investitionskapital und Grundigentumsfragen. <i>Kann die Armutsbekämpfung unterstützen.</i>
Abfall {WGIII 10.4}	Rückgewinnung von Methan aus Deponien; Müllverbrennung mit Energierückgewinnung; Kompostierung organischer Abfälle; kontrollierte Abwasserbehandlung; Recycling und Abfallminimierung; <i>Methanoxidationsschicht (Biocover) und Biofilter für optimierte CH₄-Oxidation</i>	Finanzielle Anreize für verbesserte Abfall- und Abwasserwirtschaft Anreize oder Verpflichtungen zur Nutzung erneuerbarer Energien Abfallwirtschaftsvorschriften	<i>Können die Verbreitung von Technologien anregen.</i> Lokale Verfügbarkeit von Brennstoff zu niedrigen Preisen Am wirkungsvollsten auf nationaler Ebene mit Durchsetzungsstrategien umgesetzt

Nationen, die fossile Brennstoffe exportieren (sowohl in Annex I- wie auch in Nicht-Annex I-Ländern) können, wie im TAR angemerkt, geringere Nachfrage und Preise sowie ein geringeres BIP-Wachstum aufgrund von Emissionsminderungsmaßnahmen erwarten. Das Ausmaß dieses „spill over“-Effekts hängt stark von den Annahmen zu politischen Entscheidungen und den Bedingungen auf dem Ölmarkt ab. {WGIII 11.7, SPM}

Es verbleiben kritische Unsicherheiten in der Bewertung von Verlagerungen von Kohlendioxidemissionen. Die meisten Gleichgewichtsmodelle unterstützen die Schlussfolgerung im TAR, dass durch Kyoto-Maßnahmen eine gesamtwirtschaftliche Verlagerung in der Größenordnung von 5–20% entstände, die geringer ausfiele, wenn wettbewerbsfähige Niedrigemissionstechnologien effektiv verbreitet würden. {WGIII 11.7, SPM}

Es besteht ebenfalls hohe Übereinstimmung und eine mittlere Beweislage dafür, dass Änderungen des Lebensstils und der Verhaltensmuster über alle Sektoren hinweg zum Klimaschutz beitragen können. Managementpraktiken können ebenfalls eine positive Rolle spielen. {WGIII SPM}

Beispiele, die positive Auswirkungen für den Klimaschutz haben können, sind unter anderem: Veränderungen von Konsummustern, Bildung und Ausbildung, Verhaltensänderungen bei Hausbewohnern, Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage und Managementinstrumente in der Industrie. {WGIII 4.1, 5.1, 6.7, 7.3, SPM}

Politiken, die einen realen oder impliziten Kohlendioxidpreis einführen, könnten Anreize für Hersteller und Verbraucher schaffen, in hohem Maße in kohlendioxidarme Produkte, Technologien und Prozesse zu investieren. {WGIII SPM}

Ein wirksames Kohlendioxid-Preissignal könnte signifikantes Emissionsminderungspotenzial in allen Sektoren realisieren. Modellstudien zeigen, dass weltweite Kohlendioxidpreise, die bis zum Jahr 2030 auf 20 bis 80 US-\$/t CO₂-Äq. ansteigen, mit einer Stabilisierung bei etwa 550 ppm CO₂-Äq. bis zum Jahr 2100 im Einklang stehen. Für das gleiche Stabilisierungsniveau können in nach dem TAR durchgeführten Untersuchungen, die den induzierten Technologiewandel berücksichtigen, diese Preisspannen auf 5 - 65 US-\$/t CO₂-Äq. im Jahr 2030 sinken²⁵. {WGIII 3.3, 11.4, 11.5, SPM}

Es besteht hohe Übereinstimmung darüber und eine starke Beweislage dafür, dass den Regierungen eine große Anzahl nationaler Politiken und Instrumente zur Verfügung steht, 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 Län-

dern und Sektoren zeigt aber, dass es bei jedem Instrument Vor- und Nachteile gibt. {WGIII 13.2, SPM}

Es werden vier Hauptkriterien für die Bewertung von Politiken und Instrumenten angewandt: Umweltwirksamkeit, Kosteneffizienz, Verteilungseffekte einschließlich Gerechtigkeit und institutionelle Machbarkeit. {WGIII 13.2, SPM}

Allgemeine Erkenntnisse über die Effizienz von Maßnahmen sind: {WGIII 13.2, SPM}

- 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.

²⁵ In diesem Bericht bewertete Untersuchungen zu Emissionsminderungsportfolios und gesamtwirtschaftlichen 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 gesamte 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. Bei der Anwendung von Ansätzen, die auf induziertem Technologiewandel basieren, auf Stabilisierungsuntersuchungen wurden signifikante Fortschritte gemacht; es verbleiben jedoch konzeptionelle Fragen. In den Modellen, die diese Ansätze aufgreifen, sind die projizierten Kosten für ein bestimmtes Stabilisierungsniveau reduziert; die Reduzierungen sind dann bei niedrigeren Stabilisierungsniveaus größer.

- **Informationsmaßnahmen** (z.B. Kampagnen zur Bewusstseinsbildung) können die Umweltqualität positiv beeinflussen, indem sie informierte Entscheidungen fördern und möglicherweise zu Verhaltensänderungen führen. Ihr Einfluss auf Emissionen ist jedoch noch nicht bestimmt worden.
- **Forschung, Entwicklung und Demonstration (FE&D)** 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. {WGIII 13.4, SPM}

4.4 Verhältnis zwischen Anpassungs- und Emissionsminderungsmöglichkeiten und das Verhältnis zur nachhaltigen Entwicklung

Es gibt ein wachsendes Verständnis der Möglichkeiten, Emissionsminderungsmöglichkeiten in mehreren Sektoren so auszuwählen und umzusetzen, dass Synergien gefördert und Konflikte mit anderen Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung vermieden werden. {WGIII SPM}

Auf erneuerbare Energien und Energieeffizienz bezogene Klimapolitik lohnt sich oft wirtschaftlich, verbessert die Energiesicherheit und verringert lokale Schadstoffemissionen. 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. {WGII 20.3, 20.8; WGIII 4.5, 9.7, 12.3, SPM}

Es gibt zunehmend Hinweise darauf, dass Entscheidungen über z.B. makroökonomische Vorgehensweisen, Landwirtschaftspolitik, multilaterale Entwicklungsbankkredite, Versicherungspraktiken, Strommarktreformenten, Energiesicherheit und Schutz der Wälder, die oft gesondert von der Klimapolitik behandelt werden, Emissionen signifikant reduzieren können (Tabelle 4.3). Genauso können Politiken zu anderen Themen die Anpassungskapazität und die Verwundbarkeit beeinflussen. {WGII 20.3; WGIII SPM, 12.3}

Es bestehen sowohl Synergien als auch gegenläufige Effekte zwischen Anpassungs- und Emissionsminderungsmöglichkeiten. {WGII 18.4.3; WGIII 11.9}

Beispiele für Synergien sind unter anderem sachgemäß gestaltete Biomasseproduktion, die Bildung von Schutzgebieten, Landmanagement, Energieverbrauch in Gebäuden und Forstwirtschaft, wohingegen die Synergien in anderen Sektoren eher begrenzt sind. Möglicherweise gegenläufige Effekte wären z.B. erhöhte THG-Emissionen aufgrund eines erhöhten Energieverbrauchs in Zusammenhang mit Anpassungsmaßnahmen. {WGII 18.4.3, 18.5, 18.7, TS.5.2.; WGIII 4.5, 6.9, 8.5, 9.5, SPM}

Tabelle 4.3. Die Berücksichtigung des Klimawandels integriert in Entwicklungspolitiken - ausgewählte Beispiele im Bereich der Emissionsminderung. {WGIII 12.2.4.6}

Ausgewählte Sektoren	Instrumente und Aktionen der Nicht-Klima-Politik	Mögliche Auswirkung auf THG-Emissionen
Gesamtwirtschaft	Implementierung von Nicht-Klima-Steuern/-Subventionen und/oder anderen fiskalischen und Gesetzesmaßnahmen, die nachhaltige Entwicklung fördern	Gesamte weltweite THG-Emissionen
Forstwirtschaft	Aufnahme von Praktiken zum Naturschutz und zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Wäldern	THG-Emissionen aus Entwaldung
Strom	Annahme von kosteneffektiven erneuerbaren Energien, nachfrageseitige Managementprogramme sowie die Verringerung von Übertragungs- und Verteilungsverlusten	CO ₂ -Emissionen aus dem Stromsektor
Erdölimporte	Diversifizierung des importierten und nationalen Treibstoffmixes und Verringerung der Energieintensität der Wirtschaft, um die Energiesicherheit zu erhöhen	Emissionen aus Importen von Rohöl und Rohölprodukten
Versicherung im Gebäude- und im Verkehrssektor	Differenzierte Prämien, Haftpflichtausschlüsse, verbesserte Bedingung für „grüne Produkte“	THG-Emissionen des Verkehrs- und des Gebäudesektors
Internationales Finanzwesen	Landes- und Sektorenstrategien und Projektdarlehen, die Emissionen reduzieren	Emissionen aus Entwicklungsländern

4.5 Internationale und regionale Zusammenarbeit

Es besteht *hohe Übereinstimmung* darüber und eine *starke Beweislage* dafür, dass bemerkenswerte Errungenschaften der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) und ihres Kyoto-Protokolls 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 sind, die die Grundlage für zukünftige Anstrengungen zur Emissionsminderung sein können. Bei der Behandlung von Anpassung innerhalb der UNFCCC gab es ebenfalls Fortschritte, und es sind weitere internationale Initiativen vorgeschlagen worden. {WGII 18.7; WGIII 13.3., SPM}

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. Um umweltwirksamer zu sein, müssten zukünftige Klimaschutzanstrengungen stärkere Reduzierungen bezüglich eines größeren Anteils der weltweiten Emissionen erreichen (siehe Thema 5). {WGIII 1.4, 11.4, 13.3, SPM}

Die Literatur liefert mit *hoher Übereinstimmung* eine *starke Beweislage* dafür, dass viele Möglichkeiten für die Erreichung von Minderungen der weltweiten THG-Emissionen durch Zusammenarbeit auf internationaler Ebene bestehen. Sie lässt auch darauf schließen, dass erfolgreiche Abkommen umweltwirksam und kosteneffektiv sind, Verteilungsaspekte und Gerechtigkeit mit einbeziehen und institutionell machbar sind. {WGIII 13.3., SPM}

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

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. {WGIII 13.3, SPM}

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. {WGIII 13.3, SPM}

5

Die langfristige Perspektive: wissenschaftliche und sozioökonomische Aspekte, die relevant für Anpassung und Emissionsminderung und konsistent mit den Zielen und Vorgaben der Konvention sind sowie im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung stehen

5.1 Die Risikomanagement-Perspektive

Eine Reaktion auf den Klimawandel erfordert einen iterativen Risikomanagementprozess, der sowohl Emissionsminderung als auch Anpassung mit einbezieht und die tatsächlichen und vermiedenen Schäden durch Klimawandel, positive Nebeneffekte, Nachhaltigkeit, Gerechtigkeit und Einstellungen gegenüber Risiken berücksichtigt. {WGII 20.9, SPM; WGIII SPM}

Techniken zum Risikomanagement können ausdrücklich sektoraler, regionaler und zeitlicher Vielfalt gerecht werden. Für ihre Anwendung benötigt man jedoch nicht nur Informationen über Auswirkungen, die durch die wahrscheinlichsten Klimaszenarien ausgelöst werden, sondern auch über Auswirkungen, die aus Ereignissen mit geringerer Wahrscheinlichkeit, aber stärkeren Konsequenzen entstehen, sowie Informationen über die Folgen der vorgeschlagenen Politiken und Maßnahmen. Unter Risiko versteht man im Allgemeinen das Produkt aus der Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses und seinen Konsequenzen. Auswirkungen des Klimawandels hängen von den Eigenschaften natürlicher und menschlicher Systeme, ihren Entwicklungspfaden und ihren spezifischen Standorten ab. {SYR 3.3, Abbildung 3.6; WGII 20.2, 20.9, SPM; WGIII 3.5, 3.6, SPM}

5.2 Hauptverwundbarkeiten, Auswirkungen und Risiken – langfristige Perspektiven

Die im Dritten Sachstandsbericht festgehaltenen fünf „Gründe zur Besorgnis“ werden inzwischen als dringender eingeschätzt, wobei viele Risiken mit höherer Sicherheit identifiziert werden. Einige werden laut Projektionen

größer sein oder bei geringeren Temperaturanstiegen auftreten. Dies liegt an: (1) besserem Verständnis des Ausmaßes von Auswirkungen und Risiken im Zusammenhang mit steigender globaler Durchschnittstemperatur und ebensolchen THG-Konzentrationen, einschließlich der Verwundbarkeit gegenüber heutiger Klimavariabilität, (2) genauere Identifizierung der Randbedingungen, die Systeme, Sektoren, Gruppen und Regionen besonders empfindlich sein lassen, und (3) zunehmenden Hinweisen darauf, dass das Risiko sehr starker Auswirkungen in einem Zeitrahmen von mehreren hundert Jahren weiterhin steigen würde, solange THG-Konzentrationen und die Temperatur weiterhin ansteigen. Das Verständnis der Beziehung zwischen Auswirkungen (die Grundlage für die „Gründe zur Besorgnis“ im TAR) und Verwundbarkeit (die die Fähigkeit zur Anpassung an Auswirkungen mit einschließt) hat sich verbessert. {WGII 4.4, 5.4, 19.ES, 19.3.7, TS.4.6; WGIII 3.5, SPM}

Der TAR zog die Schlussfolgerung, dass Verwundbarkeit gegenüber Klimawandel eine Funktion von Belastung, Empfindlichkeit und Anpassungskapazität ist. Anpassung kann die Empfindlichkeit gegenüber Klimawandel verringern, während Emissionsminderung die Belastung durch den Klimawandel, einschließlich seiner Geschwindigkeit und seines Ausmaßes, verringern kann. Beide Schlussfolgerungen werden in der vorliegenden Bewertung bestätigt. {WGII 20.2, 20.7.3}

Kein einzelnes Maßsystem kann die Vielfältigkeit von Hauptverwundbarkeiten angemessen beschreiben oder ihre Rangfolge bestätigen. Eine Auswahl relevanter Auswirkungen ist in Abbildung 3.6 dargestellt. Die Abschätzung von Hauptverwundbarkeiten in einem beliebigen System sowie der implizierte Schaden werden von der Belastung (Geschwindigkeit und Ausmaß der Klimaänderung), der Sensitivität, die teilweise und wo relevant vom Entwicklungsstand abhängt, und der Anpassungskapazität bestimmt. Einige Hauptverwundbarkeiten

Hauptverwundbarkeiten und Artikel 2 der UNFCCC

Artikel 2 der UNFCCC besagt:

„Das Endziel dieses Übereinkommens und aller damit zusammenhängenden Rechtsinstrumente, welche die Konferenz der Vertragsparteien beschließt, ist es, in Übereinstimmung mit den einschlägigen Bestimmungen des Übereinkommens die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.“

Die Festlegung, was in Bezug auf Artikel 2 der UNFCCC eine „gefährliche anthropogene Störung“ darstellt, beinhaltet Werturteile. Wissenschaft kann informierte Entscheidungen zu dieser Frage erleichtern, unter anderem indem sie Kriterien für eine Beurteilung dessen liefert, welche Verwundbarkeiten in diesem Zusammenhang als „Hauptverwundbarkeiten“ bezeichnet werden können. {SYR 3.3, WGII 19.ES}

Hauptverwundbarkeiten²⁶ können im Zusammenhang mit vielen klimasensiblen Systemen auftreten, darunter Nahrungsversorgung, Infrastruktur, Gesundheit, Wasserressourcen, Küstensysteme, Ökosysteme, globale biogeochemische Kreisläufe, Eisschilde und Zustände der ozeanischen und atmosphärischen Zirkulation. {WGII 19.ES}

Es steht inzwischen spezifischere Information über das Wesen zukünftiger Auswirkungen in den verschiedenen Regionen der Welt zur Verfügung, auch für einige Orte, die in früheren Bewertungen nicht behandelt worden waren. {WGII SPM}

²⁶ Hauptverwundbarkeiten können aufgrund einer Reihe von Kriterien in der Literatur identifiziert werden, darunter Ausmaß, Zeitpunkt, Fortdauer/Ukehrbarkeit, Anpassungspotenzial, Aspekte der Verbreitung, Wahrscheinlichkeit und „Bedeutung“ der Auswirkungen.

ten können mit Schwellenwerten zusammenhängen: in einigen Fällen können diese ein System von einem Zustand in den anderen übergehen lassen, während andere subjektiv festgelegte Schwellenwerte haben und so von gesellschaftlichen Werten abhängen. {WGII 19.ES, 19.1}

Die im Dritten Sachstandsbericht festgehaltenen „Gründe zur Besorgnis“ sollten Informationen zu Klimarisiken und Hauptverwundbarkeiten zusammenführen und „Leser unterstützen bei ihrer eigenen Festlegung“ von Risiken. Sie bilden einen nach wie vor gültigen Rahmen bei der Berücksichtigung von Haupt-Verwundbarkeiten und wurden im AR4 aktualisiert. {TAR WGII Kapitel 19; WGII SPM}

- **Risiken für einzigartige und bedrohte Systeme.** Es gibt neue und stärkere Hinweise auf beobachtete Auswirkungen des Klimawandels auf einzigartige und verwundbare Systeme (wie z.B. polare und Hochgebirgsgesellschaften und -ökosysteme), wobei die negativen Effekte mit weiter steigenden Temperaturen verstärkt werden. Für eine fortschreitende Erwärmung wird ein erhöhtes Risiko für Artensterben und Schäden an Korallenriffen mit höherem Vertrauen als im TAR projiziert. Für etwa 20-30% der bisher untersuchten Arten besteht *wahrscheinlich* ein erhöhtes Aussterberisiko, falls die Zunahmen der mittleren globalen Erwärmung 1,5-2,5 °C gegenüber den Niveaus von 1980-1999 überschreiten (*mittleres Vertrauen*). Das Vertrauen darin, dass ein Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur um 1-2 °C über die Werte von 1990 (etwa 1,5-2,5 °C über vorindustriellen Werten) signifikante Risiken für viele einzigartige und bedrohte Systeme, einschließlich vieler Hotspots biologischer Vielfalt, darstellt, ist gestiegen. Korallen sind gegenüber thermalem Stress verwundbar und besitzen eine geringe Anpassungskapazität. Eine Erwärmung der Meeresoberfläche um etwa 1-3 °C führt laut Projektionen zu häufigeren Korallenbleichen und großflächigem Absterben, es sei denn, es kommt zu einer thermalen Anpassung oder Akklimatisierung seitens der Korallen. Es wird eine zunehmende Verwundbarkeit von indigenen Bevölkerungsgruppen in der Arktis und von Bewohnern kleiner Inseln gegenüber einer Erwärmung projiziert. {SYR 3.3, 3.4, Abbildung 3.6, Tabelle 3.2; WGII 4.ES, 4.4, 6.4, 14.4.6, 15.ES, 15.4, 15.6, 16.ES, 16.2.1, 16.4, Tabelle 19.1, 19.3.7, TS.5.3, Abbildung TS.12, Abbildung TS.14 }
- **Risiken extremer Wetterereignisse.** Die Reaktionen auf einige jüngste Extremereignisse decken höhere Verwundbarkeiten auf als im TAR dargestellt. Es besteht nun ein höheres Vertrauen in die projizierten Zunahmen von Dürren, Hitzewellen und Überschwemmungen sowie deren nachteiligen Auswirkungen. Wie in Tabelle 3.2 zusammengefasst, zeigen die Projektionen für viele Regionen Zunahmen von Dürren, Hitzewellen und Überschwemmungen, die größtenteils nachteilige Auswirkungen hätten, darunter verstärkte Wasserknappheit und Flächenbrandhäufigkeit, nachteilige Folgen für die Nahrungsproduktion, Gesundheitsverschlechterung, erhöhtes Überschwemmungsrisiko und extrem hohe Meeresspiegel sowie Schäden an Infrastruktur. {SYR 3.2, 3.3, Tabelle 3.2; WGI 10.3, Tabelle SPM.2; WGII 1.3, 5.4, 7.1, 7.5, 8.2, 12.6, 19.3, Tabelle 19.1, Tabelle SPM.1}
- **Verteilung von Auswirkungen und Verwundbarkeiten.** Zwischen den Regionen bestehen erhebliche Unterschiede, und diejenigen in der schwächsten wirtschaftlichen Lage sind oft am verwundbarsten gegenüber dem Klimawandel und häufig am empfindlichsten gegenüber klimaerzeugten Schäden, insbesondere, wenn sie multiplen Stressfaktoren ausgesetzt sind. Es gibt zunehmend Hinweise auf eine größere Verwundbarkeit bestimmter Gruppen, wie z.B. der Armen und der älteren Menschen, nicht nur in Entwicklungs- sondern auch in Industrieländern. Es besteht nun größeres Vertrauen in die Projektionen regionaler Muster des Klimawandels (siehe Thema 3.2) und in die Projektionen regionaler Auswirkungen, was eine bessere Identifizierung von besonders verwundbaren Systemen, Sektoren und Regionen ermöglicht (siehe Thema 3.3). Darüber hinaus gibt es stärkere Anzeichen dafür, dass Gebiete niedriger Breiten und mit geringerem Entwicklungsstand im Allgemeinen größeren Risiken ausgesetzt sind, z.B. in Trockengebieten und in Megadeltas. Neue Untersuchungen bestätigen, dass Afrika aufgrund der Bandbreite projizierter Auswirkungen, multipler Stressfaktoren und geringer Anpassungskapazität einer der verwundbarsten Kontinente ist. Erhebliche Risiken aufgrund des Meeresspiegelanstiegs werden insbesondere für asiatische Megadeltas und für die Gesellschaften auf kleinen Inseln projiziert. {SYR 3.2, 3.3, 5.4; WGI 11.2-11.7, SPM; WGII 3.4.3, 5.3, 5.4, Kasten 7.1 und 7.4, 8.1.1, 8.4.2, 8.6.1.3, 8.7, 9.ES, Tabelle 10.9, 10.6, 16.3, 19.ES, 19.3, Tabelle 19.1, 20.ES, TS.4.5, TS.5.4, Tabellen TS.1, TS.3 und TS.4, SPM}
- **Aggregierte Nettoauswirkungen.** Im Vergleich zum TAR wird projiziert, dass anfängliche Marktvorteile durch den Klimawandel ihren Höhepunkt bei geringerem Ausmaß und daher früher erreichen werden, als im TAR abgeschätzt. Es werden *wahrscheinlich* größere Schäden bei größerem Ausmaß an weltweiter Temperaturerhöhung auftreten, als im TAR abgeschätzt und die Nettokosten der Auswirkungen einer verstärkten Erwärmung werden voraussichtlich mit der Zeit zunehmen. Aggregierte Auswirkungen wurden auch in anderen Metriken quantifiziert (siehe Thema 3.3): so wird z.B. der Klimawandel *wahrscheinlich* über das kommende Jahrhundert hunderte Millionen Menschen durch verstärkte Küstenüberflutungen, Rückgänge in der Wasserversorgung, verstärkte Unterernährung und gesundheitliche Auswirkungen negativ beeinflussen. {SYR 3.3, Abbildung 3.6; WGII 19.3.7, 20.7.3, TS.5.3}
- **Risiken großräumiger Singularitäten²⁷.** Wie in Thema 3.4 besprochen, ist für dieses Jahrhundert eine großräumige abrupte Veränderung der Meridionalen Umwälzzirkulation des Ozeans (MOC) *sehr unwahrscheinlich*. Es besteht ein *hohes Vertrauen* darin, dass eine globale Erwärmung über viele Jahrhunderte hinweg zu einem Meeresspiegelanstieg allein wegen der Wärmeausdehnung führen würde, der als sehr viel größer projiziert wird, als über das 20. Jahrhundert

²⁷ Siehe Glossar

beobachtet. Damit verbunden wären Verluste von Küstenregionen und weitere Auswirkungen. Das Verständnis darüber, dass das Risiko zusätzlicher Beiträge zum Meeresspiegelanstieg sowohl durch den Grönland- als auch möglicherweise den Antarktis-Eisschild größer sein könnte, als von Eisschildmodellen projiziert, und dass sie in einem Zeitrahmen von Jahrhunderten auftreten könnten, hat sich seit dem TAR verbessert. Dies beruht darauf, dass eisdynamische Prozesse, die durch neueste Beobachtungen nahegelegt werden, in den im AR4 bewerteten Eisschildmodellen jedoch nicht mit einbezogen wurden, die Geschwindigkeit des Eisverlusts erhöhen könnten. Ein komplettes Abschmelzen des Grönlandeisschilts würde den Meeresspiegel um 7 m anheben und wäre möglicherweise irreversibel. {SYR 3.4; WGI 10.3, Kasten 10.1; WGII 19.3.7, SPM}

5.3 Anpassung und Emissionsminderung

Es besteht hohes Vertrauen darin, dass weder Anpassung noch Emissionsminderung allein alle Auswirkungen des Klimawandels verhindern können. Anpassung ist kurz- und längerfristig vonnöten, um die Auswirkungen der Erwärmung anzugehen, die selbst für die am niedrigsten bewerteten Stabilisierungsszenarien auftreten würde. Es bestehen Hemmnisse, Beschränkungen und Kosten, diese sind jedoch nicht vollständig verstanden. Anpassung und Emissionsminderung können sich gegenseitig ergänzen und gemeinsam die Risiken des Klimawandels signifikant verringern. {WGII 4.ES, TS 5.1, 18.4, 18.6, 20.7, SPM; WGIII 1.2, 2.5, 3.5, 3.6}

Anpassung wird in einigen Fällen unwirksam sein, wie z.B. in natürlichen Ökosystemen (z.B. der Verlust von arktischem Meereis und die Lebensfähigkeit mariner Ökosysteme), bei dem Verschwinden von Gebirgsgletschern, die eine lebenswichtige Rolle in der Wasserspeicherung und -versorgung spielen, oder bei der Anpassung an Meeresspiegelanstiege von mehreren Metern²⁸. Sie wird in vielen Fällen für den projizierten Klimawandel über die nächsten paar Jahrzehnte hinaus weniger machbar oder sehr teuer sein (wie z.B. in Deltaregionen und Flussmündungen). Es besteht *hohes Vertrauen* darin, dass die natürliche Anpassungsfähigkeit vieler Ökosysteme in diesem Jahrhundert überschritten werden wird. Hinzu kommt, dass eine Vielzahl an Hemmnissen und Beschränkungen für effektive Anpassung in menschlichen Systemen besteht (siehe Thema 4.2). {SYR 4.2; WGII 17.4.2, 19.2, 19.4.1}

Ein unverminderter Klimawandel würde langfristig *wahrscheinlich* die Anpassungskapazität von natürlichen, bewirtschafteten und menschlichen Systemen überschreiten. Sich nur auf Anpassung zu verlassen, könnte im Endeffekt zu einem Ausmaß an Klimawandel führen, an das eine wirksame Anpassung

nicht möglich oder nur zu sehr hohen gesellschaftlichen, umweltbezogenen und wirtschaftlichen Kosten verfügbar wäre. {WGII 18.1, SPM}

Bemühungen, THG-Emissionen zu verringern, um die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Klimawandels zu reduzieren, müssen die Trägheit in den Klima- und den sozioökonomischen Systemen berücksichtigen. {SYR 3.2; WGI 10.3, 10.4, 10.7, SPM; WGIII 2.3.4}

Nach einer Stabilisierung der THG-Konzentrationen wird innerhalb weniger Jahrzehnte eine Verringerung der Geschwindigkeit, mit der die globale Durchschnittstemperatur ansteigt, erwartet. Geringe Anstiege der globalen Durchschnittstemperatur könnten noch für mehrere Jahrhunderte erwartet werden. Der Meeresspiegel aufgrund der Wärmeausdehnung würde noch viele Jahrhunderte lang weiter ansteigen. Das Tempo dieses Anstiegs würde im Endeffekt von den Werten, die es vor der Stabilisierung erreicht hatte, aufgrund der weiteren Wärmeaufnahme durch die Ozeane wieder zurückgehen. {SYR 3.2, WGI 10.3, 10.4, 10.7, SPM}

Verzögerte Emissionsminderungen schränken die Möglichkeiten zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsniveaus erheblich ein und erhöhen das Risiko schwerwiegenderer Auswirkungen des Klimawandels. Obwohl die Gewinne aus Emissionsminderungsmaßnahmen im Sinne von vermiedenem Klimawandel erst nach mehreren Jahrzehnten zustande kämen, würden kurzfristig veranlasste Emissionsminderungsmaßnahmen eine Festlegung auf langlebige kohlendioxidintensive Infrastruktur und Entwicklungspfade verhindern, die Geschwindigkeit des Klimawandels verringern und die Anpassungsbedürfnisse im Zusammenhang mit stärkerer Erwärmung reduzieren. {WGII 18.4, 20.6, 20.7, SPM; WGIII 2.3.4, 3.4, 3.5, 3.6, SPM}

5.4 Emissionstrajektorien für eine Stabilisierung

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 (Abbildung 5.1)²⁹. {WGIII 3.3, 3.5, SPM}

Fortschritte in der Modellierung seit dem TAR erlauben die Bewertung von Multi-Gas-Reduzierungsstrategien, um die Erreichbarkeit und die Kosten für die Stabilisierung von THG-Konzentrationen zu untersuchen. Diese Szenarien untersuchen eine größere Bandbreite an zukünftigen Szenarien, einschließlich niedrigerer Stabilisierungsniveaus, als im TAR beschrieben. {WGIII 3.3, 3.5, SPM}

²⁸ Während es zwar technisch möglich ist, sich an mehrere Meter Meeresspiegelanstieg anzupassen, sind die benötigten Mittel dafür so ungleich verteilt, dass dieses Risiko in Wirklichkeit außerhalb der Möglichkeiten zur Anpassung liegt. {WGII 17.4.2, 19.4.1}

²⁹ Für die niedrigste bewertete Kategorie der Emissionsminderungsszenarien müssten die Emissionen bis 2015 ihren Höhepunkt erreicht haben, und für die höchste bis 2090 (siehe Tabelle 5.1). Szenarien, die alternative Emissionsentwicklungspfade verwenden, zeigen wesentliche Unterschiede bezüglich der Geschwindigkeit des Klimawandels. {WGII 19.4}

CO₂-Emissionen und Anstiege der Gleichgewichtstemperatur für eine Bandbreite an Stabilisierungsszenarien

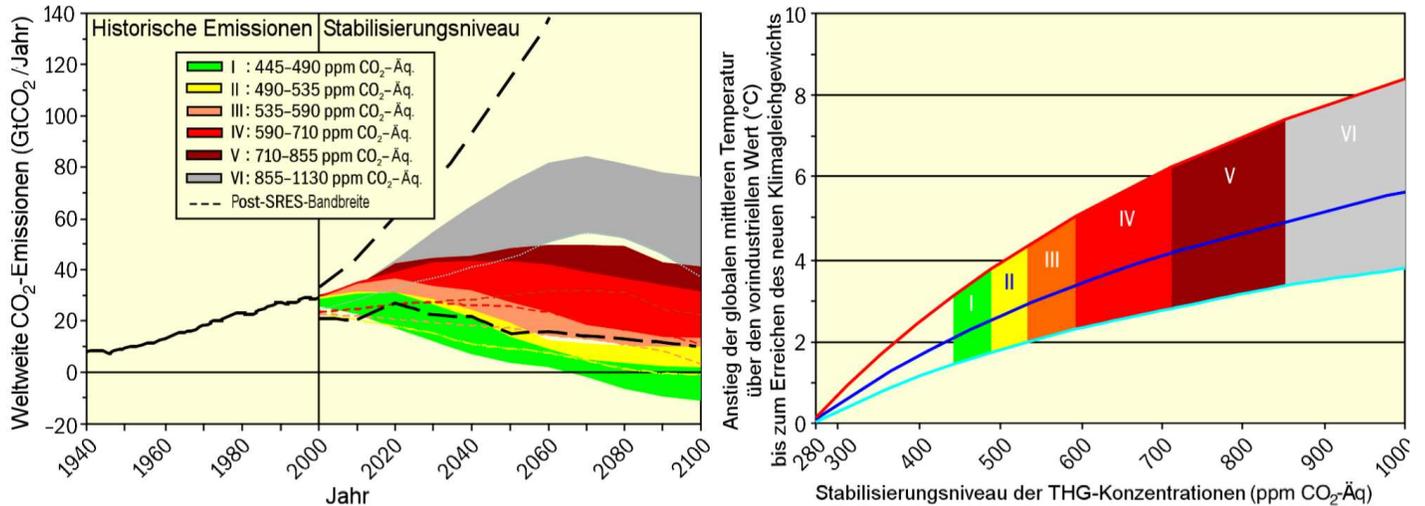


Abbildung 5.1. Globale CO₂-Emissionen für den Zeitraum 1940-2000 und Emissionsbandbreiten für Kategorien von Stabilisierungsszenarien von 2000 bis 2100 (linke Tafel); und die entsprechende Beziehung zwischen Stabilisierungsziel und des wahrscheinlichen Anstiegs der mittleren globalen Temperatur über den vorindustriellen Wert bis zum Erreichen eines neuen Gleichgewichts (rechte Tafel). Die Annäherung an das Gleichgewicht kann mehrere Jahrhunderte dauern, insbesondere für Szenarien mit höheren Stabilisierungsniveaus. Farbige Schattierungen geben die Stabilisierungsszenarien nach unterschiedlichen Zielen gruppiert an (Stabilisierungskategorie I bis VI). Die rechte Tafel zeigt Bereiche der Änderung der mittleren globalen Temperatur oberhalb vorindustrieller Werte 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 der wahrscheinlichen Bandbreite der Klimasensitivität von 4,5°C (rote Linie am oberen Rand des gefärbten Bereichs) und (iii) der unteren Grenze der wahrscheinlichen Bandbreite der Klimasensitivität von 2 °C (blaue Linie am unteren Rand des gefärbten Bereichs). Schwarze gestrichelte Linien in der linken Tafel geben die Emissionsbandbreite neuer Referenzszenarien an, die seit dem SRES (2000) veröffentlicht wurden. Emissionsbandbreiten der Stabilisierungsszenarien umfassen Nur-CO₂- und Multi-Gas-Szenarien und entsprechen den 10.-90. Perzentilen der vollen Szenarienverteilung. Anmerkung: In den meisten Modellen schließen CO₂-Emissionen weder die Emissionen aus der Zersetzung von oberirdischer Biomasse, die nach Abholzung und Entwaldung zurückbleibt, noch aus Torffeuern und entwässerten Torfböden mit ein. {WGIII Abbildungen SPM.7 und SPM.8}

Emissionsminderungsanstrengungen über die nächsten zwei bis drei Jahrzehnte werden eine große Wirkung auf die Möglichkeiten zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsniveaus haben (Tabelle 5.1, und Abbildung 5.1). {WGIII 3.5, SPM}

Tabelle 5.1 fasst die benötigten Emissionsniveaus für verschiedene Gruppen von Stabilisierungskonzentrationen und daraus folgenden Anstiege der globalen Durchschnittstemperatur im Klimagleichgewicht unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität zusammen (siehe auch Abbildung 5.1 zu *wahrscheinlichem* Unsicherheitsbereich). Eine Stabilisierung bei niedrigeren Konzentrationen und den entsprechenden Niveaus der Gleichgewichtstemperatur verschiebt den Zeitpunkt nach vorne, zu dem die Emissionen ihren Maximalwert erreichen müssen, und benötigt stärkere Emissionsrückgänge bis zum Jahr 2050³⁰. Die Klimasensitivität stellt eine entscheidende Unsicherheit für Emissionsminderungsszenarien dar, die auf die Erreichung eines bestimmten Temperaturniveaus abzielen. Bei hoher Klimasensitivität tritt der Zeitpunkt früher ein und das Ausmaß der Emissionsminderung fällt höher aus als bei niedriger Klimasensitivität. {WGIII 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, SPM}

Ein Meeresspiegelanstieg ist bei Erwärmung unvermeidbar. Die Wärmeausdehnung würde unabhängig vom bewerteten Stabilisierungsniveau viele Jahrhunderte nach einer Stabilisierung der THG-Konzentrationen anhalten, was einen endgültigen Meeresspiegelanstieg erzeugen würde, der viel größer wäre als für das 21. Jahrhundert projiziert (Tabelle 5.1). Wären THG- und Aerosolkonzentrationen auf den Werten des Jahres 2000 stabilisiert worden, wäre allein aufgrund der Wärmeausdehnung ein weiterer Meeresspiegelanstieg von 0,3-0,8 m zu erwarten. Der endgültige Beitrag durch Verluste des Grönland-Eisschildes könnte mehrere Meter betragen und größer als der durch Wärmeausdehnung sein, sollte eine Erwärmung von mehr als 1,9-4,6 °C über vorindustrielle Werte viele Jahrhunderte lang aufrecht erhalten werden. Diese langfristigen Konsequenzen hätten große Bedeutung für die weltweiten Küstenlinien. Die langen Zeiträume, die die Reaktion der Wärmeausdehnung und der Eisschilde auf Erwärmung benötigt, weisen darauf hin, dass Emissionsminderungsstrategien, die versuchen, THG-Konzentrationen (oder den Strahlungsantrieb) bei oder über den heutigen Werten zu stabilisieren, den Meeresspiegel für viele Jahrhunderte nicht stabilisieren. {WGI 10.7}

³⁰ Abschätzungen der Temperaturentwicklung im Verlauf dieses Jahrhunderts sind im AR4 für die Stabilisierungsszenarien nicht verfügbar. Für die meisten Stabilisierungsniveaus nähert sich die globale Durchschnittstemperatur dem Gleichgewichtswert über ein paar Jahrhunderte an. Für die deutlich niedrigeren Stabilisierungsszenarien (Kategorie I und II, Abbildung 5.1) kann die Gleichgewichtstemperatur früher erreicht werden.

Tabelle 5.1. Charakteristika von post-TAR-Stabilisierungsszenarien sowie die daraus resultierende langfristige globale Gleichgewichtstemperatur und die Komponente des Meeresspiegelanstiegs ausschließlich durch Wärmeausdehnung. {WGI 10.7; WGIII Tabelle TS.2, Tabelle 3.10, Tabelle SPM.5}^a

Kategorie	CO ₂ -Konzentration bei Stabilisierung (2005 = 379 ppm) ^b	CO ₂ -Äq.-Konzentration bei Stabilisierung einschließlich THG und Aerosole (2005 = 375 ppm) ^b	Jahr maximaler CO ₂ -Emissionen ^{a, c}	Änderung globaler CO ₂ -Emissionen im Jahr 2050 (% der Emissionen in 2000) ^{a, c}	Mittlerer globaler Gleichgewichtstemperaturanstieg über die vorindustriellen Werte unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität ^{d, e}	Mittlerer globaler Gleichgewichtsmeeresspiegelanstieg über die vorindustriellen Werte nur aus Wärmeausdehnung ^f	Anzahl bewerteter Szenarien
	ppm	ppm	Jahr	Prozent	°C	Meter	
I	350 - 400	445 - 490	2000 - 2015	-85 bis -50	2,0 - 2,4	0,4 - 1,4	6
II	400 - 440	490 - 535	2000 - 2020	-60 bis -30	2,4 - 2,8	0,5 - 1,7	18
III	440 - 485	535 - 590	2010 - 2030	-30 bis +5	2,8 - 3,2	0,6 - 1,9	21
IV	485 - 570	590 - 710	2020 - 2060	+10 bis +60	3,2 - 4,0	0,6 - 2,4	118
V	570 - 660	710 - 855	2050 - 2080	+25 bis +85	4,0 - 4,9	0,8 - 2,9	9
VI	660 - 790	855 - 1130	2060 - 2090	+90 bis +140	4,9 - 6,1	1,0 - 3,7	5

Anmerkungen:

- (a) Die Emissionen zur Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus, die in den hier bewerteten Emissionsminderungsstudien genannt sind, können aufgrund fehlender Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen unterschätzt sein (siehe auch Thema 2).
- (b) Atmosphärische CO₂-Konzentrationen lagen im Jahr 2005 bei 379 ppm. Die beste Schätzung der gesamten CO₂-Äq.-Konzentration für alle langlebigen THG im Jahr 2005 liegt bei etwa 445 ppm, während der entsprechende Wert inklusive des Nettoeffekts aller anthropogenen Antriebsfaktoren 375 ppm CO₂-Äq. beträgt.
- (c) Die Bandbreiten entsprechen dem Bereich vom 15. bis zum 85. Perzentil der Verteilung von post-TAR-Szenarien. CO₂-Emissionen sind ebenfalls angegeben, damit Multi-Gas-Szenarien mit Nur-CO₂-Szenarien verglichen werden können (siehe Abbildung SPM.3).
- (d) Die bestmögliche Schätzung der Klimasensitivität beträgt 3 °C.
- (e) Es ist zu beachten, dass die mittlere globale Gleichgewichtstemperatur sich 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 (siehe auch Fußnote 9).
- (f) Der Gleichgewichtsmeeresspiegelanstieg bezieht sich nur auf den Beitrag der Wärmeausdehnung der Ozeane und erreicht mindestens viele Jahrhunderte lang kein Gleichgewicht. Diese Werte sind mit relativ einfachen Klimamodellen abgeschätzt worden (ein AOGCM niedriger Auflösung und mehrere EMICs auf der Basis des besten Schätzwerts von 3 °C Klimasensitivität) und schließen keine Beiträge von schmelzenden Eisschilden, Gletschern und Eiskappen ein. Für die langfristige Wärmeausdehnung wird projiziert, dass sie zu 0,2 bis 0,6 m pro Grad Celsius globaler Durchschnittserwärmung über vorindustrielle Werte führt. (AOGCM bedeutet „Atmosphäre Ocean General Circulation Model“ (allgemeines Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell) und EMICs „Earth System Models of Intermediate Complexity“ (Erdsystemmodelle mittlerer Komplexität).)

Rückkopplungen zwischen dem Kohlenstoffkreislauf und dem Klimawandel beeinflussen die als Reaktion auf den Klimawandel nötige Emissionsminderung und Anpassung. Man erwartet, dass die Klima-Kohlenstoffkreislauf-Kopplung den Anteil der anthropogenen Emissionen, der in der Atmosphäre verbleibt, mit der Erwärmung des Klimasystems steigen lässt (siehe Thema 2.3 und 3.2.1), aber Emissionsminderungsstudien haben die volle Bandbreite dieser Rückkopplungen noch nicht erfasst. Daher könnten die Emissionsminderungen, die laut den in Tabelle 5.1 bewerteten Emissionsminderungsstudien für die Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus nötig sind, zu niedrig angesetzt sein. Modellstudien, die auf dem aktuellen Verständnis der Klima-Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung basieren, legen nahe, dass zur Stabilisierung der Kohlendioxidkonzentrationen auf z.B. 450 ppm³¹ über das 21. Jahrhundert kumulierte Emissionen von weniger als 1800 [1370 bis 2200] Gt CO₂ nötig sein könnten, was etwa 27% weniger als die 2460 [2310 bis 2600] Gt CO₂ wäre, die ohne Berücksichtigung von Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen ermittelt

wurden. {SYR 2.3, 3.2.1; WGI 7.3, 10.4, SPM}

5.5 Technologietransfer und Entwicklung

Es besteht eine hohe Übereinstimmung darüber und eine starke Beweislage dafür, dass alle bewerteten Stabilisierungsniveaus durch die Anwendung eines Portfolios an entweder heute verfügbaren Technologien oder solchen, die wahrscheinlich in den nächsten Jahrzehnten auf den Markt kommen, erreicht werden kann. Dies setzt voraus, dass es angemessene und wirkungsvolle Anreize für die Entwicklung, Beschaffung, Anwendung und Verbreitung von Technologien und für das Angehen entsprechender Hemmnisse gibt. {WGIII SPM}

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

³¹ Diese Rückkopplung könnte für eine Stabilisierung auf 1000 ppm CO₂ eine Reduktion der kumulativen Emissionen von einem Modell-Durchschnitt von ungefähr 5190 [4910 bis 5460] Gt CO₂ auf ungefähr 4030 [3590 bis 4580] Gt CO₂ nötig machen. {WGI 7.3, 10.4, SPM}

Kostenreduktion zu erreichen³². Anschauungsbeispiele von Beiträgen des Portfolios an Emissionsminderungsmöglichkeiten sind in Abbildung 5.2 dargestellt. Der Beitrag unterschiedlicher Technologien ändert sich mit der Zeit und der Region und hängt vom Referenzentwicklungspfad, den verfügbaren Technologien und relativen Kosten sowie den analysierten Stabilisierungsniveaus ab. Stabilisierung auf dem niedrigeren der bewerteten Niveaus (490-540 ppm CO₂-Äq.) braucht frühe Investitionen und eine wesentlich schnellere Verbreitung und Kommerzialisierung fortschrittlicher Niedrigemissionstechnologien über die nächsten Jahrzehnte (2000-2030) und höhere Beiträge aller Minderungsmöglichkeiten auf langfristige Sicht (2000-2100). Dies setzt voraus, dass es angemessene und wirkungsvolle Anreize für die Beseitigung von Hemmnissen gibt die der Entwicklung, der Beschaffung, dem Einsatz und der Verbreitung von Technologien im Wege stehen. {WGIII 2.7, 3.3, 3.4, 3.6, 4.3, 4.4, 4.6, SPM}

Ohne substantielle Investitionsflüsse und effektiven Technologietransfer kann es schwierig sein, eine Emissionsminderung signifikanten Ausmaßes zu erreichen. Es ist wichtig, die

Finanzierung der Mehrkosten kohlendioxidarmer Technologien zu mobilisieren. {WGIII 13.3, SPM}

Es bestehen große Unsicherheiten bezüglich der zukünftigen Beiträge unterschiedlicher Technologien. Alle bewerteten Stabilisierungsszenarien stimmen jedoch darin überein, dass 60-80% der Reduzierungen im Laufe des Jahrhunderts aus der Energieversorgung und –nutzung sowie industriellen Prozessen stammen würden. Die Einbeziehung von Nicht-CO₂- und CO₂-Emissionsminderungsoptionen in der Landnutzung und der Forstwirtschaft bietet eine größere Flexibilität und Kosteneffektivität. Energieeffizienz spielt in vielen Szenarien für die meisten Regionen und Zeiträume eine Schlüsselrolle. Für niedrigere Stabilisierungsniveaus legen die Szenarien mehr Wert auf die Nutzung kohlendioxidarmer Energiequellen, wie z.B. erneuerbare Energien und Kernkraft, und die Nutzung von Kohlendioxidabtrennung und –speicherung (CCS). In diesen Szenarien müssen die Verbesserungen der Kohlendioxidintensität in der Energieversorgung und der Gesamtwirtschaft deutlich schneller sein als in der Vergangenheit (Abbildung 5.2). {WGIII 3.3, 3.4, TS.3, SPM}

Beispielhafte Emissionsminderungsportfolios zur Erreichung einer Stabilisierung von THG-Konzentrationen

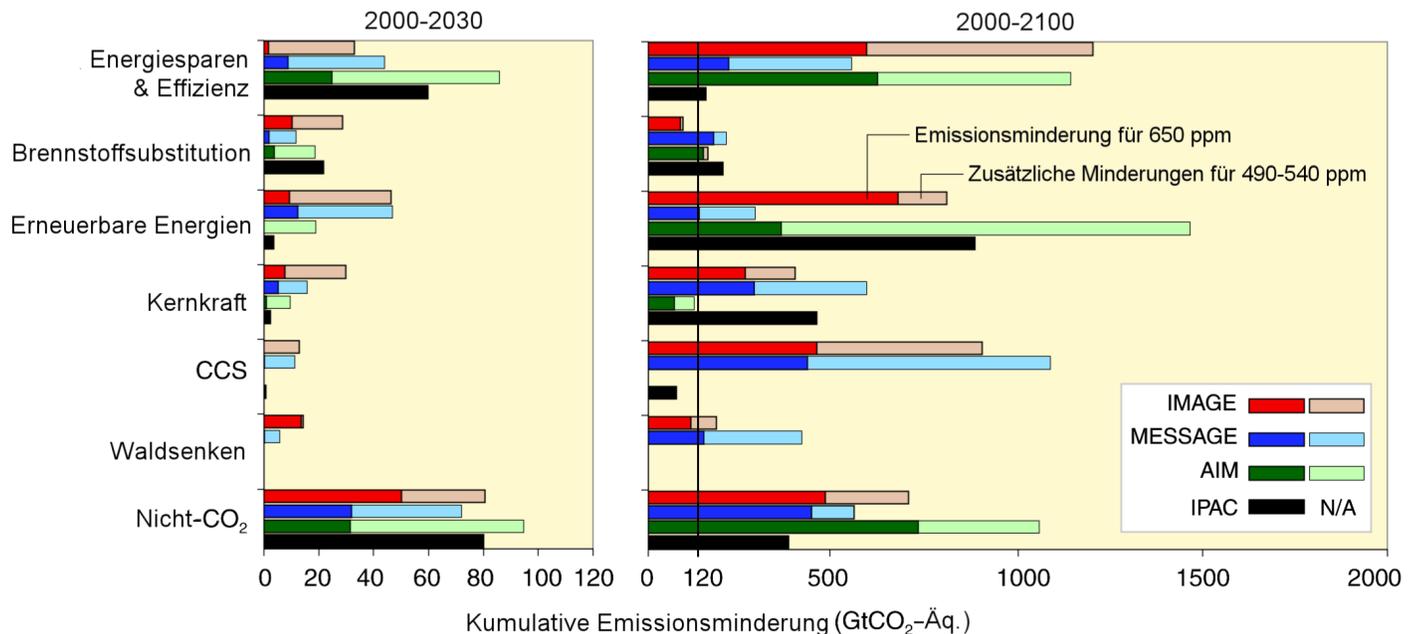


Abbildung 5.2. Kumulative Emissionsminderungen für unterschiedliche Emissionsminderungsmaßnahmen für 2000 bis 2030 (linke Grafik) und für 2000 bis 2100 (rechte Grafik). Die Abbildung zeigt beispielhafte Szenarien aus vier Modellen (AIM, IMAGE, I-PAC und MESSAGE), die jeweils auf eine Stabilisierung bei 490–540 ppm CO₂-Äq. bzw. bei 650 ppm CO₂-Äq. abzielen. Dunkle Balken geben die Minderungen für das Ziel von 650 ppm CO₂-Äq. an, helle Balken weisen auf die zusätzlichen Reduktionen hin, die notwendig sind, um 490–540 ppm CO₂-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. Die Abbildung zeigt Emissionsreduktionen ausgehend von Referenzszenarien mit kumulativen Emissionen zwischen 6000 und 7000 Gt CO₂-Äq. (2000-2100). {WGIII Abbildung SPM.9}

³² Zum Vergleich: Regierungsfinanzierung für die meisten Energieforschungsprogramme war fast zwei Jahrzehnte lang in realen absoluten Beträgen gleichbleibend oder rückgängig (selbst nach Inkrafttreten der UNFCCC), und beträgt nun etwa die Hälfte des Werts von 1980. {WGIII 2.7, 3.4, 4.5, 11.5, 13.2}

5.6 Emissionsminderungskosten und langfristige Stabilisierungsziele

Die gesamtwirtschaftlichen Kosten der Emissionsminderung steigen im Allgemeinen mit der Stringenz der Stabilisierungsziele und sind in der Relation höher, wenn sie von Referenzszenarien mit hohen Emissionsniveaus aus ermittelt werden. {WGIII SPM}

Es besteht eine *hohe Übereinstimmung* darin und eine *mittlere Beweislage* dafür, dass im Jahr 2050 die weltweiten gesamtwirtschaftlichen Durchschnittskosten für eine Multi-Gas-Emissionsminderung in Richtung einer Stabilisierung zwischen 710 und 445 ppm CO₂-Äq. zwischen 1% weltweitem BIP-Zuwachs und 5,5% weltweiter BIP-Minderung liegen (Tabelle 5.2). Dies entspricht einer Verlangsamung des durchschnittlichen jährlichen weltweiten BIP-Zuwachses um weniger als 0,12 Prozentpunkte. Die geschätzten BIP-Minderungen bis 2030 sind im Durchschnitt geringer und zeigen weniger Streuung als die Werte bis 2050 (Tabelle 5.2). Die Kosten weichen für bestimmte Länder und Sektoren erheblich vom globalen Durchschnitt ab³³. {WGIII 3.3, 13.3, SPM}

5.7 Kosten, Nutzen und vermiedene Klimaauswirkungen auf globaler und regionaler Ebene

Die Auswirkungen der Klimaänderung werden regional unterschiedlich sein. Es ist sehr wahrscheinlich, dass sie – aggregiert und auf die Gegenwart diskontiert – jährliche Nettokosten verursachen, die sich mit zunehmendem globalen Temperaturen im Verlauf der Zeit immer weiter erhöhen werden. {WGII SPM}

Bei einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um weniger als 1-3 °C über die Werte von 1980-1999 werden für einige Auswirkungen an manchen Orten und in manchen Sektoren Vorteile projiziert, während gleichzeitig an anderen Orten und in anderen Sektoren Kosten entstehen. Die mittleren globalen Verluste bei einer Erwärmung um 4 °C könnten 1-5% des BIP betragen, aber regionale Verluste könnten wesentlich höher sein. {WGII 9.ES, 10.6, 15.ES, 20.6, SPM}

In von Experten begutachteten Schätzungen werden die sozialen Kohlendioxidkosten (*social cost of carbon*, SCC, d.h. die wirtschaftlichen Nettokosten der Schäden durch Klimawandel weltweit aggregiert und auf heute diskontiert) für 2005 mit einem mittleren Wert von 12 US-\$ pro Tonne Kohlendioxid angegeben, die Bandbreite aus 100 Schätzungen ist groß (-3 US-\$ bis 95 US-\$/t CO₂). Die Bandbreite an veröffentlichten Belegen zeigen, dass sich die Netto-Schadenskosten des Klimawandels voraussichtlich als signifikant erweisen und sich im Verlauf der

Zeit weiter erhöhen werden. {WGII 20.6, SPM}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass weltweite Gesamtangaben die Schadenskosten unterschätzen, da sie viele nicht-quantifizierbare Auswirkungen nicht mit einbeziehen können. 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 der globale Durchschnitt sein. {WGII 7.4, 20.ES, 20.6, 20.ES, SPM}

Erste und begrenzte analytische Ergebnisse aus der integrierten Analyse der weltweiten 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. {WGIII SPM}

Für einen Vergleich der Kosten für Emissionsminderung mit den vermiedenen Schäden müssten die Auswirkungen auf das Wohlergehen von Menschen, die an verschiedenen Orten und zu unterschiedlichen Zeiten leben, in einem weltweiten aggregierten Maß für Wohlergehen zusammengefasst werden. {WGII 18.ES}

Entscheidungen über das Ausmaß und den Zeitpunkt von THG-Emissionsminderung beinhalten die Abwägung wirtschaftlicher Kosten schnellerer zeitnaher Emissionsminderungen gegenüber den entsprechenden mittel- und langfristigen Klimarisiken eines Aufschubs. {WGIII SPM}

Viele Auswirkungen können durch Minderungsmaßnahmen vermieden, verringert oder verzögert werden. {WGII SPM}

Obwohl die kleine Anzahl an Untersuchungen zu Klimaauswirkungen, die Stabilisierungsszenarien auswerten, die Unsicherheiten im projizierten Klima unter Stabilisierung nicht vollständig berücksichtigt, liefern sie dennoch Hinweise auf vermiedene Schäden und verringerte Risiken für unterschiedlich starke Emissionsminderungen. Die Geschwindigkeit und das Ausmaß zukünftigen menschengeschafften Klimawandels und die damit verbundenen Auswirkungen werden durch menschliche Entscheidungen hinsichtlich verschiedener sozioökonomischer Zukunftsentwicklungen und durch Emissionsminderungsmaßnahmen mit Einfluss auf die Emissionspfade festgelegt. Abbildung 3.2 zeigt auf, dass unterschiedliche SRES-Emissionspfade zu wesentlichen Unterschieden im Klimawandel während des gesamten 21. Jahrhunderts führen könnten. Einige der Auswirkungen an dem Ende von Abbildung 3.6 mit den hohen Temperaturen könnten durch sozio-ökonomische Entwicklungspfade verhindert werden, die Emissionen und den damit verbundenen Klimawandel in Richtung des niedrigen Endes der Bandbreite in Abbildung 3.6 begrenzen. {SYR 3.2, 3.3; WGIII 3.5, 3.6, SPM}

³³ Siehe Fußnote 25 hinsichtlich weiterer Einzelheiten zu Kostenschätzungen und Modellannahmen.

Tabella 5.2. Geschätzte globale gesamtwirtschaftliche Kosten in 2030 und 2050. Die Kosten sind relativ zu den Referenzwerten von Mindestkosten-Trajektorien für verschiedene langfristige Stabilisierungsniveaus angegeben. {WGIII 3.3, 13.3, Tabellen SPM.4 und SPM.6}

Stabilisierungsniveaus (ppm CO ₂ -Äq.)	Median der BIP-Reduzierung ^a (%)		Bandbreite der BIP-Reduzierung ^b (%)		Reduzierung der durchschnittlichen jährlichen BIP-Zuwachsraten ^{c, e} (Prozentpunkte)	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
445-535 ^d	nicht verfügbar		<3	<5,5	<0,12	<0,12
535-590	0,6	1,3	0,2 bis 2,5	Leicht negativ bis 4	<0,1	<0,1
590-710	0,2	0,5	-0,6 bis 1,2	-1 bis 2	<0,06	<0,05

Anmerkungen:

Die in dieser Tabelle aufgeführten Werte entsprechen der gesamten Literatur quer durch alle Referenz- und Emissionsminderungsszenarien, die BIP-Beträge angeben.

- Dies ist weltweites BIP basierend auf Marktwechselkursen.
- Der Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil der untersuchten Daten ist angegeben, wo zutreffend. Negative Werte stehen für einen BIP-Gewinn. Die erste Zeile (445-535 ppm CO₂-Äq.) gibt lediglich die geschätzte Obergrenze in der Literatur an.
- 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.
- Die Anzahl der Untersuchungen ist relativ klein und sie nutzen im Allgemeinen niedrige Referenzszenarien. Hohe Referenzemissionen führen im Allgemeinen zu höheren Kosten
- Die Werte entsprechen dem höchsten Schätzwert für eine BIP-Reduzierung in Spalte 3.

Abbildung 3.6 veranschaulicht, wie eine schwächere Erwärmung z.B. die Wahrscheinlichkeit von Auswirkungen auf eine signifikante Anzahl von Ökosystemen verringern, das Risiko von Artensterben mindern und die Wahrscheinlichkeit verringern könnte, dass die Getreideproduktion in einigen Regionen tendenziell zurückgehen würde. {SYR 3.3, Abbildung 3.6; WGII 4.4, 5.4, Tabelle 20.6}

5.8 Breitere Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen

Nachhaltige Entwicklung kann die Verwundbarkeit gegenüber Klimaänderungen senken; und die Klimaänderung könnte viele Nationen in ihren Fähigkeiten, nachhaltige Entwicklungspfade einzuschlagen, behindern. {WGII SPM}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass der Klimawandel den Fortschritt in Richtung einer nachhaltigen Entwicklung entweder direkt – durch erhöhte Exposition gegenüber schädlichen Auswirkungen – oder indirekt – durch Beeinträchtigung der Fähigkeit sich anzupassen – verlangsamt. Über das nächste halbe Jahrhundert könnte der Klimawandel das Erreichen der Millennium Entwicklungsziele behindern. {WGII SPM}

Klimawandel wird auf allen Ebenen mit anderen Entwick-

lungen in weltweiten Umweltangelegenheiten und natürlichen Ressourcen wechselwirken, darunter Wasser-, Boden- und Luftverschmutzung, Gesundheitsrisiken, Katastrophenrisiko und Entwaldung. Ihre Auswirkungen zusammengenommen könnten in Zukunft verschlimmert werden, falls keine integrierte Emissionsminderungs- und Anpassungsmaßnahmen unternommen werden. {WGII 20.3, 20.7, 20.8, SPM}

Entwicklung nachhaltiger zu gestalten kann die Kapazitäten zum Klimaschutz und zur Anpassung stärken, Emissionen mindern und Verwundbarkeiten verringern, der Umsetzung können aber Hemmnisse entgegenstehen. {WGII 20.8; WGIII 12.2, SPM}

Sowohl Anpassungs- als auch Emissionsminderungskapazitäten können durch nachhaltige Entwicklung gestärkt werden. Nachhaltige Entwicklung kann so die Verwundbarkeit gegenüber Klimawandel reduzieren, indem sie die Empfindlichkeiten (durch Anpassung) und/oder die Belastung (durch verringerte Emissionen) mindert. Gegenwärtig haben jedoch wenige Pläne zur Förderung der Nachhaltigkeit ausdrücklich die Anpassung an Auswirkungen des Klimawandels oder die Förderung der Anpassungskapazität mit einbezogen. Entsprechend kann die Änderung von Entwicklungspfaden einen wichtigen Beitrag zur Emissionsminderung liefern, benötigt jedoch möglicherweise Mittel zur Überwindung vielfältiger Hemmnisse. {WGII 20.3, 20.5, SPM; WGIII 2.1, 2.5, 12.1, SPM}

6

Gesicherte Erkenntnisse, Hauptunsicherheiten

Gesicherte Erkenntnisse, Hauptunsicherheiten

Wie im TAR ist eine gesicherte Erkenntnis über Klimawandel als eine solche definiert, die über eine Vielzahl von Ansätzen, Methoden, Modellen und Annahmen bestehen bleibt und von der erwartet wird, dass die durch Unsicherheiten eher nicht beeinflusst wird. Hauptunsicherheiten sind diejenigen, die, falls sie reduziert würden, zu neuen gesicherten Erkenntnissen führen könnten. *{TAR SYR Q.9}*

Gesicherte Erkenntnisse umfassen nicht alle Schlüsselerkenntnisse des AR4. Einige Schlüsselerkenntnisse mögen politisch relevant sein, obwohl sie mit großen Unsicherheiten behaftet sind. *{WGII 20.9}*

Die unten aufgeführten gesicherten Erkenntnisse und Hauptunsicherheiten stellen keine vollständige Aufzählung dar.

6.1 Beobachtete Klimaveränderungen und ihre Auswirkungen und Ursachen

Gesicherte Erkenntnisse

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. *{WGI 3.9, SPM}*

Viele natürliche Systeme auf allen Kontinenten und in einigen Ozeanen werden durch regionale Klimaveränderungen betroffen. Beobachtete Veränderungen in vielen physikalischen und biologischen Systemen stehen mit einer Erwärmung in Einklang. Infolge der Aufnahme von anthropogenem CO₂ seit 1750 hat die Versauerung der Ozeanoberfläche zugenommen. *{WGI 5.4, WGII 1.3}*

Die gesamten jährlichen anthropogenen THG-Emissionen (nach 100-Jahres-GWP gewichtet) sind zwischen 1970 und 2004 um 70% angestiegen. Infolge anthropogener Emissionen liegen die atmosphärischen Konzentrationen von N₂O nun weit über den vorindustriellen Werten, die viele Jahrtausende lang bestanden hatten, und CH₄ und CO₂ übertreffen die natürliche Bandbreite der letzten 650.000 Jahre bei weitem. *{WGI SPM; WGIII 1.3}*

Der größte Teil der beobachteten Erwärmung über die letzten 50 Jahre ist *sehr wahrscheinlich* durch den beobachteten Anstieg der anthropogenen Treibhausgaskonzentrationen verursacht, und *wahrscheinlich* hat im Durchschnitt über jedem Kontinent (mit Ausnahme der Antarktis) eine wahrnehmbare anthropogene Erwärmung stattgefunden. *{WGI 9.4, SPM}*

Die anthropogene Erwärmung der letzten drei Jahrzehnte hatte auf globaler Ebene *wahrscheinlich* einen erkennbaren Einfluss auf die beobachteten Veränderungen in vielen physikalischen und biologischen Systemen. *{WGII 1.4, SPM}*

Hauptunsicherheiten

Die Erfassung von Klimadaten bleibt in einigen Gebieten begrenzt und Daten und Literatur zu beobachteten Veränderungen in natürlichen und bewirtschafteten Systemen sind deutlich geographisch unausgewogen, wobei in Entwicklungsländern ein erheblicher Mangel besteht. *{WGI SPM; WGII 1.3, SPM}*

Änderungen in Extremereignissen wie Dürre, tropischen Wirbelstürmen oder extremen Temperaturen und die Häufigkeit und Intensität von Niederschlägen sind schwieriger auszuwerten und zu beobachten als klimatische Durchschnittswerte, da hierfür längere Datenzeitreihen mit höherer räumlicher und zeitlicher Auflösung benötigt werden. *{WGI 3.8, SPM}*

Auswirkungen des Klimawandels auf menschliche und einige natürliche Systeme sind aufgrund von Anpassung und nicht-klimatischen Antriebskräften schwer nachzuweisen. *{WGII 1.3}*

Es verbleiben Schwierigkeiten bei der glaubwürdigen Nachbildung und Zuordnung beobachteter Temperaturänderungen zu natürlichen oder menschlichen Ursachen auf kleinräumiger Ebene als Kontinenten. Auf diesem Maßstab erschweren Faktoren wie Landnutzungsänderung und Verschmutzung auch den Nachweis von anthropogenem erwärmendem Einfluss auf physikalische und biologische Systeme. *{WGI 8.3, 9.4, SPM; WGII 1.4, SPM}*

Das Ausmaß an CO₂-Emissionen aus Landnutzungsänderung und CH₄-Emissionen aus einzelnen Quellen verbleiben als Hauptunsicherheit. *{WGI 2.3, 7.3, 7.4; WGIII 1.3, TS.14}*

6.2 Antriebe und Projektionen von zukünftigen Klimaveränderungen und ihre Auswirkungen

Gesicherte Erkenntnisse

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. *{WGIII 3.2, SPM}*

Für die nächsten zwei Jahrzehnte wird für eine Reihe von SRES-Szenarien eine Erwärmung von 0,2 °C pro Jahrzehnt projiziert. *{WGI 10.3, 10.7, SPM}*

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. *{WGI 10.3, 11.1, SPM}*

Das Muster einer zukünftigen Erwärmung, bei dem sich Landmassen stärker als die angrenzenden Ozeane und stärker in den nördlichen Breiten erwärmen, ist in allen Szenarien zu sehen. *{WGI 10.3, 11.1, SPM}*

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. {WGI 7.3, 10.4, 10.5, SPM}

Die anthropogene Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg würden aufgrund der Zeitskalen, die mit Klimaprozessen und Rückkopplungen verbunden sind, über Jahrhunderte andauern, selbst wenn die Treibhausgasemissionen so reduziert würden, so dass sich die THG-Konzentrationen stabilisieren könnten. {WGI 10.7, SPM}

Es ist *sehr unwahrscheinlich*, dass die Gleichgewichtsklimasensitivität unter 1,5 °C liegt. {WGI 8.6, 9.6, Kasten 10.2, SPM}

Einige Systeme, Sektoren und Regionen werden *wahrscheinlich* besonders durch den Klimawandel betroffen sein. Die Systeme und Sektoren sind einige Ökosysteme (Tundra, boreale Wälder, Gebirge, mediterrane Ökosysteme, Mangroven, Salzmarschen, Korallenriffe und Meereisbiome), niedriggelegene Küsten, Wasserressourcen in einigen trockenen Gebieten mittlerer Breite und in den trockenen Tropen, und – in Gebieten, die von der Schnee- und Eisschmelze abhängen – Landwirtschaft in den niedrigen Breiten sowie die menschliche Gesundheit in Gegenden mit geringer Anpassungskapazität. Die Regionen sind die Arktis, Sub-Sahara-Afrika, kleine Inseln und asiatische Megadeltas. In anderen Regionen, selbst solchen mit hohem Einkommen, können einige Menschen, Gebiete und Tätigkeiten besonders gefährdet sein. {WGII TS.4.5}

Die Auswirkungen werden *sehr wahrscheinlich* aufgrund erhöhter Häufigkeit und Intensität einiger Extremwetterereignisse zunehmen. Jüngste Ereignisse haben die Verwundbarkeit einiger Sektoren und Regionen, auch in entwickelten Ländern, gegenüber Hitzewellen und tropischen Wirbelstürmen, Überschwemmungen und Dürre aufgezeigt, was im Vergleich zu den Ergebnissen des TAR stärkere Gründe zur Besorgnis liefert. {WGII Tabelle SPM.2, 19.3}

Hauptunsicherheiten

Unsicherheit in Bezug auf die Gleichgewichtsklimasensitivität schafft Unsicherheit bezüglich der erwarteten Erwärmung für ein bestimmtes CO₂-Äq.-Stabilisierungsszenario. Unsicherheit bezüglich der Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung schafft Unsicherheit in Bezug auf die Emissionstrajektorie, die für die Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus benötigt wird. {WGI 7.3, 10.4, 10.5, SPM}

Die Modelle unterscheiden sich erheblich in ihrer Abschätzung der Stärke verschiedener Rückkopplungen im Klimasystem, insbesondere Wolkenrückkopplungen, Wärmehaushalt im Ozean und Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplungen, obwohl es auf diesen Gebieten Fortschritte gegeben hat. Darüberhinaus ist das Vertrauen in die Projektionen einiger Variablen (z.B. Temperatur) höher als in die anderer (z.B. Niederschlag) und ist höher für größere räumliche Maßstäbe und längere Mittelungszeiträume. {WGI 7.3, 8.1-8.7, 9.6, 10.2, 10.7, SPM; WGII 4.4}

Auswirkungen von Aerosolen auf das Ausmaß der Temperaturreaktion, von Wolken und Niederschlägen bleiben unsicher. {WGI 2.9, 7.5, 9.2, 9.4, 9.5}

Zukünftige Veränderungen in den Massen der grönländischen und antarktischen Eisschilde, insbesondere aufgrund von Veränderungen des Eisflusses, stellen eine Hauptunsicherheitsquelle dar, die die Projektionen des Meeresspiegelanstiegs erhöhen könnte. Die Unsicherheit bezüglich des Eindringens von Wärme in die Ozeane trägt auch zur Unsicherheit in Bezug auf den zukünftigen Meeresspiegelanstieg bei. {WGI 4.6, 6.4, 10.3, 10.7, SPM}

Großskalige Veränderungen von Meeresströmungen jenseits des 21. Jahrhunderts können aufgrund der Unsicherheiten bezüglich der Schmelzwasserzufuhr vom Grönlandeisschild und der Modellreaktion auf die Erwärmung nicht zuverlässig abgeschätzt werden {WGI 6.4, 8.7, 10.3}

Projektionen des Klimawandels und seiner Auswirkungen jenseits etwa des Jahres 2050 sind stark szenarien- und modellabhängig, und verbesserte Projektionen benötigten ein besseres Verständnis der Unsicherheitsquellen und Verbesserungen in den Netzwerken für systematische Beobachtungen. {WGII TS.6}

Wirkungsforschung wird durch Unsicherheiten rund um regionale Projektionen von Klimawandel, insbesondere von Niederschlägen, erschwert. {WGII TS.6}

Das Verständnis über Ereignisse geringer Wahrscheinlichkeit mit großer Wirkung und über die kumulativen Auswirkungen von Serien kleiner Ereignisse, das für risikobasierte Ansätze der Entscheidungsfindung nötig ist, ist allgemein begrenzt. {WGII 19.4, 20.2, 20.4, 20.9, TS.6}

6.3 Reaktionen auf Klimawandel

Gesicherte Erkenntnisse

Eine gewisse geplante Anpassung (menschlicher Aktivitäten) findet bereits statt; es ist umfassendere Anpassung nötig, um die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel zu mindern. {WGII 17.ES, 20.5, Tabelle 20.6, SPM}

Ungebremster Klimawandel würde langfristig die Anpassungskapazität von natürlichen, bewirtschafteten und menschlichen Systemen *wahrscheinlich* überschreiten. {WGII 20.7, SPM}

Zurzeit steht in allen Sektoren eine große Bandbreite an Emissionsminderungsmöglichkeiten zur Verfügung oder wird bis spätestens 2030 als verfügbar projiziert. Das wirtschaftliche Emissionsminderungspotenzial zu Nettokosten, die von negativ bis zu 100 US-\$/t CO₂-Äq. reichen, reicht aus, um den projizierten Zuwachs an weltweiten Emissionen auszugleichen oder die Emissionen im Jahr 2030 unter die aktuellen Werte zu senken. {WGIII 11.3, SPM}

Viele Auswirkungen können durch Emissionsminderung verringert, verzögert oder vermieden werden. Bemühungen zur Emissionsminderung und Investitionen über die nächsten 2-3 Jahrzehnte werden eine große Wirkung auf die Möglichkeiten zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsniveaus haben. Verzögerte Emissionsminderungen schränken die Möglichkeiten

zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsniveaus signifikant ein und erhöhen das Risiko schwerwiegenderer Klimawirkungen. *{WGII SPM, WGIII SPM}*

Die Bandbreite der bewerteten Stabilisierungsniveaus für THG-Konzentrationen 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 angemessene und wirkungsvolle Anreize bestehen und Hemmnisse abgebaut werden. Darüberhinaus wäre weitere FE&D nötig, um die technische Leistung von neuen Technologien zu verbessern, ihre Kosten zu senken und ihre gesellschaftliche Akzeptanz zu erreichen. Je niedriger die Stabilisierungsniveaus, desto größer der Bedarf an Investitionen in neue Technologien in den kommenden Jahrzehnten. *{WGIII 3.3, 3.4}*

Die Entwicklung durch einen Wechsel des Entwicklungspfad nachhaltiger zu gestalten kann einen wichtigen Beitrag zur Minderung des Klimawandels, zur Anpassung daran und zur Verringerung von Verwundbarkeiten leisten. *{WGII 18.7, 20.3, SPM; WGIII 13.2, SPM}*

Entscheidungen über gesamtwirtschaftliche und andere Politiken, die nicht mit dem Klimawandel zusammenzuhängen scheinen, können Emissionen signifikant beeinflussen. *{WGIII 12.2}*

Hauptunsicherheiten

Das Verständnis darüber, wie Entwicklungsplaner Informationen über Klimavariabilität und –veränderung in ihre Entscheidungen einfließen lassen, ist begrenzt. Dies schränkt die integrierte Abschätzung von Verwundbarkeiten ein. *{WGII 18.8, 20.9}*

Die Entwicklung und Nutzung der Kapazität zur Anpassung und zur Emissionsminderung hängen von zugrundeliegenden sozioökonomischen Entwicklungspfaden ab. *{WGII 17.3, 17.4, 18.6, 19.4, 20.9}*

Hemmnisse, Einschränkungen und Kosten der Anpassung sind nicht vollständig verstanden, teilweise, weil effektive Anpassungsmaßnahmen stark von geographischen und klimatischen Risikofaktoren sowie von institutionellen, politischen und finanziellen Einschränkungen abhängen. *{WGII SPM}*

Schätzungen von Emissionsminderungskosten und –potenzialen hängen von Annahmen über zukünftiges sozioökonomisches Wachstum, Technologiewandel und Konsummuster ab. Unsicherheiten entstehen insbesondere aus Annahmen über die Treiber von Technologieverbreitung und das Potenzial langfristiger Technologieleistung und Kostenverbesserungen. Auch weiß man wenig über die Auswirkungen von Änderungen im Verhalten und in Lebensstilen. *{WGIII 3.3, 3.4, 11.3}*

Die Auswirkungen von Nicht-Klima-Politiken [d.h. nicht direkt klimaschutzbezogenen Politiken, Anm. d. Übers.] auf Emissionen sind schlecht quantifiziert. *{WGIII 12.2}*

Anhang I

Nutzerhinweise und Zugang zu genaueren Informationen

Wie in den IPCC-Abläufen definiert, fasst der Synthesebericht (SYR) das in IPCC-Sachstandsberichten und -Sonderberichten beinhaltete Material zusammen. Der SYR zum Vierten Sachstandsbericht bezieht sich auf Material, das in den Beiträgen der drei Arbeitsgruppen zum AR4 enthalten ist, und stützt sich wo nötig auf Informationen aus anderen IPCC-Berichten. Der SYR beruht ausschließlich auf Einschätzungen der IPCC-Arbeitsgruppen, er bezieht sich weder auf wissenschaftliche Primärliteratur noch bewertet er diese selbst.

Der SYR steht weitgehend für sich selbst, aber er liefert lediglich eine stark gekürzte Zusammenfassung der wesentlich ausführlicheren Information in den zugrundeliegenden Arbeitsgruppenberichten. Nutzer können wie folgt auf relevantes Material im benötigten Detaillierungsgrad zugreifen:

- Die Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (Summary for Policymakers, SPM) des SYR bietet die am stärksten gekürzte Zusammenfassung unseres aktuellen Verständnisses der wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Aspekte des Klimawandels. Alle Literaturangaben in geschweiften Klammern in dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger beziehen sich auf nummerierte Abschnitte dieses SYR.
- Die Einleitung und sechs Themen dieses SYR bieten detailliertere und ausführlichere Informationen als die SYR SPM. Literaturangaben in geschweiften Klammern in der Einleitung und den sechs Themen dieses SYR weisen auf Kapitelabschnitte, Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger und Technische Zusammenfassungen der drei zugrundeliegenden Arbeitsgruppenberichte des AR4 hin, in manchen Fällen auch auf andere Themenabschnitte des SYR selbst. Hinweise auf den Dritten IPCC-Sachstandsbericht aus dem Jahr 2001 (Third Assessment Report, TAR) werden durch den Zusatz „TAR“ vor dem zitierten Bericht gekennzeichnet.
- Nutzer, die gerne ein besseres Verständnis der wissenschaftlichen Einzelheiten erzielen würden oder auf die wissenschaftliche Primärliteratur, auf der der SYR basiert, zurückgreifen möchten, seien auf die Kapitelabschnitte der zugrundeliegenden Arbeitsgruppenberichte verwiesen, die im ausführlichen Bericht des SYR zitiert werden. Die einzelnen Kapitel der Arbeitsgruppenberichte geben ausführliche Hinweise auf die wissenschaftliche Primärliteratur, auf der IPCC-Sachstandsberichte aufbauen, und bieten auch die ausführlichste regionen- und sektorspezifischen Informationen.

Nachfolgend ist ein ausführliches Glossar und eine Liste der Akronyme, Abkürzungen und wissenschaftlichen Einheiten angefügt, um die Nutzung dieses Berichts durch ein so breites Publikum wie möglich zu erleichtern.

Anhang II

Glossar

Herausgeber: Alfons P. M. Baede (Niederlande)

Mitherausgeber: Paul van der Linden (Vereinigtes Königreich), Aviel Verbruggen (Belgien)

Dieses Glossar beruht auf den Glossaren, die in den Beiträgen der Arbeitsgruppen I, II und III zum Vierten IPCC-Sachstandsbericht veröffentlicht wurden. Es wurde zusätzliche Arbeit auf Ergänzungen, Konsistenz und die Kürzung von Definitionen verwendet, damit sich dieses Glossar für ein breiteres Publikum eignet.

Der verwendete Kursivdruck hat folgende Bedeutung: *Verweis auf einen Glossareintrag*; *Glossar Sekundärverweis* (d.h. Begriffe, die entweder im Glossar eines der IPCC-Arbeitsgruppenbeiträge zum AR4 enthalten oder im Text eines Eintrags in diesem Glossar definiert sind).

A.

Abfluss

Der Teil von Niederschlägen, der nicht verdunstet und nicht transpiriert wird, sondern über die Erdoberfläche fließt und so in Wasserkörper zurückkehrt. Siehe *Wasserkreislauf*.

Abrupte Klimänderung

Die Nicht-Linearität des *Klimasystems* kann zu abrupten *Klimaänderung* führen, manchmal auch *schnelle Klimaänderung*, *abrupte Ereignisse* oder sogar *Überraschungen* genannt. Der Begriff *abrupt* bezieht sich oft darauf, dass etwas schneller abläuft als mit der für den verantwortlichen Antrieb typischen Geschwindigkeit. Es müssen jedoch nicht alle abrupten Klimaänderungen *äußerlich angetrieben* sein. Einige der als möglich angesehenen abrupten Ereignisse schließen eine dramatische Umorganisation der thermohalinen Zirkulation, eine schnelle Gletscherschmelze, massives Abschmelzen von *Permafrost* oder Anstiege in der Bodenatmung mit ein, was zu schnellen Änderungen im *Kohlenstoffkreislauf* führen würde. Andere können als Folge eines starken, sich schnell verändernden Antriebs eines nicht-linearen Systems wahrlich unerwartet auftreten.

Absorption, Streuung und Emission von Strahlung

Elektromagnetische Strahlung kann mit Materie, sei sie in Form von Atomen und Molekülen eines Gases (z.B. die Gase in der *Atmosphäre*) oder in Form von partikulärer Materie, fest oder flüssig (z.B. *Aerosole*), auf vielfältige Weise wechselwirken. Materie selbst *emittiert* Strahlung gemäß ihrer Zusammensetzung und Temperatur. Strahlung kann durch Materie absorbiert werden, wodurch die *absorbierte* Energie übertragen oder re-emittiert werden kann. Schließlich kann Strahlung als Folge ihrer Wechselwirkung mit Materie auch von ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt (*gestreut*) werden.

Activities Implemented Jointly (AIJ)

Pilotphase für *Joint Implementation*, wie in Artikel 4.2(a) des *Rahmenabkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)* definiert, die Projektaktivitäten zwischen Industrienationen (und ihren Unternehmen) sowie zwischen Industrienationen und Entwicklungsländern (und deren Unternehmen) gestattet. AIJ soll es den Parteien der UNFCCC ermöglichen, Erfahrungen in gemeinsam umgesetzten Projekten zu sammeln. Es gibt keine Anerkennung für AIJ während der Pilotphase. Eine Entscheidung hängt von der Zukunft der AIJ-Projekte ab und davon, wie sie in Beziehung zu den *Kyoto-Mechanismen* stehen. Als eine einfache Form von handelbaren Zertifikaten stellen AIJ und andere marktkonforme Systeme potenzielle Mechanismen zur Anregung zusätzlicher Ressourcenflüsse für die Emissionsminderung dar. Siehe auch *Clean Development Mechanism* und *Emissionshandel*.

Äquivalente Kohlendioxid (CO₂)-Emission

Siehe Kasten "Emissionen und Konzentrationen von Kohlendioxidäquivalenten (CO₂-Äq.)" in Thema 2 des Syntheseberichts und WGI Kapitel 2.10.

Äquivalente Kohlendioxid (CO₂)-Konzentration

Siehe Kasten "Emissionen und Konzentrationen von Kohlendioxidäquivalenten (CO₂-Äq.)" in Thema 2 des Syntheseberichts.

Aerosole

Feste oder flüssige Partikel in der Luft mit einer typischen Größe zwischen 0,01 und 10 µm, die mindestens ein paar Stunden in der Atmosphäre bleiben. Aerosole können entweder natürlichen oder *anthropogenen* Ursprungs sein. Sie können das *Klima* auf verschiedene Arten beeinflussen: Direkt durch Streuung und *Absorption* der Strahlung, und indirekt als Kondensationskerne für die Wolkenbildung oder durch die Veränderung der optischen Eigenschaften und der Lebensdauer von Wolken.

Äußere Antriebe

Äußere Antriebe beziehen sich auf eine Antriebskraft außerhalb des *Klimasystems*, die eine Änderung im Klimasystem verursacht. Vulkanausbrüche, solare Schwankungen sowie *anthropogene* Änderungen in der Zusammensetzung der *Atmosphäre* und *Landnutzungsänderungen* stellen äußere Antriebe dar.

Anpassung

Initiativen und Maßnahmen, um die Empfindlichkeit natürlicher und menschlicher Systeme gegenüber tatsächlichen oder erwarteten Auswirkungen der *Klimaänderung* zu verringern. Es können verschiedene Arten von Anpassungen unterschieden werden, darunter *vorausschauende* und *reaktive*, *private* und *öffentliche*, *autonome* und *geplante* Anpassung. Beispiele sind unter anderem die Erhöhung von Fluss- und Küstendeichen, der Einsatz von Pflanzen, die besser mit Temperaturschocks umgehen können, anstelle von empfindlichen, usw.

Anpassungsfähigkeit

Die Gesamtheit der Fähigkeiten, Ressourcen und Institutionen eines Landes oder einer *Region*, um wirksame Maßnahmen zur *Anpassung* umzusetzen.

Anpassungskosten

Kosten der Planung, Vorbereitung, Ermöglichung und Umsetzung von *Anpassungsmaßnahmen*, einschließlich Transitionskosten.

Anpassungsvorteile

Die vermiedenen Schadenskosten oder die anfallenden Gewinne als Folge der Verabschiedung und Umsetzung von *Anpassungsmaßnahmen*.

Antriebe

Siehe *Äußere Antriebe*.

Aggregierte Auswirkungen

Die gesamten, über Sektoren und/oder *Regionen* integrierten *Auswirkungen*. Für die Aggregation von Auswirkungen benötigt man Kenntnisse (oder Annahmen) über die relativen Bedeutungen von Auswirkungen in verschiedenen Sektoren und Regionen. Ein Maß für aggregierte Auswirkungen wäre z.B. die Gesamtzahl an betroffenen Menschen oder die wirtschaftlichen Gesamtkosten.

Albedo

Der Anteil der *Sonnenstrahlung*, der an einer Oberfläche oder an einem Körper reflektiert wird, oft in Prozent angegeben. Schneebedeckte Oberflächen haben eine hohe Albedo; die Albedo von Böden reicht von hoch bis niedrig; pflanzen-

bedeckte Oberflächen und Ozeane haben eine niedrige Albedo. Die Albedo der Erde variiert hauptsächlich wegen unterschiedlicher Bewölkung, Schnee-, Eis-, oder Laubbedeckung und Landnutzungsänderungen.

Albedo-Rückkopplung

Eine *Klimarückkopplung* mit Veränderungen in der *Albedo* der Erde. Sie bezieht sich normalerweise auf Veränderungen in der *Kryosphäre*, deren Albedo viel höher (~0,8) als die durchschnittliche planetare Albedo (~0,3) ist. Man erwartet, dass die Kryosphäre unter einem sich erwärmendem Klima schrumpfen, die Gesamtalbedo der Erde abnehmen und mehr Sonnenenergie absorbiert würde, wodurch die Erde noch weiter erwärmt würde.

Algenblüte

Explosive Vermehrung von Algen in einem See, Fluss oder Ozean.

Alpin

Die biogeographische Zone aus Hängen über der Baumgrenze, die durch die Anwesenheit von rosettenbildenden krautigen Pflanzen und niedrigen, langsam wachsenden buschigen Gehölzen charakterisiert ist.

Annex I-Länder

Die Gruppe von Ländern, die im Anhang I (wie 1998 ergänzt) des *Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)* aufgeführt ist und alle OECD-Staaten des Jahres 1990 sowie Transformationsländer umfasst. In Artikel 4.2 (a) und 4.2 (b) der Konvention verpflichten sich die Annex I-Länder ausdrücklich, bis zum Jahr 2000 individuell oder gemeinsam zum Niveau ihrer *Treibhausgasemissionen* von 1990 zurückzukehren. Die anderen Länder werden automatisch als *Nicht-Annex I-Länder* bezeichnet. Eine Liste der Annex I-Länder ist unter <http://unfccc.int> zu finden.

Annex II-Länder

Die Gruppe von Ländern, die im Anhang II des *Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)* aufgeführt ist und alle OECD-Staaten des Jahres 1990 umfasst. In Artikel 4.2 (g) der Konvention wird von diesen Ländern erwartet, dass sie finanzielle Mittel zur Verfügung stellen, um Entwicklungsländern bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen zu unterstützen, wie z.B. bei der Erstellung der nationalen Berichte. Annex II-Länder sollen auch den Transfer umwelterträglicher Technologien in Entwicklungsländer fördern. Eine Liste der Annex II-Länder ist unter <http://unfccc.int> zu finden.

Annex B-Länder

Gruppe von Ländern, die im Anhang B des *Kyoto-Protokolls* aufgeführt sind und die sich über ein Ziel ihrer Treibhausgasemissionen geeinigt haben, inklusive aller *Annex I-Länder* (wie 1998 ergänzt) außer der Türkei und Weißrussland. Eine Liste der Annex I-Länder ist unter <http://unfccc.int> zu finden. Siehe *Kyoto-Protokoll*.

Anthropogen

Vom Menschen verursacht oder produziert.

Anthropogenic emissions

Emissionen von *Treibhausgasen*, deren Vorläufern und *Aerosolen*, die mit menschlichen Aktivitäten in Verbindung stehen. Hierzu zählen die Verbrennung *fossiler Brennstoffe*, *Rodung*, *Landnutzungsänderungen*, Viehherden, Düngung usw..

Arides Gebiet

Ein Landgebiet mit geringem Niederschlag, wobei *gering* im Allgemeinen als <250 mm Niederschlag pro Jahr angesehen wird.

Atmosphäre

Die gasförmige Hülle, welche die Erde umgibt. Die trockene Atmosphäre besteht fast gänzlich aus Stickstoff (78,1 Volumenprozent) und Sauerstoff (20,9 Volumenprozent), zusammen mit einer Anzahl von Spurengasen wie Argon (0,93 Volumenprozent), Helium und strahlungsaktiven Treibhausgasen wie *Kohlendioxid* (0,035 Volumenprozent) und *Ozon*. Zusätzlich enthält die Atmosphäre das Treibhausgas Wasserdampf, dessen Menge stark schwankt, aber typischerweise bei 1 Volumenprozent liegt. Die Atmosphäre enthält auch Wolken und *Aerosole*.

Aufforstung

Pflanzung von Wäldern auf Land, das mindestens 50 Jahre lang nicht bewaldet war. Eine Diskussion der Begriffe *Wald* und verwandter Begriffe wie (*Wieder-*

Aufforstung und *Entwaldung* ist im IPCC-Bericht zur Landnutzung, Landnutzungsänderung und Waldwirtschaft (Land Use, Land-Use Change and Forestry; IPCC, 2000) gegeben. Siehe auch den IPCC-Bericht "Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types" (IPCC, 2003).

Aufnahme

Die Zugabe eines Stoffes von Belang in einen Speicher. Die Aufnahme von kohlenstoffhaltigen Substanzen, insbesondere *Kohlendioxid*, wird im Englischen oft mit (*Kohlenstoff-*)*sequestration* bezeichnet.

Aussterben

Das vollständige Verschwinden einer ganzen biologischen Art.

Auswirkungen von Klimaänderungen

Die Auswirkungen der *Klimaänderung* auf natürliche und *menschliche Systeme*. Je nach Einbeziehung von *Anpassung*, kann zwischen potenziellen und verbleibenden Auswirkungen unterschieden werden:

- *Potenzielle Auswirkungen*: alle Auswirkungen, die bei einer projizierten Klimaänderung auftreten könnten, ohne Berücksichtigung von *Anpassung*.
- *Verbleibende Auswirkungen*: die Auswirkungen einer Klimaänderung, die nach Anpassung noch auftreten würden.

Siehe auch *aggregierte Auswirkungen*; *wirtschaftliche Auswirkungen* und *nicht-wirtschaftliche Auswirkungen*.

B.

Bassin/Becken

Das Wassereinzugsgebiet von Bächen, Flüssen oder Seen.

Bewertung der Auswirkungen von Klimaänderungen

Der Vorgang der Identifizierung und monetärer und/oder nicht-monetärer Bewertung der Auswirkungen von *Klimaänderung* auf natürliche und *menschliche Systeme*.

Biologische Vielfalt

Die gesamte Variabilität aller Lebewesen und Ökosysteme auf vielfältigen räumlichen Ebenen (von Genen zu gesamten *Biomen*).

Biom

Ein wesentliches und charakteristisches regionales Element der *Biosphäre*, das üblicherweise aus mehreren Ökosystemen (z.B. *Wäldern*, Flüssen, Teichen, Sümpfen innerhalb einer *Region mit bestimmtem Klima*), besteht. Biome sind durch typische Pflanzen- und Tiergemeinschaften charakterisiert.

Biomasse

Die gesamte Masse an lebenden Organismen in einem bestimmten Gebiet oder Volumen; neuerdings wird totes Pflanzenmaterial oft als tote Biomasse mit eingeschlossen. Die Menge an Biomasse wird als Trockengewicht oder als *Energie*-, Kohlenstoff- oder Stickstoffgehalt angegeben.

Biosphäre (terrestrische und marine)

Der Teil des Systems Erde, der alle *Ökosysteme* und lebenden Organismen in der *Atmosphäre*, auf dem Land (*terrestrische Biosphäre*) oder im Meer (*marine Biosphäre*) umfasst, inklusive daraus entstandenem toten organischen Material wie Laubfall, organische Bodenmasse und ozeanischem Detritus.

Biotreibstoff

Aus organischem Material oder brennbaren Pflanzenölen hergestellter Brennstoff. Beispiele sind u.a. Alkohol, Schwarzlauge aus der Papierherstellung, Holz und Sojaöl.

Bodentemperatur

Die Temperatur des Untergrunds nahe der Oberfläche (oft innerhalb der obersten 10 cm).

Bohrlochtemperatur

Bohrlochtemperaturen werden in Bohrlöchern in zig bis hunderten von Metern Tiefe im Erdinneren gemessen. Tiefenprofile der Bohrlochtemperatur werden im Allgemeinen genutzt, um daraus zeitliche Schwankungen der Oberflächentem-

peratur über Jahrhunderte hinweg abzuleiten.

Borealer Wald

Kiefern-, Tannen-, Fichten- und Lärchenwälder, die sich von der Ostküste Kanadas nach Westen hin bis nach Alaska und weiter von Sibirien nach Westen hin über ganz Russland in die europäische Ebene erstrecken.

Bottom-up-Modelle

Bottom-up-Modelle bilden die Wirklichkeit ab, indem sie Charakteristika bestimmter Aktivitäten und Abläufe aggregieren, wobei technologische, technische und kostentechnische Details mit einbezogen werden. Siehe auch *Top down-Modelle*.

Brennstoffsubstitution

Im Allgemeinen der Einsatz von Brennstoff A anstelle von Brennstoff B. Im Rahmen von Klimaänderungsdiskussionen wird stillschweigend davon ausgegangen, dass Brennstoff A einen niedrigeren Kohlenstoffgehalt als Brennstoff B hat, z.B. Erdgas statt Kohle.

Brennstoffzelle

Eine Brennstoffzelle erzeugt aus der kontrollierten elektrochemischen Reaktion zwischen Wasserstoff oder einem anderen Treibstoff und Sauerstoff auf direkte und kontinuierliche Art Strom. Mit Wasserstoff als Treibstoff emittiert sie lediglich Wasser und Wärme (kein *Kohlendioxid*), und die Wärme kann nutzbar gemacht werden. Siehe *Kraft-Wärme-Kopplung*.

Bruttoinlandsprodukt (BIP)

Der monetäre Wert aller Güter und Dienstleistungen, die innerhalb eines Landes produziert werden.

C.

Clean Development Mechanism (CDM)

Der CDM wird in Artikel 12 des *Kyoto-Protokolls* definiert und verfolgt zwei Ziele: (1) Unterstützung der Parteien, die in *Annex 1* nicht enthalten sind, damit diese eine *nachhaltige Entwicklung* verfolgen und zur Erfüllung der Konventionsziele beitragen können; (2) Unterstützung der in Anhang I enthaltenen Parteien, damit diese ihre quantifizierten Emissionsbeschränkungen und -reduktionen erfüllen können, zu denen sie sich verpflichtet haben. Zertifizierte Emissionsreduktionen von CDM-Projekten, die in Nicht-Annex 1-Ländern durchgeführt werden und Treibhausgasemissionen einschränken oder reduzieren, können, falls sie von den durch die Vertragsstaatenkonferenz (COP) eingesetzten Organen zertifiziert worden sind, dem Investor (Staatsverwaltung oder Industrie) aus *Annex B-Ländern* angerechnet werden. Ein Teil des Erlöses aus solchen zertifizierten Projektaktivitäten wird genutzt, um Verwaltungskosten zu decken und um von der *Klimaänderung* besonders bedrohte Entwicklungsländer bei der Deckung der *Anpassungskosten* zu unterstützen.

CO₂-Äquivalent

Siehe Kasten "Emissionen und Konzentrationen von Kohlendioxidäquivalenten (CO₂-Äq.)" in Thema 2 des Syntheserichts und WGI Kapitel 2.10.

CO₂-Düngung

Siehe *Kohlendioxiddüngung*.

D.

Diskontierung (Abzinsung)

Eine mathematische Operation, die Geld- (oder andere) Mengen, die zu verschiedenen Zeitpunkten (Jahren) erhalten oder ausgegeben wurden, vergleichbar macht. Der Operator nutzt eine feste oder möglicherweise eine von Jahr zu Jahr variierende *Diskontrate* (>0), die zukünftige Werte heute weniger wertvoll erscheinen lässt. In einem *deskriptiven Diskontierungsansatz* akzeptiert man die Diskontraten, die Menschen (Anleger und Investoren) tatsächlich in ihren tagtäglichen Entscheidungen anwenden (*private Diskontrate*). In einem *präskriptiven Diskontierungsansatz* (*ethisch oder normativ*) wird die Diskontrate aus gesellschaftlicher Sicht festgelegt, z.B. auf der Grundlage einer ethischen Einschätzung der Interessen zukünftiger Generationen (*soziale Diskontrate*).

Diskontrate

Siehe *Diskontierung*

Dürre

In allgemeinen Worten ist eine Dürre eine „verlängerte Abwesenheit von oder ein markanter Mangel an Niederschlägen“, ein „Mangel, der zu Wasserknappheit für gewisse Aktivitäten oder gewisse Gruppen führt“, oder ein „Zeitraum von außerordentlich trockenem Wetter, der lange genug anhält, so dass der Niederschlagsmangel ein ernsthaftes hydrologisches Ungleichgewicht verursacht“ (Heim, 2002). Dürre wurde auf verschiedene Arten definiert. *Landwirtschaftliche Dürren* bezieht sich auf Feuchtigkeitsdefizite ungefähr im obersten Meter des Bodens (die Wurzelzone), der die Nutzpflanzen beeinflusst; *meteorologische Dürren* sind hauptsächlich anhaltende Niederschlagsdefizite und *hydrologische Dürren* beziehen sich auf unterdurchschnittliche Abflüsse, See- oder Grundwasserspiegel. Eine *Megadürre* ist eine sich lange hinziehende und verbreitete Dürre, die viel länger als normal dauert, üblicherweise ein Jahrzehnt oder mehr.

Durchfluss

Wasserfluss innerhalb eines Flussbettes, z.B. in m³/s ausgedrückt.

Dynamischer Eisabfluss

Eisabfluss von *Eisschilden* oder *Eiskappen*, der durch die Dynamik des Eisschildes oder der Eiskappe (z.B. in Form von *Gletscherbewegung*, Eisströmen und kalbenden Eisbergen) hervorgerufen wird und nicht durch Schmelze oder *Abfluss* von Wasser.

E.

(Fluss-)Einzugsgebiet/Bassin/Becken

Ein Gebiet, das Regenwasser sammelt und abführt.

Eisbohrkern

Ein aus einem *Gletscher* oder *Eisschild* gebohrter Zylinder aus Eis.

Eiskappe

Eine kuppelförmige Eismasse, die normalerweise ein Hochland bedeckt, und die ein beträchtlich kleineres Ausmaß hat als ein *Eisschild*.

Eisschild

Eine Landeismasse, die genügend mächtig ist, um den größten Teil der Topographie des darunterliegenden Gesteinsuntergrundes zu überdecken, so dass ihre Form hauptsächlich durch ihre innere Dynamik bestimmt ist (dem Eisstrom durch innerliche Verformung und/oder Gleiten auf dem Untergrund). Ein Eisschild fließt von einem hohen Zentralplateau mit geringer durchschnittlicher Oberflächenneigung nach außen. Die Ränder fallen normalerweise steiler ab, und das meiste Eis wird durch schnell fließende Eisströme oder Ausfluss-*Gletscher* abgesetzt, in manchen Fällen ins Meer oder in Schelfeis, das auf dem Meer schwimmt. Es gibt nur drei große Eisschilde in der modernen Welt — einen auf Grönland und zwei in der Antarktis, den Ost- bzw. Westantarktischen Eisschild, getrennt durch die Transantarktischen Berge. Während der Eiszeiten gab es weitere Eisschilde.

El Niño-Southern Oscillation (ENSO)

Der Begriff *El Niño* wurde ursprünglich verwendet, um eine Warmwasserströmung zu beschreiben, die regelmäßig entlang der Küste von Ecuador und Peru fließt und dabei die lokale Fischerei stört. Inzwischen bezeichnet er eine beckenweite Erwärmung des tropischen Pazifiks östlich der Datumsgrenze. Dieser ozeanische Vorgang steht in Verbindung mit einer Fluktuation in einem tropischen und subtropischen Oberflächendrucksystem auf globaler Ebene, die *Southern Oscillation* genannt wird. Dieses gekoppelte *Atmosphären-Ozean-Phänomen*, das vorzugsweise in Zeiträumen von zwei bis sieben Jahren auftritt, ist weithin bekannt als *El Niño-Southern Oscillation*, oder *ENSO*. Es wird oft über die Differenz der Oberflächendruckanomalie zwischen Darwin und Tahiti und über die Meeresoberflächentemperaturen im Zentral- und Ostäquatorial-Pazifik gemessen. Während eines ENSO-Ereignisses werden die vorherrschenden Passatwinde schwächer, wodurch der Auftrieb des Tiefenwassers reduziert und Meeresströmungen geändert werden, so dass die Meeresoberflächentemperaturen ansteigen und die Passatwinde weiter geschwächt werden. Dieses Ereignis hat große Auswirkungen auf die Wind-, Meeresoberflächentemperatur- und Niederschlagsmuster im tropischen Pazifik. Durch globale Telekonnektionsprozesse hat es klimatische Auswirkungen in der gesamten Pazifikregion und in vielen anderen Teilen der Welt. Die Kaltphase von ENSO heißt *La Niña*.

Emissionshandel

Ein marktkonformer Ansatz zur Erreichung von klimapolitischen Zielen. Er

besteht darin, dass diejenigen Parteien, die ihre *Treibhausgasemissionen* unter das vorgeschriebene Niveau senken, ihre überschüssigen Rechte auf Emissionen nutzen oder mit ihnen handeln können, um Emissionen aus einer anderen Quelle im In- oder Ausland auszugleichen. Im Allgemeinen kann der Handel innerhalb eines Unternehmens, eines Landes oder international erfolgen. Der zweite Sachstandsbericht des IPCC (SAR) hat die Konvention übernommen, den Begriff „Lizenzen“ für Binnen- und „Quoten“ für internationale Handelssysteme zu verwenden. Emissionshandel ist in Artikel 17 des *Kyoto-Protokolls* als ein System handelbarer Quoten definiert, das auf den zugeteilten Emissionsmengen basiert, die aus den Emissionsminderungs- und Beschränkungsverpflichtungen errechnet wurden, wie sie in *Annex B* des Protokolls aufgeführt sind.

Emissionsminderung

Technologiewandel und –ersatz, die den Ressourceneinsatz und die Emissionen pro Ausgabereinheit verringern. Obwohl einige gesellschaftliche, wirtschaftliche und technologischen Maßnahmen einen Emissionsrückgang erzeugen würden, ist mit Minderung im Zusammenhang mit *Klimaänderung* die Umsetzung von Politiken für die THG-Emissionsminderung und die Stärkung von *Senken* gemeint.

Emissionsminderungskapazität

Die Fähigkeit eines Landes, die Emissionen *anthropogener Treibhausgase* zu reduzieren oder natürliche *Senken* zu stärken, wobei sich Fähigkeit auf Fertigkeiten, Kompetenzen, die Anpassbarkeit und Leistungen bezieht, die ein Land erlangt hat. Diese Fähigkeit hängt von Technologie, Institutionen, Wohlstand, Gerechtigkeit, *Infrastruktur* und Information ab. Die Emissionsminderungskapazität ist im Entwicklungspfad eines Landes hin zu Nachhaltigkeit verwurzelt.

Emissionsminderungspotenzial

Im Zusammenhang mit Klimaschutz ist das Emissionsminderungspotenzial das Ausmaß an *Emissionsminderung*, das mit der Zeit erreicht werden könnte, aber noch nicht erreicht ist.

Das *Marktpotenzial* ist das auf der Anlastung privater Kosten und Diskontraten 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. Private Kosten und Diskontraten spiegeln die Perspektive privater Verbraucher und Unternehmen wieder.

Das *wirtschaftliche Potenzial* ist das Emissionsminderungspotenzial, das eine Anlastung sozialer Kosten, Gewinne und Diskontraten mit einbezieht, unter der Annahme, dass die Effizienz des Marktes durch Politiken und Maßnahmen verbessert wird und dass Hemmnisse abgebaut werden.

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 *technische Potenzial* ist das Ausmaß, zu dem *Treibhausgasemissionen* vermindert oder die Energieeffizienz gesteigert werden können, indem eine neue, bereits demonstrierte Technologie oder Praxis angewendet wird. Es wird nicht ausdrücklich auf Kosten Bezug genommen, aber die Annahme von „praktischen Einschränkungen“ kann implizite wirtschaftliche Überlegungen mit einbeziehen.

Emissionsszenario

Eine plausible Darstellung der zukünftigen Entwicklung der Emissionen von Substanzen, die möglicherweise strahlungswirksam sind (z.B. *Treibhausgase*, *Aerosole*), basierend auf einer kohärenten und in sich konsistenten Reihe von Annahmen über die zugrundeliegenden Kräfte (wie demographische und sozioökonomische Entwicklung oder Technologiewandel) und deren Schlüsselbeziehungen. Von Emissionsszenarien abgeleitete *Konzentrationsszenarien* werden als Vorgabe für die Berechnung von *Klimaprojektionen* mit *Klimamodellen* eingesetzt. IPCC (1992) präsentierte eine Reihe von Emissionsszenarien, die als Basis für die Klimaprojektionen in IPCC (1996) dienen. Diese Emissionsszenarien werden als die IS92-Szenarien bezeichnet. Im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (Nakićenović und Swart, 2000) wurden neue Emissionsszenarien — die sogenannten SRES-Szenarien — veröffentlicht. Für die Bedeutung einiger mit diesen Szenarien verbundener Begriffe, siehe *SRES-Szenarien*.

Emissionstrajektorie

Eine projizierte zeitliche Entwicklung der Emission eines *Treibhausgases* oder einer Gruppe von Treibhausgasen, *Aerosolen* und Vorläuferstoffen von Treibhausgasen.

Energie

Die gelieferte Menge an Arbeit oder Wärme. Energie wird in eine Vielzahl von Arten unterteilt und wird für den Menschen nutzbar wenn sie von einem Ort zum anderen fließt oder von einer Art in die andere umgewandelt wird. *Primärenergie* (auch als *Energiequellen* bezeichnet) ist die Energie, die in natürlichen Ressourcen (z.B. Kohle, Rohöl, Erdgas, Uran) enthalten ist und keinerlei Umwandlung durch den Menschen erfahren hat. Diese Primärenergie muss umgewandelt und transportiert werden, um zu *nutzbarer Energie* (z.B. Licht) zu werden. *Erneuerbare Energie* wird aus den anhaltenden oder sich wiederholenden Energieströmen in der Natur gewonnen und schließt sowohl kohlendioxidfreie Technologien wie Solarenergie, Wasserkraft, Wind, Gezeiten und Wellen und Erdwärme als auch kohlendioxidneutrale Technologien wie Biomasse mit ein. *Graue Energie* ist die Energie, die für die Herstellung eines Materials (z.B. veredelte Metalle oder Baustoffe) verbraucht wird, wobei der Energieverbrauch in der Produktionsstätte (nullte Ordnung), der Energieverbrauch für die Herstellung der Materialien, die in der Produktionsstätte verwendet werden (erste Ordnung), usw. mit einbezogen werden.

Energiebilanz

Die Differenz zwischen der gesamten einfallenden und abgestrahlten Energie im *Klimasystem*. Wenn diese Bilanz positiv ist, tritt Erwärmung auf; wenn sie negativ ist, erfolgt Abkühlung. Über die gesamte Erde und über einen längeren Zeitraum gemittelt muss diese Bilanz null ergeben. Weil das *Klimasystem* praktisch die gesamte Energie von der Sonne erhält, impliziert diese Nullbilanz, dass global gesehen die Menge der einfallenden *Sonnenstrahlung* im Schnitt gleich der Summe der reflektierten Sonnenstrahlung und der vom Klimasystem ausgesandten *thermischen Infrarotstrahlung* sein muss. Eine Störung dieses globalen Strahlungsgleichgewichts, sei sie *anthropogen* oder natürlich verursacht, wird *Strahlungsantrieb* genannt.

Energieeffizienz

Das Verhältnis von *Energieertrag* zu Energieeinsatz in einem System, einem Umwandlungsprozess oder einer Aktivität.

Energieintensität

Energieintensität ist das Verhältnis von *Energieverbrauch* zu wirtschaftlicher oder physikalischer Produktionsleistung. Auf nationaler Ebene stellt die Energieintensität das Verhältnis des gesamten nationalen Primär- oder Endenergieverbrauchs zum *Bruttoinlandsprodukt* dar. Auf der Ebene einzelner Vorgänge können auch physikalische Größen im Nenner verwendet werden, z.B. Liter Treibstoff/Fahrzeugkilometer.

Entwaldung

Umwandlung von Wald in unbewaldetes Gebiet. Eine Diskussion des Begriffes *Wald* und verwandter Begriffe wie (*Wieder-)Aufforstung* und Entwaldung ist im IPCC-Bericht „Land Use, Land-Use Change and Forestry“ (IPCC, 2000) gegeben. Siehe auch den Bericht „Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types“ (IPCC, 2003).

Entwicklungspfad

Eine Entwicklung auf der Grundlage einer Anordnung von technologischen, wirtschaftlichen, sozialen, institutionellen, kulturellen und biophysikalischen Eigenschaften, die die Wechselwirkungen zwischen natürlichen und *menschlichen Systemen* über die Zeit in einem bestimmten Maßstab bestimmen, einschließlich der Produktions- und Verbrauchsmuster in allen Ländern. *Alternative Entwicklungspfade* beziehen sich auf andere mögliche Entwicklungstrajektorien, wobei die Fortsetzung derzeitiger Trends nur einen unter vielen Pfaden darstellt.

Erkennung und Zuordnung

Das *Klima* ändert sich ständig auf allen Zeitskalen. Die *Erkennung* einer *Klimaänderung* ist das Verfahren, mit dem aufgezeigt wird, dass sich das Klima in einem bestimmten statistischen Sinn geändert hat, ohne einen Grund für diese Änderung zu nennen. Die *Zuordnung* von Gründen für die Klimaänderung ist das Verfahren der Bestimmung der wahrscheinlichsten Gründe für die erkannten Änderungen auf einem bestimmten *Vertrauensniveau*.

Erfüllung

Erfüllung beschreibt, ob und in welchem Ausmaß sich Länder an die Bedingungen eines Abkommens halten. Erfüllung hängt von der Umsetzung der angeordneten Politiken ab und davon, ob den Politiken entsprechende Maßnahmen folgen. Erfüllung ist das Maß, in dem die Akteure, auf deren Verhalten das Abkommen abzielt, lokale Regierungen, Konzerne, Organisationen oder Einzelpersonen, sich an die Umsetzungsverpflichtungen halten. Siehe auch *Umsetzung*.

Erosion

Der Prozess des Entfernens und des Transports von Boden und Gestein durch Verwitterung, Massenabnutzung und unter Einwirkung von Fließgewässern, *Gletschern*, Wellen, Wind und Grundwasser.

Evapotranspiration

Die kombinierten Vorgänge von Wasserverdunstung von der Erdoberfläche und pflanzlicher Transpiration.

Extremes Wetterereignis

Ein Ereignis, das an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Jahreszeit selten ist. Die Definitionen für "selten" variieren, aber ein extremes Wetterereignis wäre normalerweise so selten wie oder seltener als das 10- oder 90%-*Perzentil* der beobachteten Wahrscheinlichkeitsverteilung. Per Definition kann die Charakteristik von so genanntem *Extremwetter* absolut gesehen von Ort zu Ort unterschiedlich sein. Einzelne Extremereignisse können nicht einfach und direkt der *anthropogenen Klimaänderung* zugeordnet werden, da immer eine begrenzte Chance besteht, dass das betreffende Ereignis natürlicherweise hätte auftreten können. Wenn ein Muster von extremem Wetter über eine bestimmte Zeitspanne, z.B. eine Jahreszeit, bestehen bleibt, kann es als "*extremes Klimaereignis*" klassifiziert werden, vor allem wenn es ein Mittel bzw. eine Summe aufweist, die seinerseits bzw. ihrerseits extrem ist (z.B. eine *Dürre* oder Starkniederschlag während einer ganzen Saison).

F.

F-Gase

Dieser Begriff bezieht sich auf folgende Gruppen von Gasen, die im *Kyoto-Protokoll* behandelt sind: *Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW)*, *perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW)* und *Schwefelhexafluorid*.

Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs)

Siehe *Halogenkohlenwasserstoffe*

Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW)

Eines der sechs *Treibhausgase* oder Treibhausgasgruppen, die im Rahmen des *Kyoto-Protokolls* eingeschränkt werden. Sie werden kommerziell als Ersatzstoff für FCKWs hergestellt. H-FKW werden oft in Kühlgeräten und in der Halbleiterherstellung eingesetzt. Siehe *Halogenkohlenwasserstoffe*.

Freiwilliges Abkommen

Ein Abkommen zwischen einer Regierungsbehörde und einer oder mehreren privaten Parteien, um Umweltziele zu erreichen oder die Umweltverträglichkeit über die *Erfüllung* von vorgeschriebenen Verpflichtungen hinaus zu steigern. Nicht alle freiwilligen Abkommen sind wirklich freiwillig; einige beinhalten Belohnungen und/oder Strafen in Verbindung mit dem Beitritt oder der Erfüllung von Verpflichtungen.

Freiwilliges Handeln

Informelle Programme, Selbstverpflichtungen und Erklärungen, bei denen die Parteien (einzelne Unternehmen oder Unternehmensgruppen), die der Aktion beitreten, ihre eigenen *Ziele* setzen und oft selbst überwachen und Bericht erstatten.

Fossile Brennstoffe

Kohlenstoffbasierte Brennstoffe aus fossilen Kohlenwasserstoffablagerungen, einschließlich Kohle, Torf, Öl und Erdgas.

G.

Gefrorener Untergrund

Boden oder Gestein, in welchem das Porenwasser teilweise oder ganz gefroren ist (Van Everdingen, 1998). Gefrorener Untergrund schließt *Permafrost* ein. Untergrund, der jährlich gefriert und wieder auftaut, wird *saisonal gefrorener Untergrund* genannt.

Gelegenheiten

Umstände zur Verringerung der Diskrepanz zwischen *Marktpotenzial* einer beliebigen Technologie oder Praktik und dem *wirtschaftlichen* oder technischen *Potenzial*.

Gesamte Sonneneinstrahlung

Die Menge an *Sonnenstrahlung*, die außerhalb der *Erdatmosphäre* in mittlerer Entfernung der Erde zur Sonne auf einer zur einfallenden Strahlung senkrecht stehenden Fläche auftritt. Verlässliche Messungen der Sonnenstrahlung können nur im Weltraum gemacht werden und eine genaue Aufzeichnung reicht nur bis 1978 zurück. Der allgemein anerkannte Wert beträgt 1,368 Watt pro Quadratmeter ($W m^{-2}$) mit einer Genauigkeit von etwa 0,2%. Schwankungen um ein paar Zehntel Prozent sind üblich, normalerweise hängen sie mit dem Durchzug von Sonnenflecken über die Sonnenscheibe zusammen. Die Schwankung der gesamten Sonneneinstrahlung über den Sonnenzyklus liegt in der Größenordnung von 0,1%. Quelle: AMS, 2000.

Gesamtwirtschaftliche Kosten

Diese Kosten werden üblicherweise als Änderungen im *Bruttoinlandsprodukt* oder im Wachstum des Bruttoinlandsprodukts gemessen, oder als Verlust an Wohlstand oder Konsum.

Gletscher

Eine Landeismasse, die unter dem Einfluss der Schwerkraft bergab fließt (durch innere Umformung und/oder Gleiten auf dem Untergrund) und durch internen Druck und Reibung auf dem Untergrund und an den Seiten eingegrenzt ist. Ein Gletscher wird durch die Akkumulation von Schnee in höheren Lagen genährt; dies wird durch das Abschmelzen in den tieferen Lagen oder durch das Abbrechen ins Meer wieder ausgeglichen. Siehe *Massenbilanz*.

Gletschersee

Ein aus dem Schmelzwasser eines *Gletschers* gebildeter See, der sich entweder vor dem Gletscher (*proglazialer See*), auf der Gletscheroberfläche (*supraglazialer See*), in Gletscherinnen (*englazialer See*) oder im Gletscherbett (*subglazialer See*) befindet.

Globale Erdoberflächentemperatur

Die globale Erdoberflächentemperatur ist eine Schätzung der globalen mittleren Lufttemperatur an der Erdoberfläche. Für die Berechnung von Änderungen über die Zeit werden allerdings nur Anomalien, d.h. Abweichungen von klimatologischen Mittelwerten, verwendet. Diese werden üblicherweise als flächengewichteter globaler Durchschnitt der Temperaturanomalien an der Meeresoberfläche und der Anomalien der Lufttemperatur über der Landoberfläche berechnet.

Globales Erwärmungspotenzial (GWP)

Ein auf den Strahlungseigenschaften von gut durchmischten *Treibhausgasen* beruhender Index, der den über einen gewählten Zeithorizont integrierten *Strahlungsantrieb* einer Masseinheit eines bestimmten gut durchmischten *Treibhausgases* in der heutigen *Atmosphäre* im Vergleich zu demjenigen von *Kohlendioxid* angibt. Das GWP repräsentiert den kombinierten Effekt der unterschiedlichen Zeitdauer, für welche diese Gase in der Atmosphäre verbleiben, und des relativen Wirkungsgrades bei der Absorption der abgehenden *thermischen Infrarotstrahlung*. Das *Kyoto-Protokoll* beruht auf GWPs von Impuls-Emissionen über einen Zeitraum von 100 Jahren.

Grad des wissenschaftlichen Verständnisses (GDVV)

Dies ist ein Index auf einer fünfstufigen Skala (hoch, mittel, mittel-niedrig, niedrig und sehr niedrig), der dazu dient, den Grad des wissenschaftlichen Verständnisses der *Strahlungsantriebs*-Kräfte, welche die *Klimaänderung* beeinflussen, zu charakterisieren. Für jede Kraft beschreibt der Index eine subjektive Einschätzung der Anhaltspunkte zu den physikalisch-chemischen Mechanismen, die den Antrieb bestimmen, und zum Konsens bezüglich der quantitativen Abschätzung und deren *Unsicherheiten*.

H.

Halogenkohlenwasserstoffe

Ein Sammelbegriff für die Gruppe von teilweise halogenisierten organischen Substanzen, einschließlich Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs) und Hydrofluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKWs), sowie *perfluorierter Kohlenwasserstoffe* (FKWs), Halone, Methylchlorid, Methylbromid, etc. Viele der Halogenkohlenwasserstoffe haben ein hohes *Globales Erwärmungspotenzial*. Die

chlor- und bromhaltigen Halogenkohlenwasserstoffe sind auch am Abbau der *Ozonschicht* beteiligt.

Handelbares Zertifikat

Ein handelbares Zertifikat ist ein wirtschaftliches Instrument, im Rahmen dessen die Rechte zum Ausstoß von Verschmutzung – in diesem Fall einer Menge an *Treibhausgasemissionen* – über einen entweder freien oder geregelten Zertifikatsmarkt ausgetauscht werden können. Ein *Emissionszertifikat* stellt eine nicht-übertragbare oder handelbare Genehmigung für die Emission einer bestimmten Menge einer Substanz dar, die einer juristischen Person (Firma oder anderem Emittenten) durch eine Regierung zugewiesen wird.

Hemmnis

Jegliches Hindernis bei der Erreichung eines Ziels oder beim Ausschöpfen des *Anpassungs-* oder *Minderungspotenzials*, das durch eine politische Strategie, durch ein Programm oder durch eine Maßnahme überwunden oder abgeschwächt werden kann. Der *Abbau von Hemmnissen* umfasst die direkte Korrektur von Marktfehlern oder die Verringerung von Transaktionskosten im öffentlichen und privaten Sektor, z.B. indem die institutionelle Kapazität verbessert, Risiko und Unsicherheit vermindert, Markttransaktionen erleichtert und regulierende Maßnahmen umgesetzt werden.

Hydrofluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKWs)

Siehe *Halogenkohlenwasserstoffe*

Hydrologische Systeme

Siehe *Wasserkreislauf*

Hydrosphäre

Der Teil des *Klimasystems*, der flüssiges Oberflächen- und unterirdisches Wasser umfasst, wie z.B. Ozeane, Meere, Flüsse, Süßwasserseen, Grundwasser, etc.

I.

Indigene Völker

Es existiert keine international anerkannte Definition von indigenen Völkern. Unter anderem werden folgende gemeinsame Merkmale oft im internationalen Recht und durch Behörden der Vereinten Nationen angewendet, um indigene Völker zu charakterisieren: Ansässigkeit in geographisch begrenzten, traditionellen Wohngebieten und ererbten Territorien sowie Bindung an deren natürliche Ressourcen; Erhalt kultureller und sozialer Identitäten sowie sozialer, wirtschaftlicher, kultureller und politischer Institutionen getrennt von den vorherrschenden Gesellschaften und Kulturen; Abstammung von Bevölkerungsgruppen, die meist bereits vor der Schaffung moderner Staaten oder Territorien sowie aktueller Grenzen in bestimmten Gebieten ansässig waren; und Selbstwahrnehmung als Teil einer bestimmten indigenen kulturellen Gruppe sowie der Wunsch, diese kulturelle Identität zu wahren.

Industrielle Revolution

Eine Zeitspanne raschen industriellen Wachstums mit weitreichenden sozialen und wirtschaftlichen Folgen, welche in Großbritannien in der zweiten Hälfte des achtzehnten Jahrhunderts begann und sich später auf andere Länder einschließlich der USA ausbreitete. Die Erfindung der Dampfmaschine war ein wichtiger Auslöser dieser Entwicklung. Die industrielle Revolution markiert den Beginn eines starken Anstiegs im Verbrauch *fossiler Brennstoffe* und in der Emission insbesondere von fossilem *Kohlendioxid*. Die Ausdrücke *vorindustriell* und *industriell* beziehen sich in diesem Bericht – etwas willkürlich – auf die Zeit vor bzw. nach 1750.

Induzierter Technologiewandel

Siehe *Technologiewandel*.

Infektionskrankheit

Jegliche Krankheit, die durch mikrobielle Wirkstoffe hervorgerufen wird und die von einer Person auf die andere oder von Tieren auf Menschen übertragbar ist. Dies kann durch direkten physischen Kontakt, durch die Handhabung von Gegenständen, der infektiöse Organismen aufgenommen hat, durch einen Krankheitsträger, über verseuchtes Wasser oder durch die Verbreitung von infizierten Tröpfchen, die in die Luft gehustet oder ausgeatmet wurden, geschehen.

Infrastruktur

Die Grundausrüstung, Einrichtungen, produzierende Unternehmen, Installationen und Dienstleistungen, die für die Entwicklung, den Betrieb und das Wach-

tum einer Organisation, Stadt oder Nation erforderlich sind.

Integrierte Bewertung

Eine Analyseverfahren, die Ergebnisse und Modelle aus Physik, Biologie, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften und die Interaktionen zwischen diesen Komponenten in einem konsistenten Rahmen kombiniert, um den Zustand und die Folgen von Umweltveränderungen sowie der politischen Reaktionen darauf zu bewerten. Modelle, die für solche Analysen verwendet werden, heißen *Integrated Assessment-Modelle*.

Integriertes Wasserressourcen-Management (IWRM)

Das vorherrschende Konzept für Wasserwirtschaft, das jedoch nicht eindeutig definiert worden ist. IWRM basiert auf vier Prinzipien, die von der „International Conference on Water and the Environment“ in Dublin 1992 formuliert wurden: 1) Süßwasser ist eine begrenzte und verwundbare Ressource, die für den Erhalt von Leben, Entwicklung und der Umwelt unentbehrlich ist; 2) Wassergewinnung und -wirtschaft sollten auf einem partizipatorischen Ansatz beruhen und Nutzer, Planer und politische Entscheidungsträger auf allen Ebenen mit einbeziehen; 3) Frauen spielen in der Bereitstellung, der Bewirtschaftung und dem Schutz von Wasser eine zentrale Rolle; 4) Wasser hat in allen seinen miteinander konkurrierenden Nutzungsarten einen wirtschaftlichen Wert und sollte als wirtschaftliches Gut angesehen werden.

J.

Joint Implementation (JI)

Ein marktconformer Umsetzungsmechanismus, der in Artikel 6 des *Kyoto-Protokolls* definiert wird. Er erlaubt *Annex I-Ländern* oder Unternehmen aus diesen Ländern, Projekte zur Emissionsminderung oder zum Ausbau von *Senken* gemeinsam umzusetzen und die Emissionsminderungseinheiten (Emissions Reduction Units) zu teilen. JI-Aktivitäten sind auch in Artikel 4.2(a) des *Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)* erlaubt. Siehe auch *Kyoto-Mechanismen; Activities Implemented Jointly*.

K.

Kaufkraftparität (KKP)

Die Kaufkraft einer Währung wird über einen Waren- und Dienstleistungskorb ausgedrückt, der mit einem bestimmten Betrag im eigenen Land erworben werden kann. Der internationale Vergleich von z.B. *Bruttoinlandsprodukten (BIP)* verschiedener Länder kann besser auf Basis der Kaufkraft von Währungen als auf der von aktuellen Wechselkursen durchgeführt werden. Auf der Basis von KKP wird oft das pro-Kopf-BIP in Industrienationen geringer und das pro-Kopf-BIP in Entwicklungsländern höher eingeschätzt.

Klima

Klima im engeren Sinn ist normalerweise definiert als das durchschnittliche Wetter, oder genauer als die statistische Beschreibung des Wetters in Form von Durchschnittswerten und der Variabilität relevanter Größen über eine Zeitspanne, die im Bereich von Monaten bis hin zu Tausenden oder Millionen von Jahren liegen kann. Der klassische, von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) definierte Zeitraum sind 30 Jahre. Die relevanten Größen sind meistens Oberflächenvariablen, wie Temperatur, Niederschlag und Wind. Klima im weiteren Sinn ist der Zustand des *Klimasystems*, einschließlich einer statistischen Beschreibung. In verschiedenen Kapiteln dieses Berichts werden auch andere Mittelungszeiträume, z.B. Zeiträume von 20 Jahren, verwendet.

Klimaänderung

Klimaänderung bezieht sich auf jede Änderung des *Klimas* im Verlauf der Zeit, die aufgrund einer Änderung im Mittelwert oder im Schwankungsbereich seiner Eigenschaften identifiziert werden kann (z.B. mit Hilfe von statistischen Tests), und die über einen längeren Zeitraum von typischerweise Jahrzehnten oder noch länger andauert. Klimaänderung kann durch interne natürliche Schwankungen oder durch *äußere Antriebe* oder durch andauernde *anthropogene* Veränderungen in der Zusammensetzung der *Atmosphäre* oder der *Landnutzung* zustande kommen. Es ist zu beachten, dass das *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)* im Artikel 1 Klimaänderung definiert als „Änderungen des Klimas, die unmittelbar oder mittelbar auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen.“ Das UNFCCC unterscheidet also zwischen Klimaänderung verursacht durch die Veränderung der Zusammensetzung der Atmosphäre aufgrund menschlicher Aktivitäten und Klimava-

riabilität aufgrund natürlicher Ursachen. Siehe auch *Klimavariabilität; Erkennung und Zuordnung*.

Klima-Kohlenstoffkreislauf-Kopplung

Zukünftige, durch Emissionen von *Treibhausgasen* in die Atmosphäre hervorgerufene *Klimaänderungen* werden sich auf den globalen *Kohlenstoffkreislauf* auswirken. Änderungen im globalen Kohlenstoffkreislauf wiederum werden den in der Atmosphäre verbleibenden Anteil an anthropogenen Treibhausgasen beeinflussen und dadurch die atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen, die zu weiteren Klimaänderungen führen. Diese *Rückkopplung* wird *Klima-Kohlenstoffkreislauf-Kopplung* genannt. Die erste Generation gekoppelter Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modelle liefert Hinweise darauf, dass die weltweite Erwärmung den Anteil des anthropogenen CO₂, der in der Atmosphäre verbleibt, erhöhen wird.

Klimamodell

Eine numerische Darstellung des *Klimasystems*, die auf den physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften seiner Bestandteile und ihren Wechselwirkungen und *Rückkopplungsprozessen* basiert und alle oder einige seiner bekannten Eigenschaften berücksichtigt. Das Klimasystem kann von Modellen unterschiedlicher Komplexität dargestellt werden, d.h. für jeden Bestandteil oder eine Kombination von Bestandteilen kann ein Modellspektrum oder eine Modellhierarchie bestimmt werden, die sich in Aspekten unterscheidet wie der Anzahl der räumlichen Dimensionen, dem Ausmaß, in welchem physikalische, chemische oder biologische Prozesse explizit dargestellt werden, oder bis zu welchem Grad empirische Parametrisierungen verwendet werden. Gekoppelte *allgemeine Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodelle (AOGCM)* bieten eine Darstellung des Klimasystems, die sich nahe am umfassendsten Ende des derzeit vorhandenen Spektrums befindet. Es gibt eine Entwicklung in Richtung noch komplexerer Modelle mit interaktiver Chemie und Biologie (siehe WGI Kapitel 8). Klimamodelle werden als Forschungsinstrument verwendet, um das *Klima* zu untersuchen und zu simulieren, aber auch für operationelle Zwecke, einschließlich monatlicher, saisonaler und jahresübergreifender *Klimaprognosen*.

Klimaprognose

Eine Klimaprognose ist das Resultat eines Versuchs, eine Schätzung der effektiven Entwicklung des *Klimas* in der Zukunft vorzunehmen, z.B. auf saisonaler, jahresübergreifender oder längerfristiger Zeitskala. Weil die zukünftige Entwicklung des *Klimasystems* stark von den Ausgangsbedingungen abhängen kann, bestehen solche Prognosen in der Regel aus Wahrscheinlichkeitsangaben. Siehe auch *Klimaprojektion, Klimaszenario*.

Klimaprojektion

Eine *Projektion* der Reaktion des *Klimasystems* auf *Emissions-* oder *Konzentrationszenarien* von *Treibhausgasen*, *Aerosolen* oder *Strahlungsantriebs-Szenarien*, häufig auf *Klimamodellsimulationen* basierend. Klimaprojektionen werden von *Klimaprognosen* unterschieden, um zu betonen, dass Klimaprojektionen von den verwendeten Emissions-/Konzentrations- bzw. Strahlungsantriebs-Szenarien abhängen, die auf Annahmen z.B. über zukünftige gesellschaftliche und technologische Entwicklungen beruhen, die nur eventuell verwirklicht werden und deshalb mit erheblichen *Unsicherheiten* verbunden sind.

Klimarahmenkonvention

Siehe *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)*.

Klimarückkopplung

Ein Wechselwirkungs-Mechanismus zwischen Prozessen im *Klimasystem* wird Klimarückkopplung genannt, wenn die Wirkung eines ersten Prozesses Veränderungen in einem zweiten Prozess auslöst, welcher wiederum den ersten Prozess beeinflusst. Eine positive Rückkopplung verstärkt den ursprünglichen Prozess, eine negative Rückkopplung schwächt ihn ab.

Klimasensitivität

In den Berichten des IPCC bezieht sich die *Gleichgewichts-Klimasensitivität* auf die Gleichgewichtsänderung der globalen mittleren *Erdoberflächentemperatur* als Folge einer Verdoppelung der atmosphärischen *CO₂-Äquivalent-Konzentration*. Aufgrund von rechenbedingten Einschränkungen wird die Gleichgewichts-Klimasensitivität in einem *Klimamodell* gewöhnlich abgeschätzt, indem ein atmosphärisches allgemeines Zirkulationsmodell mit einem Mischungsschicht-Ozeanmodell gekoppelt wird, da die Gleichgewichts-Klimasensitivität haupt-

sächlich durch atmosphärische Prozesse bestimmt wird. Effiziente Modelle können mit einem dynamischen Ozean bis zum Gleichgewicht betrieben werden. Die *Übergangsreaktion des Klimasystems* ist die über einen 20-Jahres-Zeitraum gemittelte Änderung der *globalen Erdoberflächentemperatur*, zentriert auf den Zeitpunkt der Verdopplung des atmosphärischen Kohlendioxids, d.h. in einem Experiment mit einem globalen gekoppelten *Klimamodell* mit einem Anstieg des *Kohlendioxid-Äquivalents* um 1%-pro-Jahr im Jahr 70. Sie ist ein Maß für die Stärke und Geschwindigkeit der Reaktion der Erdoberflächentemperatur auf den Antrieb durch *Treibhausgase*.

Klimasystem

Das Klimasystem ist ein höchst komplexes System, das aus fünf Hauptbestandteilen besteht: der *Atmosphäre*, der *Hydrosphäre*, der *Kryosphäre*, der Landoberfläche und der *Biosphäre* sowie den Wechselbeziehungen zwischen diesen Bestandteilen. Das Klimasystem verändert sich über die Zeit unter dem Einfluss seiner eigenen inneren Dynamik und durch *äußere Antriebe* wie Vulkanausbrüche, solare Schwankungen und *anthropogene* Einflüsse wie die Änderung der Zusammensetzung der *Atmosphäre* und der *Landnutzung*.

Klimaszenario

Eine plausible und häufig vereinfachte Beschreibung des zukünftigen *Klimas*, die auf einer in sich konsistenten Reihe klimatologischer Beziehungen beruht und ausdrücklich für die Verwendung bei der Untersuchung der potenziellen Auswirkungen *anthropogenen Klimawandels* erstellt wurde. Es dient häufig als Input in Wirkungsmodelle. *Klimaprojektionen* dienen oft als Rohmaterial für die Erstellung von Klimaszenarien, aber Klimaszenarien benötigen normalerweise zusätzliche Informationen z.B. über das beobachtete derzeitige Klima. Ein *Klimaänderungsszenario* ist die Differenz zwischen einem Klimaszenario und dem derzeitigen Klima.

Klimavariabilität

Klimavariabilität bezieht sich auf Schwankungen des mittleren Zustandes und anderer statistischer Größen (wie Standardabweichungen, Vorkommen von Extremereignissen, etc.) des *Klimas* auf allen zeitlichen und räumlichen Skalen, die über einzelne Wetterereignisse hinausgehen. Die Variabilität kann durch natürliche interne Prozesse innerhalb des *Klimasystems* (*interne Variabilität*) oder durch natürliche oder *anthropogene äußere Einflüsse* (*externe Variabilität*) begründet sein. Siehe auch *Klimaänderung*.

Klimaverschiebung

Eine abrupte Verschiebung oder ein Sprung in den Durchschnittswerten, die eine Veränderung im *Klimaregime* anzeigen (siehe *Muster der Klimavariabilität*). Am meisten in Verbindung mit der Klimaverschiebung 1976/1977 verwendet, die einer Veränderung im Verhalten der *El Niño-Southern Oscillation* entsprechen zu scheint.

Kohlendioxid (CO₂)

Ein natürlich vorkommendes Gas, auch ein Nebenprodukt aus der Verbrennung fossiler Treibstoffe aus fossilen Kohlenstofflagerstätten, wie z.B. Öl, Gas und Kohle, sowie der Verbrennung von *Biomasse* und von *Landnutzungsänderungen* und anderen industriellen Prozessen. Es ist das wichtigste *anthropogene Treibhausgas*, das die Strahlungsbilanz der Erde beeinflusst. Es ist das "Bezugsgas", gegenüber welchem die anderen Treibhausgase gemessen werden, und hat deshalb ein *Globales Erwärmungspotential (GWP)* von 1.

Kohlendioxidabtrennung und -speicherung (CCS)

Verfahren, bestehend aus der Abtrennung von *Kohlendioxid* aus industriellen und energiebedingten Quellen, dem Transport zu einer Lagerstätte und der langfristigen Isolation von der *Atmosphäre*.

Kohlendioxid- (CO₂)-Düngung

Verstärktes Pflanzenwachstum als Folge einer gestiegenen atmosphärischen *Kohlendioxid- (CO₂)-Konzentration*. Abhängig von ihrem *Photosynthesemechanismus* sind bestimmte Pflanzentypen empfindlicher gegenüber Veränderungen der atmosphärischen CO₂-Konzentration.

Kohlendioxidintensität

Die Menge an *Kohlendioxid*-Emissionen pro *BIP*-Einheit.

Kohlendioxid-Leckage

Der Teil an Emissionsminderungen in *Annex B-Ländern*, der durch einen Anstieg der Emissionen in Ländern ohne Reduktionsverpflichtung über ihre Referenzni-

veaus hinaus aufgewogen werden könnte. Dies kann geschehen durch (1) Verlagerung energieintensiver Produktion in Regionen ohne Reduktionsverpflichtung; (2) verstärkte Nutzung fossiler Brennstoffe in diesen Regionen aufgrund eines durch die niedrigere Nachfrage erzeugten Rückgangs der internationalen Öl- und Gaspreise; und (3) Einkommensänderungen (und dadurch Änderungen der Energienachfrage) aufgrund besserer Handelsbedingungen.

Kohlenstoffkreislauf

Der Begriff beschreibt den Kohlenstofffluss (in verschiedenen Formen, z.B. als *Kohlendioxid*) durch die *Atmosphäre*, das Meer, die terrestrische *Biosphäre* und die Lithosphäre.

Kohlenstoffsequestration

Siehe *Aufnahme*

Koralle

Der Begriff *Koralle* hat mehrere Bedeutungen, ist aber üblicherweise ein gebräuchlicher Name für die Ordnung der Scleractinia, deren Mitglieder über ein hartes Kalkskelett verfügen und bei denen riffbildende und nicht-riffbildende sowie Kalt- und Warmwasserkorallen unterschieden werden können. Siehe *Korallenbleiche*; *Korallenriffe*

Korallenbleiche

Das Erblässen der Farbe, das eintritt, wenn eine *Koralle* ihren symbiotischen, energispendenden Organismus verliert.

Korallenriffe

Felsartige Kalkstrukturen, die von *Korallen* entlang von Meeresküsten (*Riffe in Randzonen*) oder auf flachen Unterwasserbänken oder Felsbänken (*Wallriffe*, *Atolle*) geschaffen werden und in tropischen und subtropischen Ozeanen am deutlichsten zu sehen sind.

Kosten

Der Verbrauch von Ressourcen wie Arbeitszeit, Kapital, Material, Brennstoffen usw. als Folge einer Handlung. In den Wirtschaftswissenschaften werden alle Ressourcen anhand ihrer *Gelegenheitskosten* bewertet, die den Wert des wertvollsten anderweitigen Gebrauchs der Ressourcen darstellen. Kosten werden auf verschiedene Arten und unter einer Vielzahl an Annahmen, die ihren Betrag beeinflussen, definiert. Kostenarten sind unter anderem: *Verwaltungskosten*, *Schadenskosten* (für Ökosysteme, Völker und Wirtschaftssysteme aufgrund negativer Auswirkungen der *Klimaänderung*, und *Umsetzungskosten* der Änderung bestehender Gesetze und Regelungen, Anstrengungen zum Kapazitätsaufbau, Information, (Aus)bildung, usw.). *Private Kosten* werden von Einzelpersonen, Unternehmen oder privaten Organisationen getragen, die die Handlung durchführen, wohingegen *soziale Kosten* auch die externen Kosten für Umwelt und Gesellschaft als Ganzes mit einschließen. Negative Kosten sind *Gewinne*. Kosten minus Gewinne ergeben *Nettokosten*.

Kraft-Wärme-Kopplung

Die (zusätzliche) Nutzung der Abwärme aus thermischer Stromerzeugung. Wärme kann beispielweise aus Kondensationswärme von Dampfturbinen oder aus den heißen Abgasen von Gasturbinen für industrielle Prozesse, Gebäudebeheizung oder allgemein die Fernwärmeversorgung gewonnen werden.

Kryosphäre

Der Teil des *Klimasystems*, der Schnee, Eis und *gefrorenen Untergrund* (einschließlich *Permafrost*) ober- und unterhalb der Erd- und Meeresoberfläche umfasst. Siehe auch *Gletscher*; *Eisschild*.

Kyoto-Mechanismen (auch Flexibilitätsmechanismen)

Auf Marktprinzipien beruhende Wirtschaftsmechanismen, die Parteien des *Kyoto-Protokolls* nutzen können, um die potenziellen wirtschaftlichen Auswirkungen der Erfordernisse bezüglich der *Minderung von Treibhausgasemissionen* zu verringern. Dazu zählen *Joint Implementation* (Artikel 6), *Clean Development Mechanism* (Artikel 12) und der *Emissionshandel* (Artikel 17).

Kyoto-Protokoll

Das Kyoto-Protokoll zum *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)* wurde 1997 an der dritten Vertragsstaatenkonferenz (COP) zum UNFCCC in Kyoto, Japan, angenommen. Es enthält rechtlich bindende Verpflichtungen in Ergänzung zu denjenigen im UNFCCC. Länder, die in *Annex B* des Protokolls aufgeführt sind (die meisten OECD-Staaten und

Transformationsländer), vereinbarten eine Reduktion ihrer *anthropogenen Treibhausgas-Emissionen (Kohlendioxid, Methan, Lachgas, Schwefelhexafluorid, Fluorkohlenwasserstoffe und Perfluorkohlenstoffe)* um mindestens 5% unter den Stand von 1990 innerhalb des Verpflichtungszeitraums von 2008 bis 2012. Das Kyoto-Protokoll trat am 16. Februar 2005 in Kraft.

L.

Lachgas (N₂O)

Eines der sechs *Treibhausgase*, die unter dem *Kyoto-Protokoll* zu mindern sind. Die größte anthropogene Quelle von Lachgas ist die Landwirtschaft (Bodenbewirtschaftung und tierische Dünger), es kommen aber auch wichtige Beiträge aus der Abwasserbehandlung, der Verbrennung fossiler Brennstoffe und chemischen Industrieprozessen. Lachgas wird auch natürlich von einer großen Bandbreite an biologischen Quellen in Böden und Wasser produziert, insbesondere durch mikrobielle Aktivität in tropischen Regenwäldern.

Landnutzung und Landnutzungsänderung

Landnutzung bezieht sich auf die Gesamtheit der Vorkehrungen, Aktivitäten und Investitionen, die in einem bestimmten Landbedeckungstyp vorgenommen werden (eine Reihe menschlicher Aktivitäten). Der Begriff *Landnutzung* wird auch im Sinne des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Zwecks, für den Land bewirtschaftet wird (z.B. Weidewirtschaft, Holznutzung, Naturschutz), verwendet. *Landnutzungsänderung* bezieht sich auf eine Änderung in der Nutzung oder Bewirtschaftung des Landes durch den Menschen, die zu Bodenbedeckungsänderungen führen kann. Bodenbedeckungs- und Landnutzungsänderungen können Auswirkungen auf die Oberflächen-*Albedo*, *Evapotranspiration*, *Quellen* und *Senken* von *Treibhausgasen* oder auf andere Eigenschaften des *Klimasystems* haben und können deshalb einen *Strahlungsantrieb* und/oder andere Einflüsse auf das lokale oder globale *Klima* bewirken. Siehe auch den IPCC-Sonderbericht "IPCC Special Report on Land Use, Land Use Change, and Forestry" (IPCC, 2000)

Learning by Doing

Während Forscher und Firmen mit einem neuen technologischen Prozess vertraut werden oder durch ausgeweitete Produktion Erfahrungen sammeln, können sie Wege zur Verbesserung von Prozessen und zur Kostenreduzierung entdecken. „Learning by Doing“ ist eine Art erfahrungsbasierter Technologiewandel.

Letzte Zwischeneiszeit

Siehe *Zwischeneiszeiten*

M.

Malaria

Endemische oder epidemische Parasitenkrankheit, die durch Arten der Gattung *Plasmodium* (Protozoa) hervorgerufen und auf Menschen durch Mücken der Gattung *Anopheles* übertragen wird. Sie erzeugt hohe Fieberschübe und systemische Störungen. Weltweit sind etwa 300 Millionen Menschen an Malaria erkrankt, jährlich sterben etwa 2 Millionen Menschen daran.

Marktpotenzial

Siehe *Emissionsminderungspotenzial*.

Marktwechsellkurs

Der Kurs, zu dem Landeswährungen ausgetauscht werden. Die meisten Wirtschaftssysteme veröffentlichen solche Kurse täglich. Sie werden mit geringen Differenzen an allen Börsen angewandt. In einigen Entwicklungsländern können signifikante Unterschiede zwischen offiziellen und Schwarzmarktkursen bestehen, und der Marktwechsellkurs ist schwierig festzulegen.

Marktwirtschaftliche Auswirkungen

Auswirkungen, die monetär ausgedrückt werden können und direkt das *Bruttoinlandsprodukt* beeinflussen – z.B. Preisänderungen bei landwirtschaftlichen Materialien und/oder Erzeugnissen. Siehe auch *Nicht-marktwirtschaftliche Auswirkungen*.

Marktwirtschaftliche Nettogewinne

Der Klimawandel, insbesondere moderate *Klimaänderungen*, wird wahrscheinlich positive und negative Auswirkungen auf marktbasierende Sektoren haben. Dies ist jedoch sowohl von der Geschwindigkeit als auch dem Ausmaß der Klimaänderung abhängig und es bestehen signifikante Unterschieden zwischen verschiedenen Sektoren und *Regionen*. Die Summe der positiven und negativen

marktbasierten Gewinne und *Kosten*, die über alle Sektoren und alle Regionen für einen bestimmten Zeitraum aufaddiert wurden, heißen *marktwirtschaftliche Nettogewinne*. Marktwirtschaftliche Nettogewinne schließen jegliche *nicht-marktwirtschaftlichen Auswirkungen* aus.

Massenbilanz (von Gletschern, Eiskappen oder Eisschilden)

Die Differenz zwischen dem Massenzufluss zu einem Eiskörper (Akkumulation) und dem Massenverlust (Abschmelzung, Abbruch von Eisbergen). Zu Massenbilanzausdrücken zählen unter anderem die folgenden:

spezifische Massenbilanz: der Netto-Massenverlust oder –gewinn über einen *hydrologischen Zyklus* an einem Punkt auf der Oberfläche des *Gletschers*.

Gesamtmassenbilanz (eines Gletschers): Die spezifische Massenbilanz räumlich über die ganze Gletscherfläche integriert; der gesamte Massenverlust oder –gewinn über einen hydrologischen Zyklus.

Mittlere spezifische Massenbilanz: Die Gesamtmassenbilanz pro Flächeneinheit des Gletschers. Falls „Oberfläche“ spezifiziert ist (*spezifische Oberflächenmassenbilanz*, etc.), sind Beiträge des Eisflusses nicht mit einbezogen; andernfalls schließen Massenbilanzen die Beiträge von Eisfluss und Eisbergabbrüchen ein. Die spezifische Oberflächenmassenbilanz ist an der Akkumulationsfläche positiv und an der Abschmelzfläche negativ.

Maßnahmen

Maßnahmen sind Technologien, Verfahren und Praktiken, die *Treibhausgasemissionen* oder deren Wirkungen unter die erwarteten zukünftigen Niveaus senken. Beispiele für Maßnahmen sind *Technologien für erneuerbare Energien*, *Müllvermeidungsverfahren* und *Praktiken für den öffentlichen Pendlerverkehr*, usw. Siehe auch *Politiken*.

Meereis

Jegliche Form von im Meer vorkommendem Eis, das durch Gefrieren von Meerwasser entstanden ist. Meereis kann aus einzelnen Stücken bestehen (*Eisschollen*), durch Wind und Strömungen über das Meer getrieben werden (*Packeis*) oder als bewegungslose Platte an die Küste angelagert sein (*Schelfeis*). Meereis, das weniger als ein Jahr alt ist, wird *einjähriges Eis* genannt, *mehrfjähriges Eis* ist Meereis, das mindestens eine sommerliche Schmelzsaison überlebt hat.

Meereisbiom

Das von allen marinen, im oder auf dem treibenden Meereis (gefrorenem Meerwasser) der Polarmeere lebenden Organismen gebildete *Biom*.

Meeresspiegeländerung /-anstieg

Der Meeresspiegel kann sich sowohl auf globaler als auch auf lokaler Ebene ändern, und zwar aufgrund von (i) Änderungen der Form der Ozeanbecken, (ii) Änderungen der gesamten Wassermasse und (iii) Änderungen der Dichte des Wassers. Zu den Faktoren, die unter globaler Erwärmung zu einem Meeresspiegelanstieg führen, zählen sowohl Zunahmen der gesamten Wassermasse durch das Abschmelzen von Schnee und Eis an Land, als auch Veränderungen der Wasserdichte durch einen Anstieg der Meerwassertemperaturen und Änderungen im Salzgehalt. Ein *relativer Meeresspiegelanstieg* tritt auf, wenn sich der Meeresspiegel relativ zum Land lokal erhöht, z.B. durch Meeresspiegelanstieg und/oder Absenkung des Landniveaus. Siehe auch *Mittlerer Meeresspiegel*; *Thermische Ausdehnung*.

Menschliches System

Jegliches System, in dem menschliche Organisationen eine Hauptrolle spielen. Oft, aber nicht immer ist der Begriff gleichbedeutend mit *Gesellschaft* oder *Gesellschaftssystem*, z.B. Landwirtschaftssystem, politischem System, technologischem System, Wirtschaftssystem; all dies sind menschliche Systeme im Sinne des Vierten Sachstandsberichts.

Meridionale Umwälzirkulation (MOC)

Eine zonal gemittelte, großräumige meridionale (nord-süd) Umwälzströmung in den Ozeanen. Im Atlantik transportiert eine solche Strömung relativ warmes Oberflächenwasser nach Norden und relativ kaltes Tiefenwasser nach Süden. Der *Golfstrom* stellt einen Teil dieser atlantischen Strömung dar.

Methan (CH₄)

Methan ist eines der sechs *Treibhausgase*, die im Rahmen des *Kyoto-Protokolls* bekämpft werden. Es ist der Hauptbestandteil von Erdgas und steht in Zusammenhang mit allen kohlenwasserstoffbasierten Treibstoffen, Tierzucht und Landwirtschaft. *Kohleflöz-Methan* ist das Gas in Kohleebändern.

Methanrückgewinnung

Methanemissionen, z.B. aus Öl- oder Gasquellen, Kohleflözen, Torfmooren, Gaspipelines, *Deponien* oder von anaeroben Organismen, können aufgefangen und als Brennstoff oder zu einem anderen wirtschaftlichen Zweck genutzt werden (z.B. als chemisches Ausgangsprodukt).

Metrik

Ein konsistentes Maßsystem über eine Eigenschaft eines Objekts oder Aktivität, die auf andere Weise schwer zu quantifizieren ist.

Millennium Entwicklungsziele

Ein Satz von zeitgebundenen und messbaren Zielen in der Bekämpfung von Armut, Hunger, Krankheit, Analphabetismus, Diskriminierung von Frauen und Umweltzerstörung, die auf dem UN-Millenniumsgipfel im Jahr 2000 beschlossen wurden.

Mittlerer Meeresspiegel

Der mittlere Meeresspiegel ist normalerweise definiert als der durchschnittliche relative Meeresspiegel über einen bestimmten Zeitraum wie einen Monat oder ein Jahr – lang genug, um vorübergehende Schwankungen wie Wellen oder Tidenhub heraus zu mitteln. Der *relative Meeresspiegel* ist der Meeresspiegel, der von einem Pegel gegenüber dem Land, an das das Meer angrenzt, gemessen wird. Siehe *Meeresspiegeländerung /-anstieg*.

Modell

Siehe *Klimamodell*; *Bottom-up-Modelle*; *Top-down-Modelle*.

Modellhierarchie

Siehe *Klimamodell*.

Monsun

Ein Monsun ist eine tropische und subtropische saisonale Umkehrung sowohl der Oberflächenwinde als auch der damit verbundenen Niederschläge, die durch unterschiedliche Aufheizung der kontinentalen Landmasse und des angrenzenden Ozeans hervorgerufen wird. Monsunregen treten hauptsächlich über Land im Sommer auf.

Morbidität

Auftretshäufigkeit einer Krankheit oder anderen Gesundheitsstörung innerhalb einer Bevölkerung, wobei altersspezifische Morbiditätsraten berücksichtigt werden. Morbiditätsindikatoren sind z.B. das Auftreten/Überhandnehmen chronischer Erkrankungen, Häufigkeit von Krankenhausaufenthalten, Hausarztkonsultationen, Krankheitstage (d.h. Tage, an denen nicht zur Arbeit gegangen wird) und das Vorherrschen von Symptomen.

Mortalität

Häufigkeit von Todesfällen innerhalb einer Bevölkerung; die Berechnung der Mortalität berücksichtigt altersspezifische Sterberaten und kann so Angaben über die Lebenserwartung und das Maß an vorzeitigen Todesfällen machen.

Muster der Klimavariabilität

Natürliche Variabilität des *Klimasystems*, insbesondere in saisonalen oder längeren Zeitrahmen, tritt meistens in bevorzugten räumlichen Mustern und Zeiträumen auf, durch die dynamischen Charakteristika der Atmosphärenzirkulation und durch Interaktion mit der Land- und der Meeresoberfläche. Solche Muster werden oft *Regimes*, *Modi* oder *Fernverbindungen* genannt. Beispiele sind die Nordatlantik-Oszillation (NAO), das Pazifik-Nordamerikanische Muster (PNA), die *El Niño-Southern Oscillation (ENSO)*, der Northern Annular Mode (NAM; früher Arktische Oszillation, AO, genannt) und der Southern Annular Mode (SAM; früher Antarktische Oszillation, AAO, genannt). Viele der bekannten Modi der Klimavariabilität werden in Abschnitt 3.6 des Berichts der Arbeitsgruppe I behandelt.

N.

Nachfrageseitiges Management

Maßnahmen und Programme, um die Nachfrage nach Gütern und/oder Dienstleistungen zu beeinflussen. Im Energiesektor zielt nachfrageseitiges Management auf die Senkung der Nachfrage nach Strom und Energiequellen ab. Nachfrageseitiges Management hilft bei der Reduzierung von *Treibhausgasemissionen*.

Nachhaltige Entwicklung

Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung wurde in der „World Conservation

Strategy“ (IUCN 1980) eingeführt und entsprang dem Konzept einer nachhaltigen Gesellschaft und der Bewirtschaftung erneuerbarer Ressourcen. Es wurde 1987 von der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (WCED) und 1992 von der Rio-Konferenz verabschiedet als ein Änderungsprozess, in dem die Ausbeutung von Ressourcen, die Richtung von Investitionen, die Ausrichtung der technologischen Entwicklung und institutioneller Wandel alle miteinander in Einklang stehen und sowohl das heutige als auch das zukünftige Potenzial, menschliche Bedürfnisse und Hoffnungen zu befriedigen, verstärken. Nachhaltige Entwicklung vereinigt die politische, gesellschaftliche, wirtschaftliche und die Umweltdimension.

Nachrüstung

Nachrüstung bedeutet den Einbau neuer oder modifizierter Teile oder Ausrüstung, oder die Umsetzung struktureller Veränderungen an bestehender *Infrastruktur*, die zum Zeitpunkt der Errichtung entweder nicht verfügbar waren oder nicht für notwendig befunden wurden. Der Zweck einer Nachrüstung im Zusammenhang mit *Klimaänderung* ist es im Allgemeinen, sicherzustellen, dass bestehende Infrastruktur neue Konstruktionsvorgaben erfüllt, die unter veränderten Klimabedingungen notwendig werden können.

Nahrungsmittelsicherheit

Eine Situation, die dann gegeben ist, wenn Menschen einen gesicherten Zugang zu ausreichenden Mengen an unversehrten und nahrhaften Lebensmitteln haben, um normal wachsen, sich entwickeln und aktiv und gesund leben zu können. *Unsicherheit in der Nahrungsmittelversorgung* kann durch Nichtverfügbarkeit von Lebensmitteln, unzureichende Kaufkraft, unangemessene Verteilung oder unsachgemäße Verwendung von Lebensmitteln auf Ebene der Haushalte eintreten.

Nicht-marktwirtschaftliche Auswirkungen

Auswirkungen auf Ökosysteme oder das menschliche Wohlergehen, die jedoch nicht einfach monetär ausgedrückt werden können, z.B. ein erhöhtes Risiko vorzeitigen Todes oder Anstiege der Zahl an von Hunger bedrohten Menschen. Siehe auch *marktwirtschaftliche Auswirkungen*.

Nichtregierungsorganisation (NGO)

Gemeinnützige Gruppe oder Verein, die/der außerhalb der institutionalisierten politischen Strukturen organisiert ist, um bestimmte gesellschaftliche und/oder Umweltziele zu erreichen oder um bestimmten Interessensgruppen zu dienen. Quelle: <http://www.edu.gov.nf.ca/curriculum/teched/resources/glos-biodiversity.html>

O.

Oberflächentemperatur

Siehe *Globale Erdoberflächentemperatur*.

Ökosystem

Ein System von lebenden Organismen, die miteinander und mit ihrer physischen Umwelt interagieren. Die Definition der Grenzen eines Ökosystems variiert je nach Schwerpunkt der Untersuchung. Deshalb kann das Ausmaß eines Ökosystems von sehr kleinräumig bis weltumspannend sein.

Ozon (O₃)

Ozon, die triatomische Form von Sauerstoff, ist ein gasförmiger Bestandteil der *Atmosphäre*. In der *Troposphäre* wird es sowohl natürlich als auch durch photochemische Reaktionen unter Einbezug von Gasen, die von menschlichen Aktivitäten herrühren, gebildet (“Smog”). Troposphärisches Ozon wirkt als *Treibhausgas*. In der *Stratosphäre* wird Ozon durch das Zusammenwirken von solarer Ultraviolettstrahlung und molekularem Sauerstoff (O₂) gebildet. Stratosphärisches Ozon spielt eine entscheidende Rolle in der stratosphärischen Strahlungsbilanz. Seine Konzentration ist in der Ozonschicht am höchsten.

P.

Paläoklima

Das *Klima* in Zeiten vor der Entwicklung von Messinstrumenten, einschließlich historischer und geologischer Zeiträume, für die nur Proxy-Klimadatenreihen verfügbar sind.

Pegel

Eine Vorrichtung an einer Küstenstelle (und an einigen Stellen in der Tiefsee), die laufend die Höhe des Meeres in Bezug auf das angrenzende Land misst. Gemittelt über die Zeit ergibt der so aufgezeichnete Meeresspiegel die be-

obachtete Änderung des relativen Meeresspiegels über Jahrhunderte. Siehe *Meeresspiegeländerung/-anstieg*.

Perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW)

Gehören zu den sechs *Treibhausgasen*, deren Ausstoß laut dem *Kyoto-Protokoll* gemindert werden soll. Es sind Nebenprodukte aus der Aluminiumschmelzung und Urananreicherung. Darüber hinaus ersetzen sie *FCKWs* bei der Herstellung von Halbleitern.

Permafrost

Untergrund (Boden oder Fels einschließlich Eis und organischen Materials), der über mindestens zwei aufeinanderfolgende Jahre bei oder unter 0°C bleibt. (Van Everdingen, 1998). Siehe auch *gefrorener Untergrund*.

Perzentil

Ein Perzentil ist ein Wert auf einer Skala von Null bis Hundert, der den Prozentsatz an Datensatzwerten angibt, der gleich oder niedriger als er selbst ist. Das Perzentil wird oft genutzt um die Extremwerte einer Verteilung abzuschätzen. So kann z.B. das 90. (10.) Perzentil verwendet werden, um die Schwelle für die oberen (unteren) Extremwerte zu bezeichnen.

Phänologie

Die Phänologie befasst sich mit den periodisch wiederkehrenden Naturerscheinungen in biologischen Systemen (z.B. Entwicklungsphasen, Migration) und deren Beziehung zu *Klima*- und saisonalen Veränderungen.

Photosynthese

Der Vorgang, über den grüne Pflanzen, Algen und einige Bakterien *Kohlendioxid* aus der Luft (oder Bikarbonat aus dem Wasser) aufnehmen, um Kohlenhydrate zu bilden. Es gibt mehrere Photosynthesepfade mit unterschiedlichen Reaktionen auf atmosphärische Kohlendioxidkonzentrationen. Siehe *Kohlendioxiddüngung*.

pH-Wert

Der pH-Wert ist ein dimensionsloses Maß des Säuregehalts von Wasser (oder einer Lösung). Reines Wasser hat einen pH-Wert=7. Saure Lösungen haben einen pH-Wert unter 7 und basische Lösungen haben einen pH-Wert über 7. Der pH-Wert wird auf einer logarithmischen Skala gemessen. Daher entspricht eine pH-Wert-Abnahme um 1 Einheit einer 10fachen Zunahme des Säuregehalts.

Plankton

In den oberen Schichten aquatischer Systeme lebende Mikroorganismen. Es wird zwischen *Phytoplankton*, das für die Energieversorgung von Photosynthese abhängig ist, und *Zooplankton*, das sich von Phytoplankton ernährt, unterscheiden.

Politiken

Im Sprachgebrauch des *Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)* werden Politiken von Regierungen ausgeführt und/oder veranlasst – oft in Verbindung mit inländischen Unternehmen und der Industrie oder mit dem Ausland – um *Emissionsminderungs-* und *Anpassungsmaßnahmen* zu beschleunigen. Beispiele für Politiken sind Kohlendioxid- oder *Energiesteuern*, Treibstoffeffizienzstandards für Automobile usw. *Gemeinsame und koordinierte oder harmonisierte Politiken* sind Politiken, die von verschiedenen Parteien gemeinsam verabschiedet wurden. Siehe auch *Maßnahmen*.

Portfolio

Ein kohärenter Satz an einer Vielzahl von Maßnahmen und/oder Technologien, die politische Entscheidungsträger zur Erreichung ernannter politischer Ziele verwenden können. Indem man die Auswahl an Maßnahmen und Technologien erweitert, können unterschiedlichere Ereignisse und Unsicherheiten behandelt werden.

Post-SRES (-Szenarien)

Referenz- und Emissionsminderungsszenarien, die nach der Fertigstellung des IPCC-Sonderberichts zu Emissionsszenarien (*SRES*; Nakićenović und Swart, 2000), also nach dem Jahr 2000, veröffentlicht wurden.

Prognose

Siehe *Klimaprognose*; *Klimaprojektion*; *Projektion*.

Projektion

Eine mögliche zukünftige Entwicklung einer einzelnen Größe oder einer Reihe von Größen, oft mit Hilfe eines Modells berechnet. Projektionen werden von Prognosen unterschieden, um hervorzuheben, dass sie Annahmen beinhalten, z.B. betreffend künftiger sozioökonomischer und technologischer Entwicklungen, die vielleicht realisiert werden, vielleicht aber auch nicht, und dass sie deshalb wesentlich *Unsicherheiten* unterworfen sind. Siehe auch *Klimaprojektion* und *Klimaprognose*.

Q.

Quelle

Quelle bezieht sich meist auf jegliche Prozesse, Aktivitäten oder Mechanismen, die ein *Treibhausgas* ein *Aerosol* oder einen Vorläufer eines Treibhausgases oder eines Aerosols in die *Atmosphäre* freisetzen. Quelle kann z.B. auch eine *Energiequelle* bezeichnen.

R.

Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)

Die Konvention wurde am 9. Mai 1992 in New York verabschiedet und am Weltgipfel von 1992 in Rio de Janeiro von über 150 Ländern und der Europäischen Gemeinschaft unterschrieben. Ihr ultimatives Ziel ist die "Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau, das gefährliche anthropogene Beeinträchtigungen des Klimasystems verhindert". Es umfasst Verpflichtungserklärungen aller Parteien. Unter der Konvention zielen die in *Annex I* enthaltenen Länder (alle OECD- und *Transformationsländer*) darauf ab, die *Treibhausgasemissionen*, die nicht vom Montreal-Protokoll geregelt werden, bis zum Jahr 2000 auf das Niveau von 1990 zurückzuführen. Die Konvention ist im März 1994 in Kraft getreten. Siehe auch *Kyoto-Protokoll*.

Räumliche und zeitliche Skalen

Das *Klima* kann in einem weiten Spektrum von räumlichen und zeitlichen Skalen schwanken. *Räumliche Skalen* können von lokal (weniger als 100.000 km²) über *regional* (100.000 bis 10 Mio. km²) bis zu kontinental (10 bis 100 Mio. km²) variieren. *Zeiträume* variieren von saisonal bis zu geologisch (Hunderte von Millionen Jahren).

Reaktion des Klimasystems

Siehe *Klimasensitivität*

Referenzwert oder -szenario

Bezugsgröße für messbare Größen, an der ein alternatives Ergebnis gemessen werden kann, z.B. die Verwendung eines *Szenarios* ohne Intervention als Referenz für die Analyse von Interventionsszenarien.

Region

Eine Region ist ein durch spezifische geographische und klimatologische Strukturen charakterisiertes Gebiet. Das *Klima* einer Region wird durch regionale und lokale Antriebskräfte beeinflusst, wie Topographie, *Landnutzungs*eigenschaften, Seen, etc. sowie Einflüsse aus anderen Regionen.

Resilienz

Die Fähigkeit eines Sozial- oder Ökosystems, Störungen aufzunehmen und gleichzeitig dieselbe Grundstruktur und Funktionsweisen, die Kapazität zur Selbstorganisation sowie die Kapazität, sich an Stress und Veränderungen anzupassen, zu bewahren.

Rückkopplung

Siehe *Klimarückkopplung*.

S.

Salzwasserintrusion

Verdrängung von Süßwasser an der Oberfläche oder von Grundwasser durch das Vordringen von Salzwasser aufgrund seiner höheren Dichte. Dies tritt normalerweise in Küstengebieten und Flussmündungen auf, wenn sich der Einfluss vom Land her verringert (z.B. entweder durch verringerte *Abfluss*mengen und die damit verbundene geringere Grundwasserversorgung oder durch exzessive Wasserentnahme aus einem Aquifer), oder wenn der Einfluss vom Meer her zunimmt (z.B. relativer *Meeresspiegelanstieg*).

Saisonal gefrorener Untergrund

Siehe *Gefrorener Untergrund*

Schneedecke

Eine saisonale Anhäufung von langsam schmelzendem Schnee.

Schwefelhexafluorid (SF₆)

Eines der sechs *Treibhausgase*, die unter dem *Kyoto-Protokoll* zu bekämpfen sind. Es wird größtenteils in der Schwerindustrie verwendet, um Hochspannungsanlagen zu isolieren und um die Herstellung von Kabelkühlungen und Halbleitern zu unterstützen.

Senke

Alle Prozesse, Aktivitäten oder Mechanismen, die ein *Treibhausgas*, ein *Aerosol* oder einen Vorläufer eines Treibhausgases oder eines Aerosols aus der *Atmosphäre* entfernen.

Sensitivität

Sensitivität ist der Grad, zu dem ein System durch *Klimavariabilität* oder *Klimaveränderung* beeinflusst wird, sei es negativ oder positiv. Die Wirkung kann *direkt* sein (z.B. eine Veränderung des Ernteertrags als Reaktion auf eine Veränderung des Durchschnitts, der Bandbreite oder der Variabilität der Temperatur) oder *indirekt* (z.B. Schäden, die durch eine zunehmende Häufigkeit an Küstenüberflutungen aufgrund des *Meeresspiegelanstiegs* verursacht werden). Dieses Konzept der Sensitivität darf nicht mit der *Klimasensitivität* verwechselt werden, die oben separat definiert wurde.

Singularität

Ein Merkmal, das ein Phänomen oder einen Aspekt von anderen unterscheidet; etwas einzigartiges, anderes, besonderes, seltenes oder ungewöhnliches.

Sonnenaktivität

Die Sonne weist Zeiträume von hoher Aktivität auf, die sich in der Anzahl der Sonnenflecken wie auch in der Abstrahlung, in der magnetischen Aktivität und in der Emission von hochenergetischen Partikeln ausdrücken. Diese Variationen finden auf Zeitskalen von Millionen von Jahren bis zu Minuten statt.

Sonnenstrahlung

Von der Sonne ausgestrahlte elektromagnetische Strahlung. Sie wird auch als *Kurzwellenstrahlung* bezeichnet. Sonnenstrahlung weist eine bestimmte Spannbreite von Wellenlängen (Spektrum) auf, die von der Temperatur der Sonne abhängig sind. Sie ist in den sichtbaren Wellenlängen am stärksten. Siehe auch *Thermische Infrarotstrahlung*; *gesamte Sonneneinstrahlung*.

SRES-Szenarien

SRES-Szenarien sind *Emissionsszenarien*, die von Nakićenović und Swart (2000) entwickelt wurden und die, neben anderen, als Basis für die *Klimaprojektionen* im Vierten Sachstandsbericht verwendet wurden. Folgende Begriffe sind für ein besseres Verständnis der Struktur und des Gebrauchs der SRES-Szenarien wichtig:

Szenarienfamilie: Szenarien, die von einer ähnlichen demographischen, gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und den technologischen Wandel betreffenden Modellgeschichte ausgehen. Das SRES-Szenarienset umfasst vier Szenarienfamilien: A1, A2, B1 und B2.

Illustratives Szenario: Ein Szenario, das eine der sechs Szenariengruppen, die in der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger von Nakićenović und Swart (2000) aufgeführt sind, veranschaulicht. Sie schließen vier revidierte Musterszenarien für die Szenariengruppen A1B, A2, B1, B2 sowie zwei zusätzliche Szenarien für die Gruppen A1FI und A1T mit ein. Alle Szenariengruppen sind gleich stichhaltig.

Musterszenarien: Ein Szenario, das ursprünglich als Entwurf auf der SRES-Website veröffentlicht war, um eine gegebene Szenarienfamilie zu repräsentieren. Die Auswahl der Musterszenarien basierte auf Eigenschaften von spezifischen Modellen und darauf, welche der ursprünglichen Quantifizierungen die Modellgeschichte am besten widerspiegelte. Musterszenarien sind nicht wahrscheinlicher als andere Szenarien, aber das SRES-Autorenteam erachtet sie als geeignet, um eine bestimmte Modellgeschichte zu veranschaulichen. Sie sind in revidierter Form in Nakićenović et al. (2000) enthalten. Diese Szenarien wurden den strengsten Prüfungen unterzogen, sowohl vom Autorenteam wie auch durch den offenen SRES-Prozess. Auch für die anderen zwei Szenariengruppen wurden zur Veranschaulichung Szenarien ausgewählt.

Modellgeschichte: Eine erzählende Beschreibung eines Szenarios (oder einer Szenarienfamilie), die dessen Haupteigenschaften und die Zusammenhänge zwischen den Haupteinflussfaktoren und deren Entwicklungsdynamik hervorhebt.

Stabilisierung

Das Konstanthalten der atmosphärischen Konzentrationen eines oder mehrerer *Treibhausgase* (z.B. *Kohlendioxids*) oder einer *CO₂-äquivalenten* Sammlung an Treibhausgasen. Stabilisierungsanalysen oder *-szenarien* behandeln die Stabilisierung von Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre.

Stakeholder / Interessenvertreter

Eine Person oder Organisation, die ein legitimes Interesse an einem Projekt oder einer Einheit hat, oder die durch eine bestimmte Handlung oder *Politik* betroffen wäre.

Standards

Regelsatz, der die Leistung und Anwendung eines Produkts regelt oder definiert (z.B. Qualität, Abmessungen, Eigenschaften, Testmethoden und Anwendungsbestimmungen). *Produkt-, Technologie- oder Leistungsstandards* stellen Minimalanforderungen an die betroffenen Produkte oder Technologien. Standards erlegen Minderungen von *Treibhausgasemissionen* im Zusammenhang mit der Herstellung oder der Nutzung des Produkts und/oder Anwendung der Technologie auf.

Steuer

Eine *Kohlendioxidsteuer* (oder Kohlenstoffsteuer) ist eine Abgabe auf den Kohlenstoffgehalt *fossiler Brennstoffe*. Da praktisch sämtlicher Kohlenstoff in fossilen Brennstoffen im Endeffekt als *Kohlendioxid* abgegeben wird, ist die Kohlendioxidsteuer äquivalent zu einer Emissionssteuer auf jede Einheit *CO₂-äquivalenter Emissionen*. Eine *Energiesteuer* – eine Abgabe auf den Energiegehalt von Brennstoffen – verringert die Nachfrage nach Energie und mindert so die Kohlendioxidemissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe. Eine *Ökosteuer* ist der Absicht gewidmet, menschliches Verhalten zu beeinflussen (insbesondere wirtschaftliches Verhalten), um eine umweltgerechte Entwicklung einzuschlagen. Eine *internationale Kohlendioxid-/Emissions-/Energiesteuer* ist eine Steuer, die durch eine internationale Instanz auf bestimmte Quellen in teilnehmenden Ländern erhoben wird. Eine *harmonisierte Steuer* verpflichtet teilnehmende Länder, eine Steuer zu einem gemeinsamen Satz auf die gleichen Quellen zu erheben. Eine *Steuergrüch* ist die Verringerung einer Steuer, um den Erwerb eines Produkts oder die Investition darin anzuregen, z.B. THG-Emissionsminderungstechnologien. Eine *Kohlendioxidabgabe* entspricht der Kohlendioxidsteuer.

Strahlungsantrieb

Der Strahlungsantrieb ist die Veränderung in der vertikalen Nettoeinstrahlung (Einstrahlung minus Ausstrahlung; ausgedrückt in Watt pro Quadratmeter, Wm⁻²) an der *Tropopause* aufgrund einer Veränderung eines äußeren Antriebs der *Klimaänderung*, wie z.B. eine Veränderung in der Konzentration von *Kohlendioxid* oder in der *Sonneneinstrahlung*. Der Strahlungsantrieb wird berechnet, indem alle *troposphärischen* Eigenschaften auf ihren ungestörten Werten konstant gehalten werden und nachdem sich die *stratosphärischen* Temperaturen, sofern verändert, an das strahlungsdynamische Gleichgewicht angepasst haben. Der Strahlungsantrieb wird als *unverzögert* bezeichnet, wenn keine Veränderung in den stratosphärischen Temperaturen beobachtet wird. Für die Zielsetzung dieses Berichtes wurde der Strahlungsantrieb weiter definiert als die Veränderung im Vergleich zum Jahr 1750 und bezieht sich, sofern nicht anders vermerkt, auf den global und jährlich gemittelten Wert.

Stratosphäre

Ausgeprägt geschichtete Zone der *Atmosphäre* oberhalb der *Troposphäre* zwischen ca. 10 und 50 km über der Erdoberfläche (die Untergrenze variiert zwischen durchschnittlich 9 km Höhe in hohen Breitengraden und 16 km in den Tropen).

Strukturwandel

Änderungen z.B. des relativen Anteils des industriellen, landwirtschaftlichen oder Dienstleistungssektors am *Bruttoinlandsprodukt* einer Wirtschaft, oder allgemeiner Systemänderungen, bei denen einige Bestandteile entweder ausgetauscht oder möglicherweise durch andere ersetzt werden.

Sturmflut

Der vorübergehende Anstieg des Meeresspiegels an einer bestimmten Stelle

aufgrund extremer meteorologischer Bedingungen (tiefem Luftdruck und/oder starker Winde). Die Sturmflut ist definiert als der Betrag, um den der Meeresspiegel den zu dem Zeitpunkt und an dem Ort erwarteten Tidenhub überschreitet.

Szenario

Eine plausible und häufig vereinfachte Beschreibung davon, wie die Zukunft sich gestalten könnte, basierend auf einer kohärenten und in sich konsistenten Reihe von Annahmen über die treibenden Kräfte und wichtigsten Zusammenhänge. Szenarien können von *Projektionen* abgeleitet sein, beruhen aber oft auf zusätzlichen Informationen aus anderen Quellen, manchmal kombiniert mit einer *Modellgeschichte*. Siehe auch *Emissionsszenarien; Klimaszenarien; SRES-Szenarien*.

T.

Technologie

Die praktische Anwendung von Wissen, um bestimmte Aufgaben zu erledigen, die sowohl technische Erzeugnisse (Hardware, Ausrüstung) als auch (soziale) Information („Software“, Fachwissen über die Herstellung und Nutzung der Erzeugnisse) heranzieht.

Technologietransfer

Der Austausch von Wissen, Hardware und der damit verbundenen Software, Geld und Waren unter Interessensgruppen, der zur Verbreitung von *Anpassungs- oder Emissionsminderungstechnologie* führt. Der Begriff umfasst sowohl die Verbreitung von Technologien als auch technologische Zusammenarbeit zwischen und innerhalb von Ländern.

Technologiewandel

Meistens als technologische *Verbesserung* verstanden, d.h. mehr oder bessere Waren und Dienstleistungen können aus einer bestimmten Menge an Ressourcen geliefert werden (Produktionsfaktoren). Wirtschaftliche Modelle unterscheiden autonomen (exogenen), endogenen und induzierten Technologiewandel. *Autonomer (exogener) Technologiewandel* wird von außerhalb des Modells auferlegt, üblicherweise als Entwicklung über die Zeit, welche die Energienachfrage oder das weltweite Produktionswachstum beeinflusst. *Endogener Technologiewandel* ist das Ergebnis von wirtschaftlichen Aktivitäten *innerhalb* des Modells, d.h. die Wahl der Technologie ist im Modell mit einbezogen und beeinflusst die Energienachfrage und/oder das Wirtschaftswachstum. *Induzierter Technologiewandel* unterstellt endogenen Technologiewandel, fügt jedoch weitere Änderungen hinzu, die durch Politiken und Maßnahmen induziert wurden, wie z.B. Kohlendioxidsteuern, die F&E-Anstrengungen auslösen.

Thermische Ausdehnung

Im Zusammenhang mit dem *Meeresspiegelanstieg* bedeutet dies eine Volumenzunahme (und Dichteabnahme) aufgrund der Erwärmung des Wassers. Eine Erwärmung des Meeres führt zu einer Ausdehnung des Meervolumens und dadurch zu einem Anstieg des Meeresspiegels. Siehe *Meeresspiegeländerung*.

Thermische Infrarotstrahlung

Von der Erdoberfläche, der *Atmosphäre* und von Wolken abgegebene Strahlung. Sie ist auch als *terrestrische* oder *langwellige Strahlung* bekannt und muss von der Nahinfrarotstrahlung, die Teil des solaren Spektrums ist, unterschieden werden. Infrarotstrahlung hat im Allgemeinen ein charakteristisches *Spektrum* von Wellenlängen, die länger sind als die Wellenlängen der roten Farbe im sichtbaren Bereich des Spektrums. Das Spektrum der thermischen Infrarotstrahlung unterscheidet sich deutlich von der kurzwelligen oder *Sonnenstrahlung* aufgrund des Temperaturunterschiedes zwischen der Sonne und dem Erde/Atmosphären-System.

Top-down-Modelle

Modelle, die gesamtwirtschaftliche Theorie, ökonometrische und Optimierungstechniken anwenden, um wirtschaftliche Variablen zu aggregieren. Indem sie historische Daten über Konsum, Preise, Einkommen und Faktorkosten nutzen, bewerten Top down-Modelle die endgültige Nachfrage nach Gütern und Dienstleistungen sowie nach Versorgung durch die Hauptsektoren wie den Energie-, Verkehrs-, Landwirtschafts- und Industriesektor. Einige Top down-Modelle beziehen technologische Daten mit ein, wodurch sie die Diskrepanz zu *Bottom up-Modellen* verringern.

Trägheit

Im Zusammenhang mit *Emissionsminderung* bezieht sich Trägheit auf die Schwierigkeit von Änderungen, die sich aus den bestehenden Bedingungen in der Gesellschaft ergibt, z.B. physischem, von Menschenhand erzeugtem Kapital, natürlichem Kapital und gesellschaftlichem nicht-physischem Kapital, einschließlich Institutionen, Vorschriften und Normen. Bestehende Strukturen schränken Gesellschaften ein und erschweren den Wandel. Im Zusammenhang mit dem *Klimasystem* bezieht sich Trägheit auf die Verzögerung der *Klimaänderung* nach dem Auftreten eines *äußeren Antriebs*, und auf das Andauern einer Klimaänderung selbst nachdem der äußere Antrieb stabilisiert wurde.

Transformationsländer

Länder, deren Wirtschaftssysteme von Plan- auf Marktwirtschaft umgestellt werden.

Treibhauseffekt

Treibhausgase absorbieren *thermische Infrarotstrahlung*, die von der Erdoberfläche, von der *Atmosphäre* selbst durch die gleichen Gase und durch Wolken ausgestrahlt wird. Atmosphärische Strahlung wird auf alle Seiten emittiert, einschließlich nach unten zur Erdoberfläche hin. Auf diese Weise fangen die Treibhausgase Wärme im Oberflächen-*Troposphären*-System ein. Dies wird *Treibhauseffekt* genannt. Die thermische Infrarotstrahlung in der Troposphäre hängt stark von der Temperatur der Atmosphäre in der Höhe ab, in der sie ausgestrahlt wird. In der Troposphäre nimmt die Temperatur allgemein mit der Höhe ab. Tatsächlich stammt die in den Weltraum ausgestrahlte Infrarotstrahlung aus einer Höhe mit einer Temperatur von durchschnittlich -19 °C , im Gleichgewicht mit der einfallenden *Netto-Sonnenstrahlung*, während die Erdoberfläche auf einer viel höheren Temperatur von durchschnittlich 14 °C gehalten wird. Eine Zunahme der Treibhausgaskonzentration führt zu einer zunehmenden Undurchlässigkeit der *Atmosphäre* für Infrarot und somit zu einer Abstrahlung in den Weltraum aus größerer Höhe bei tieferer Temperatur. Dies verursacht einen *Strahlungsantrieb*, der zu einer Verstärkung des Treibhauseffektes führt, dem so genannten *erhöhten Treibhauseffekt*.

Treibhausgas (THG)

Treibhausgase sind diejenigen gasförmigen Bestandteile in der *Atmosphäre*, sowohl natürlichen wie *anthropogenen* Ursprungs, welche die Strahlung in spezifischen Wellenlängen innerhalb des Spektrums der *thermischen Infrarotstrahlung* absorbieren und wieder ausstrahlen, die von der Erdoberfläche, der Atmosphäre selbst und von Wolken abgestrahlt wird. Diese Eigenschaft verursacht den *Treibhauseffekt*. Wasserdampf (H_2O), *Kohlendioxid* (CO_2), *Lachgas* (N_2O), *Methan* (CH_4) und *Ozon* (O_3) sind die Haupttreibhausgase in der Erdatmosphäre. Außerdem gibt es eine Vielzahl ausschließlich menschengemachter Treibhausgase in der Atmosphäre, wie die *Halogenkohlenwasserstoffe* und andere chlor- und bromhaltige Substanzen, die im Montreal-Protokoll behandelt werden. Neben CO_2 , N_2O , und CH_4 befasst sich das *Kyoto-Protokoll* mit den Treibhausgasen *Schwefelhexafluorid* (SF_6), *Fluorkohlenwasserstoffe* (H-FKW) und *perfluorierte Kohlenwasserstoffe* (FKWs).

Tropopause

Grenze zwischen der *Troposphäre* und der *Stratosphäre*.

Troposphäre

Der unterste Teil der *Atmosphäre*, von der Erdoberfläche bis ca. 10 km Höhe in den mittleren Breitengraden (mit einer Spannbreite von durchschnittlich 9 km in den hohen Breitengraden und 16 km in den Tropen), wo Wolken und Wetterphänomene auftreten. In der Troposphäre nimmt die Temperatur mit der Höhe normalerweise ab.

U.**Umsetzung**

Umsetzung beschreibt die Handlungen, die unternommen werden, um Verpflichtungen im Rahmen eines Vertrags zu erfüllen, und umfassen rechtliche und effektive Phasen. *Rechtliche Umsetzung* bezieht sich auf die Gesetzgebung, Vorschriften und Gerichtsbeschlüsse, einschließlich anderer Handlungen wie z.B. Bemühungen von Regierungen um Fortschritte bei der Umsetzung internationaler Abkommen in nationales Recht und Politik. *Effektive Umsetzung* braucht Maßnahmen und Programme, die Änderungen im Verhalten und in den Entscheidungen der Zielgruppen hervorrufen. Zielgruppen ergreifen dann effektive Maßnahmen zum Klimaschutz und zur Anpassung an die Klimaänderung. Siehe auch *Erfüllung*.

Unsicherheit

Ein Ausdruck für das Ausmaß, in dem ein Wert ungewiss ist (z.B. der zukünftige Zustand des *Klimasystems*). Unsicherheit entsteht durch einen Mangel an Information oder durch Meinungsverschiedenheiten darüber, was bekannt ist oder überhaupt bekannt sein kann. Unsicherheit kann viele Quellen haben, von bezifferbaren Fehlern in Daten bis hin zu mehrdeutig formulierten Konzepten und Terminologien oder unsicheren *Projektionen* über menschliches Verhalten. Unsicherheit kann deshalb entweder quantitativ angegeben werden, z.B. durch eine Auswahl von berechneten Werten aus verschiedenen Modellen, oder durch qualitative Aussagen, die das Urteil eines Expertenteams wiedergeben (siehe Moss und Schneider, 2000; Manning et al., 2004). Siehe auch *Wahrscheinlichkeit*; *Vertrauen*.

V.**Vektor**

Ein Organismus, z.B. ein Insekt, der einen Krankheitserreger von einem Wirt zum anderen überträgt.

Versalzung

Die Akkumulation von Salzen in Böden.

Versauerung der Ozeane

Ein Rückgang des *pH-Werts* von Meerwasser aufgrund der Aufnahme von *anthropogenem Kohlendioxid*.

Verstädterung/Urbanisation

Die Umwandlung von Land aus dem natürlichen Zustand oder einem bewirtschafteten natürlichen Zustand (wie in der Landwirtschaft) in Städte. Dieser Prozess wird durch eine Netto-Wanderung von ländlichen in urbane Gebiete angetrieben, durch die ein zunehmender Anteil der Bevölkerung eines jeden Landes oder jeder Region in Siedlungen leben wird, die als *urbane Zentren* bezeichnet werden.

Vertrauen

In diesem Bericht wird zur Darstellung des Ausmaßes an Vertrauen in die Richtigkeit eines Ergebnisses eine Standardterminologie verwendet, die wie folgt definiert wurde:

Terminologie	Grad des Vertrauens in die Richtigkeit
sehr hohes Vertrauen	in mindestens 9 von 10 Fällen korrekt
hohes Vertrauen	in etwa 8 von 10 Fällen korrekt
mittleres Vertrauen	in etwa 5 von 10 Fällen korrekt
geringes Vertrauen	in etwa 2 von 10 Fällen korrekt
sehr geringes Vertrauen	in weniger als 1 von 10 Fällen korrekt

Siehe auch *Wahrscheinlichkeit*; *Unsicherheit*.

Verwundbarkeit/Vulnerabilität

Verwundbarkeit ist das Maß, zu dem ein System gegenüber nachteiligen Auswirkungen der *Klimaänderung*, einschließlich *Klimavariabilität* und Extremwerte, anfällig ist und nicht damit umgehen kann. Verwundbarkeit ist eine Funktion der Art, des Ausmaßes und der Geschwindigkeit der Klimaänderung und –schwankung, der ein System ausgesetzt ist, seiner *Sensitivität* und seiner *Anpassungskapazität*.

vorindustriell

Siehe *Industrielle Revolution*.

(Gleichzeitig auftretende) Vorteile

Die Vorteile von aus verschiedenen Gründen gleichzeitig umgesetzten Maßnahmen. Dabei wird deutlich, dass den meisten für *Emissionsminderung* entwickelten Politiken andere, oft mindestens genauso wichtige Prinzipien zugrundeliegen (z.B. im Hinblick auf Entwicklung, Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit).

W.**Wahrscheinlichkeit**

Die Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses, einer Auswirkung oder eines Ergebnisses, wird, sofern sie wahrscheinlichkeitstheoretisch abgeschätzt werden kann, in IPCC-Berichten mit Standardbezeichnungen ausgedrückt, die wie folgt

definiert sind:

Terminologie	Wahrscheinlichkeit eines Ereignisses / einer Auswirkung
praktisch sicher	>99% Eintrittswahrscheinlichkeit
sehr wahrscheinlich	>90% Wahrscheinlichkeit
wahrscheinlich	>66% Wahrscheinlichkeit
wahrscheinlicher als nicht	>50% Wahrscheinlichkeit
etwa so wahrscheinlich wie nicht	33% bis 66% Wahrscheinlichkeit
unwahrscheinlich	<33% Wahrscheinlichkeit
sehr unwahrscheinlich	<10% Wahrscheinlichkeit
außergewöhnlich unwahrscheinlich	<1% Wahrscheinlichkeit

Siehe auch *Vertrauen; Unsicherheit*.

Wald

Ein durch Bäume beherrschter Vegetationstyp. Es werden in der ganzen Welt viele Definitionen des Begriffes Wald verwendet, die große Unterschiede in biogeophysikalischen Bedingungen, sozialer Struktur und Wirtschaft widerspiegeln. Unter dem *Kyoto-Protokoll* gelten besondere Kriterien. Eine Diskussion des Begriffes *Wald* und verwandter Begriffe wie *(Wieder-)Aufforstung und Entwaldung* ist im IPCC-Bericht „Land Use, Land-Use Change and Forestry“ (IPCC, 2000) gegeben. Siehe auch den Bericht „Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types“ (IPCC, 2003).

Wasserkreislauf / hydrologischer Kreislauf

Der Kreislauf, in dem Wasser aus Ozeanen und von der Landoberfläche verdunstet, in atmosphärischer Zirkulation als Wasserdampf über die Erde transportiert wird, zu Wolken kondensiert, wieder als Regen oder Schnee niederschlägt, durch Bäume und Vegetation aufgenommen wird, auf der Oberfläche abfließt, in Böden versickert, Grundwasser erneuert, in Flüsse abfließt und schließlich in die Ozeane fließt, von wo aus es am Ende wieder verdunstet (AMS, 2000). Die verschiedenen, am Wasserkreislauf beteiligten Systeme werden üblicherweise als *hydrologische Systeme* bezeichnet.

Wasserstress

In einem Land herrscht Wasserstress, wenn der verfügbare Trinkwasservorrat im Verhältnis zur Wasserentnahme ein wichtiges Hemmnis für die Entwicklung darstellt. Bei der Bewertung auf globaler Ebene werden Becken mit Wasserstress oft so definiert, dass sie eine Wasserverfügbarkeit von weniger als 1000 m³/Jahr und Kopf haben (basierend auf dem langfristigen Mittel des Abflusses). Entnahmen von mehr als 20% der erneuerbaren Wasservorräte wurden ebenfalls als Indikatoren für Wasserstress herangezogen. Eine Feldfrucht gilt als wasserstressig, wenn das verfügbare Bodenwasser, und damit die tatsächliche *Evapotranspiration*, geringer ist, als die potenzielle Evaporation verlangt.

Wasserverbrauch

Menge an entnommenem Wasser, das während seiner Nutzung (durch Verdunstung und Güterherstellung) unwiederbringlich verloren geht. Der Wasserverbrauch ist gleich der Wasserentnahme minus Rückfluss.

Wiederaufforstung

Pflanzung von *Wäldern* auf Land, das früher bewaldet war aber in eine andere Nutzung umgewandelt wurde. Eine Diskussion der Begriffe *Wald* und verwandter Begriffe wie *(Wieder-)Aufforstung und Entwaldung* ist im IPCC-Bericht zur Landnutzung, Landnutzungsänderung und Waldwirtschaft (Land Use, Land-Use Change and Forestry; IPCC, 2000) gegeben. Siehe auch den IPCC-Bericht „Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types“ (IPCC, 2003).

Wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial

Siehe *Emissionsminderungspotenzial*.

Wolkenrückkopplung

Eine *Klimarückkopplung*, die Änderungen jeglicher Eigenschaften von Wolken als Reaktion auf andere atmosphärische Änderungen zur Folge hat. Das Verständnis von Wolkenrückkopplungen und die Bestimmung von Ausmaß und

Vorzeichen erfordert das Verständnis, wie eine Änderung des *Klimas* das Spektrum der Wolkenarten, Wolkenhöhe und –Bedeckungsgrad und die Strahlungseigenschaften der Wolken beeinflussen könnte, sowie eine Einschätzung der Auswirkungen dieser Änderungen auf den Strahlungshaushalt der Erde. Zurzeit verbleiben Wolkenrückkopplungen als die größte *Unsicherheitsquelle* bei Schätzungen der *Klimasensitivität*. Siehe auch *Strahlungsantrieb*.

Z.

Zooplankton

Siehe *Plankton*

Zugbahnen von Stürmen

Ursprünglich bezog sich der Begriff auf die Zugbahnen einzelner zyklonischer Wettersysteme, aber heute wird er oft allgemein für die *Region* verwendet, wo die Hauptzugbahnen von außertropischen Störungen als Abfolge von Hoch- (antizyklonal) und Tiefdruckgebieten (zyklonal) auftreten.

Zuordnung

Siehe *Erkennung und Zuordnung*.

Zwischeneiszeiten

Die Warmperioden zwischen den *Eiszeit*-Vergletscherungen. Die letzte Zwischeneiszeit dauerte ungefähr von 129.000 bis 116.000 Jahren vor heute und wird als *Letzte Zwischeneiszeit* bezeichnet (AMS, 2000).

Literatur

- Glossare der Beiträge der Arbeitsgruppen I, II und III zum Vierten IPCC-Sachstandsbericht.
- AMS, 2000: *AMS Glossary of Meteorology*, 2nd Ed. American Meteorological Society, Boston, MA, <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/browse>.
- Cleveland C.J. und C. Morris, 2006: *Dictionary of Energy*, Elsevier, Amsterdam, 502 S.
- Heim, R.R., 2002: *A Review of Twentieth-Century Drought Indices Used in the United States*. Bull. Am. Meteorol. Soc., 83, 1149–1165
- IPCC, 1996: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J.T., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 572 S.
- IPCC, 2000: *Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R.T., et al. (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 377 S.
- IPCC, 2003: *Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types* [Penman, J., et al. (Hrsg.)]. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, 32 S.
- IUCN, 1980: *The World Conservation Strategy: living resource conservation for sustainable development*, Gland, Schweiz, IUCN/UNEP/ WWF.
- Manning, M., et al., 2004: *IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk of Options*. Tagungsbericht. Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf.
- Moss, R., und S. Schneider, 2000: *Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for More Consistent Assessment and Reporting*. In: IPCC Supporting Material: Guidance Papers on Cross Cutting Issues in the Third Assessment Report of the IPCC. [Pachauri, R., T. Taniguchi, und K. Tanaka (Hrsg.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf, S. 33–51.
- Nakićenović, N., und R. Swart (Hrsg.), 2000: *Special Report on Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 599 pp.
- Van Everdingen, R. (Hrsg.): 1998. *Multi-Language Glossary of Permafrost and Related Ground-Ice Terms*, überarbeitet Mai 2005. National Snow and Ice Data Center/World Data Center for Glaciology, Boulder, CO, <http://nsidc.org/fgdc/glossary/>.

Anhang III

Akronyme, chemische Symbole; wissenschaftliche Einheiten; Ländergruppierungen

III.1 Akronyme und chemische Symbole

A1	Szenarienfamilie im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>	EMIC	Erdsystemmodell mittlerer Komplexität
A1T	Eines der sechs SRES-Referenzszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>	ENSO	El Niño-Southern Oscillation; <i>siehe Glossar</i>
A1B	Eines der sechs SRES-Referenzszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>	F-Gase	Fluorierte Gase, die durch das Kyoto-Protokoll geregelt werden; <i>siehe Glossar unter F-Gase</i>
A1FI	Eines der sechs SRES-Referenzszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>	FE&D	Forschung, Entwicklung und Demonstration
A2	Szenarienfamilie im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien; bezeichnet auch eines der sechs SRES-Referenzszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>	FKW	perfluorierter Kohlenwasserstoff; <i>siehe Glossar</i>
AOGCM	Allgemeines Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell; <i>siehe Glossar unter Klimamodell</i>	GDWV	Grad des wissenschaftlichen Verständnisses; <i>siehe Glossar</i>
B1	Szenarienfamilie im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien; bezeichnet auch eines der sechs SRES-Referenzszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>	H-FCKW	teilhalogenierter Fluorchlorkohlenwasserstoff; <i>siehe Glossar</i>
B2	Szenarienfamilie im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien; bezeichnet auch eines der sechs SRES-Referenzszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>	H-FKW	teilhalogenierter Fluorkohlenwasserstoff; <i>siehe Glossar</i>
BIP	Bruttoinlandsprodukt; <i>siehe Glossar</i>	KKP	Kaufkraftparität; <i>siehe Glossar</i>
CH ₄	Methan; <i>siehe Glossar</i>	MOC	meridionale Umwälzungsströmung; <i>siehe Glossar</i>
CO ₂	Kohlendioxid; <i>siehe Glossar</i>	N ₂ O	Distickstoffoxid/Lachgas; <i>siehe Glossar</i>
		OECD	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung; <i>siehe www.oecd.org</i>
		pH	<i>siehe Glossar unter pH</i>
		SF ₆	Schwefelhexafluorid; <i>siehe Glossar</i>
		SRES	IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien; <i>siehe Glossar unter SRES-Szenarien</i>
		UNFCCC	UN-Klimarahmenkonvention; <i>siehe www.unfccc.int</i>

III.2 Wissenschaftliche Einheiten

SI (Système Internationale) -Einheiten					
Phyikalische Größe		Einheit	Symbol		
Länge		Meter	m		
Masse		Kilogramm	kg		
Zeit		Sekunde	s		
thermodynamische Temperatur		Kelvin	K		
Dezimale Bruchteile und Vielfache					
Bruchteil	Vorsatz	Symbol	Vielfaches	Vorsatz	Symbol
10 ⁻¹	Dezi	<i>d</i>	10	Deka	<i>da</i>
10 ⁻²	Zenti	<i>c</i>	10 ²	Hekto	<i>h</i>
10 ⁻³	Milli	<i>m</i>	10 ³	Kilo	<i>k</i>
10 ⁻⁶	Mikro	<i>μ</i>	10 ⁶	Mega	<i>M</i>
10 ⁻⁹	Nano	<i>n</i>	10 ⁹	Giga	<i>G</i>
10 ⁻¹²	Piko	<i>p</i>	10 ¹²	Tera	<i>T</i>
10 ⁻¹⁵	Femto	<i>f</i>	10 ¹⁵	Peta	<i>P</i>
Einheiten, die keine SI-Einheiten sind, Mengen und entsprechende Abkürzungen					
°C	Grad Celsius (0 °C = etwa 273 K); Temperaturunterschiede werden auch in °C (=K) angegeben, statt in der eigentlich korrekten Form als „Celsiusgrade“				
ppm	Mischungsverhältnis (als Maß der Konzentration von THG): „parts per million“ (10 ⁶) nach Volumen				
ppb	Mischungsverhältnis (als Maß der Konzentration von THG): „parts per billion“ (10 ⁹) nach Volumen				
ppt	Mischungsverhältnis (als Maß der Konzentration von THG): „parts per trillion“ (10 ¹²) nach Volumen				
Watt	Leistung oder Strahlungsfluss; 1 Watt = 1 Joule / Sekunde = 1 kg m ² /s ³				
GtC	metrische Gigatonnen Kohlenstoff				
CO ₂ -eq	metrische Gigatonnen Kohlendioxid (1 GtC = 3.7 GtCO ₂)				
GtCO ₂	Kohlendioxidäquivalent, verwendet als Maß für die Emission (üblicherweise in Gt CO ₂ -Äq.) oder Konzentration (üblicherweise in ppm CO ₂ -Äq.) von THG; Genaueres siehe Kasten „Kohlendioxidäquivalente Emissionen und Konzentrationen“ in Thema 2.				

III.3 Ländergruppierungen

Die vollständigen Listen der Länder, die zu UNFCCC Annex I, Nicht-Annex I und OECD gehören, sind im Internet unter <http://www.unfccc.int> und <http://www.oecd.org> zu finden. Wo in diesem Bericht von Belang, wurden Länder analog zur Klassifizierung der UNFCCC und ihres Kyoto-Protokolls zu Regionen zusammengefasst. Länder, die seit 1997 der Europäischen Union beigetreten sind, sind daher noch unter EIT Annex I aufgeführt. Folgende Länder wurden in diesem Bericht den jeweiligen Ländergruppen zugeordnet*:

- **EIT Annex I:** Belarus, Bulgarien, Estland, Kroatien, Lettland, Litauen, Polen, Rumänien, Russische Föderation, Slowakei, Slowenien, Tschechische Republik, Ukraine, Ungarn.
- **Europa Annex II & M&T:** Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Liechtenstein, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, Vereinigtes Königreich; Monaco und Türkei.
- **JANZ:** Australien, Japan, Neuseeland.
- **Mittlerer Osten:** Bahrain, Islamische Republik Iran, Israel, Jemen, Jordanien, Katar, Kuwait, Libanon, Oman, Saudi-Arabien, Syrien, Vereinigte Arabische Emirate.
- **Lateinamerika & die Karibik:** Antigua & Barbuda, Argentinien, Bahamas, Barbados, Belize, Bolivien, Brasilien, Chile, Costa Rica, Dominica, Dominikanische Republik, Ecuador, El Salvador, Grenada, Guatemala, Guyana, Haiti, Honduras, Jamaica, Kolumbien, Kuba, Mexiko, Nicaragua, Panama, Paraguay, Peru, Saint Lucia, St. Kitts-Nevis-Anquilla, St. Vincent und die Grenadinen, Surinam, Trinidad und Tobago, Uruguay, Venezuela.
- **Nicht-Annex I Ostasien:** China, Kambodscha, Demokratische Volksrepublik Korea, Republik Korea, Laos, Mongolei, Vietnam.
- **Südasien:** Afghanistan, Bangladesch, Bhutan, Cookinseln, Fidschi, Indien, Indonesien, Kiribati, Komoren, Malaysia, Malediven, Marshallinseln, Föderierte Staaten von Mikronesien, Myanmar, Nauru, Nepal, Niue, Osttimor, Pakistan, Palau, Papua-Neuguinea, Philippinen, Salomonen, Samoa, Singapur, Sri Lanka, Thailand, Tonga, Tuvalu, Vanuatu
- **Nordamerika:** Kanada, Vereinigte Staaten von Amerika.
- **Andere Nicht-Annex I:** Albanien, Armenien, Aserbaidschan, Bosnien und Herzegowina, Georgien, Kasachstan, Kirgisistan, Malta, Republik Mazedonien, Republik Moldau, San Marino, Serbien, Tadschikistan, Turkmenistan, Usbekistan, Zypern.
- **Afrika:** Ägypten, Äquatorialguinea, Äthiopien, Algerien, Angola, Benin, Botswana, Burkina Faso, Burundi, Côte d'Ivoire, Demokratische Republik Kongo, Dschibuti, Eritrea, Gabun, Gambia, Ghana, Guinea, Guinea-Bissau, Kamerun, Kap Verde, Kenia, Kongo, Lesotho, Liberia, Libyen, Madagaskar, Malawi, Mali, Marokko, Mauretanien, Mauritius, Mosambik, Namibia, Niger, Nigeria, Ruanda, São Tomé und Príncipe, Sambia, Senegal, Seychellen, Sierra Leone, Simbabwe, Südafrika, Sudan, Swasiland, Vereinigte Republik Tansania, Togo, Tschad, Tunesien, Uganda, Zentralafrikanische Republik.

*Ein vollständiger Datensatz für alle Länder in allen Regionen war für 2004 nicht verfügbar.

Anhang IV

Autorenliste

Falls der/die Wohnort/Wohnorte nicht mit der Staatsangehörigkeit übereinstimmen, ist die Staatsangehörigkeit zuletzt aufgeführt.

IV.1 Mitglieder des Kernautorenteam

BERNSTEIN, Lenny
L.S. Bernstein & Associates, L.L.C.
USA

BOSCH, Peter
IPCC WGIII TSU, Ecofys Netherlands, and Netherlands
Environmental Assessment Agency
NIEDERLANDE

CANZIANI, Osvaldo
IPCC WGII Co-Chair, Buenos Aires
ARGENTINIEN

CHEN, Zhenlin
Dept. of International Cooperation, China Meteorological
Administration
CHINA

CHRIST, Renate
Sekretariat, Intergovernmental Panel on Climate Change
(IPCC)
SCHWEIZ/ÖSTERREICH

DAVIDSON, Ogunlade
IPCC WGIII Co-Chair, Faculty of Engineering, University of
Sierra Leone
SIERRA LEONE

HARE, William
Potsdam Institut für Klimafolgenforschung
DEUTSCHLAND/AUSTRALIEN

HUQ, Saleemul
International Institute for Environment and Development
(IIED)
VEREINIGTES KÖNIGREICH/BANGLADESCH

KAROLY, David
School of Meteorology, University of Oklahoma, USA, and
University of Melbourne, Australia
USA/AUSTRALIEN

KATTISOV, Vladimir
Voeikov Main Geophysical Observatory
RUSSLAND

KUNDZEWICZ, Zbyszek
Research Centre for Agricultural & Forest Environment, Polish
Academy of Sciences
POLEN

LIU, Jian
Sekretariat, Intergovernmental Panel on Climate Change
(IPCC)
SCHWEIZ/CHINA

LOHMANN, Ulrike
ETH Zürich, Institute for Atmospheric and Climate Science
SCHWEIZ

MANNING, Martin
IPCC WGI TSU, University Corporation for Atmospheric
Research
USA/NEUSEELAND

MATSUNO, Taroh
Frontier Research Center for Global Change, Japan Agency for
Marine-Earth Science and Technology
JAPAN

MENNE, Bettina
World Health Organization (WHO), Regional Office for Europe
ITALIEN/DEUTSCHLAND

METZ, Bert
IPCC WGIII Co-chair, Global Environmental Assessment
Division, Netherlands Environmental Assessment Agency
NIEDERLANDE

MIRZA, Monirul
Adaptation & Impacts Research Division (AIRD), Environment
Canada, and Department of Physical and Environmental
Sciences, University of Toronto
KANADA/BANGLADESCH

NICHOLLS, Neville
School of Geography & Environmental Science, Monash
University
AUSTRALIEN

- NURSE, Leonard
Barbados Centre for Resource Management and Environmental Studies, University of West Indies
BARBADOS
- PACHAURI, Rajendra
Chairman, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) and Director-General, The Energy and Resources Institute (TERI)
INDIEN
- PALUTIKOF, Jean
IPCC WGII TSU, Met Office Hadley Centre
VEREINIGTES KÖNIGREICH
- PARRY, Martin
IPCC WGII Co-chair, Met Office Hadley Centre, and Centre for Environmental Policy, Imperial College, University of London
VEREINIGTES KÖNIGREICH
- QIN, Dahe
IPCC WGI Co-chair, China Meteorological Administration
CHINA
- RAVINDRANATH, Nijavalli
Centre for Ecological Sciences, Indian Institute of Science
INDIEN
- REISINGER, Andy
IPCC SYR TSU, Met Office Hadley Centre, UK, and The Energy and Resources Institute (TERI), India
VEREINIGTES KÖNIGREICH/INDIEN/DEUTSCHLAND
- REN, Jiawen
Cold and Arid Regions Environment and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences
CHINA
- RIAHI, Keywan
International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), und Technische Universität Graz
ÖSTERREICH
- ROSENZWEIG, Cynthia
Goddard Institute for Space Studies, National Aeronautics and Space Administration (NASA)
USA
- RUSTICUCCI, Matilde
Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos, Universidad de Buenos Aires
ARGENTINIEN
- SCHNEIDER, Stephen
Department of Biological Sciences, Stanford University
USA
- SOKONA, Youba
Sahara and Sahel Observatory (OSS)
TUNESIEN/MALI
- SOLOMON, Susan
IPCC WGI Co-chair, NOAA Earth System Research Laboratory
USA
- STOTT, Peter
Met Office Hadley Centre
VEREINIGTES KÖNIGREICH
- STOUFFER, Ronald
NOAA Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
USA
- SUGIYAMA, Taishi
Climate Policy Project, Central Research Institute of Electric Power Industry (CRIEPI)
JAPAN
- SWART, Rob
Netherlands Environmental Assessment Agency
NIEDERLANDE
- TIRPAK, Dennis
International Institute for Sustainable Development (IISD)
USA
- VOGEL, Coleen
Department of Geography, University of Witwatersrand
SÜDAFRIKA
- YOHE, Gary
Department of Economics, Wesleyan University
USA

IV.2 Mitglied des erweiterten Autorentams

- BARKER, Terry
Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research, University of Cambridge
VEREINIGTES KÖNIGREICH

Anhang V

Liste der Gutachter und Begutachtungsedatoren

V.1 Gutachter

In Übereinstimmung mit den IPCC-Regeln und –Verfahren wurde der SYR-Entwurf an über 2400 einzelne Experten sowie an die 193 Mitgliedsregierungen des IPCC zur formellen Begutachtung übersandt. Dieser Anhang nennt die einzelnen Experten (samt Arbeitsstelle zum Zeitpunkt der Einreichung ihrer Kommentare) und die internationalen Organisationen, die Begutachtungskommentare zum SYR-Entwurf eingereicht haben und deren Kommentare vom Kernautorenteam in seiner Überarbeitung des Berichtsentwurfs berücksichtigt wurden.

Anmerkung: Internationale Organisationen sind am Ende aufgeführt.

Argentinien

DEVIA, Leila
National Industrial Technology

TRAVASSO, María Isabel
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

WEHBE, Monica Beatriz
National University Rio Cuarto

Australien

BARNETT, Jon
University of Melbourne

BINDOFF, Nathaniel
CSIRO MAR and University of Tasmania

BRUNSKILL, Gregg
Australian Institute of Marine Science

CHAMBERS, Lynda
Bureau of Meteorology Research Centre

CHURCH, John
CSIRO

JONES, Roger
CSIRO

KAY, Robert
Coastal Zone Management Pty Ltd

LOUGH, Janice
Australian Institute of Marine Science

MANTON, Michael
Monash University

SHEARMAN, David
University of Adelaide

WALKER, George
Aon Re Asia Pacific

WATKINS, Andrew
National Climate Centre, Australian Bureau of Meteorology

WHITE, David
ASIT Consulting

YOUNUS, Aboul Fazal Bangladesh
Unnaya Parishad and The University of Adelaide

Belgien

KJAER, Christian
European Wind Energy Association

SAWYER, Steve
Global Wind Energy Council

VERHASSELT, Yola
Vrije Universiteit Brussel

Benin

YABI, Ibouaïma Fidele
Universite d Abomey-Calavi

Bolivien

HALLOY, Stephan
Conservation International

Brasilien

AMBRIZZI, Tercio
University of São Paulo

BUSTAMANTE, Mercedes
University of Brasilia

GOMES, Marcos
Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro

MOREIRA, José
Institute of Eletrotechnica and Energy
SANT'ANA, Silvio
Fundação Grupo Esquel Brasil

Bulgarien

YOTOVA, Antoaneta
National Institute of Meteorology and Hydrology

China

FANG, Xiuqi
Beijing Normal University

GUO, Xueliang
Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences

LAM, Chiu-Ying
Hong Kong Observatory

REN, Guoyu
National Climate Center

SU, Jilan
Second Institute of Oceanography, State Oceanic Administration

WANG, Bangzhong
China Meteorological Administration

YINGJIE, Liu
Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture

ZHAO, Zong-Ci
China Meteorological Administration

ZHOU, Guangsheng
Institute of Botany, The Chinese Academy of Sciences

Dänemark

ERHARD, Markus
European Environment Agency

MELTOFTE, Hans
National Environmental Research
Institute, University of Aarhus

PORTER, John R.
University of Copenhagen

Deutschland

BRUCKNER, Thomas
Technische Universität Berlin

GERTEN, Dieter
Potsdam Institut für
Klimafolgenforschung

GRASSL, Hartmut
Max-Planck-Institut für Meteorologie

KUCKSHINRICHS, Wilhelm
Forschungszentrum Jülich

LAWRENCE, Mark
Max-Planck-Institut für Chemie

MATZARAKIS, Andreas
Meteorologisches Institut, Universität
Freiburg

MUELLER, Rolf
Forschungszentrum Jülich

SCHWARZER, Klaus
Institut für Geowissenschaften,
Universität Kiel

TREBER, Manfred
Germanwatch

WALTHER, Gian-Reto
Universität Bayreuth

WELP, Martin
Fachhochschule Eberswalde

WILLEBRAND, Jürgen
Leibniz Institut für Meereswissenschaften

WINDHORST, Wilhelm
Ökologiezentrum, Universität Kiel

WURZLER, Sabine
Landesamt für Natur, Umwelt und
Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen

El Salvador

MUNGUÍA DE AGUILAR, Martha
Yvette
Ministry of Environment and Natural
Resources

Frankreich

CAMPBELL, Nick
ARKEMA SA

CANEILL, Jean-Yves
Electricité de France

DE T'SERCLAES, Philippine
International Energy Agency

DOUGUÉDROIT, Annick
Université de Provence

HEQUETTE, Arnaud
Université du Littoral Côte d'Opale

LENOTRE, Nicole
Bureau de recherches géologiques et
minières

MUIRHEID, Ben
International Fertilizer Trade Association

PHILIBERT, Cédric
International Energy Agency

PLANTON, Serge
Météo-France

RILLING, Jacques
Center Scientifique et Technique du
Bâtiment

RUFFING, Kenneth

Indien

ROY, Joyashree
Jadavpur University

SHARMA, Upasna
Indian Institute of Technology, Bombay

SRIKANTHAN, Ramachandran
Physical Research Laboratory

Irland

FINNEGAN, Pat
Greenhouse Ireland Action Network

TOL, Richard
Economic and Social Research Institute

Italien

CASERINI, Stefano
Politecnico di Milano

MARIOTTI, Annarita
National Agency for New Technologies,
Energy and the Environment

RIXEN, Michel
NATO Undersea Research Center

Jamaika

CLAYTON, Anthony
University of the West Indies

Japan

AKIMOTO, Keigo
Research Institute of Innovative
Technology for the Earth

ALEXANDROV, Georgii
National Institute for Environmental
Studies

ANDO, Mitsuru
Toyama University of International
Studies

IKEDA, Motoyoshi
Hokkaido University

INOUE, Takashi
Tokyo University of Science

KOBAYASHI, Noriyuki
Nihon University (Law School)

KOBAYASHI, Shigeki
Toyota Research and Development
Laboratories, Inc.

KOIDE, Hitoshi
Waseda University

KOMIYAMA, Ryoichi
The Institute of Energy Economics,
Japan

MARUYAMA, Koki
Central Research Institute of Electric
Power Industry

MASUI, Toshihiko
National Institute for Environmental
Studies

MATSUI, Tetsuya
Hokkaido Research Centre, Forestry and
Forest Products Research Institute

MIKIKO, Kainuma
National Institute for Environmental
Studies

MORI, Shunsuke
Tokyo University of Science

MORISUGI, Hisayoshi
Japan Research Institute

NAKAKUKI, Shinichi
Tokyo Electric Power Company

NAKAMARU, Susumu
Sun Management Institute

ONO, Tsuneo
Hokkaido National Fisheries Research
Institute, Fisheries Research Agency

YAMAGUCHI, Mitsutsune
The University of Tokyo

YOSHINO, Masatoshi

Kanada

AMIRO, Brian
University of Manitoba

BARBER, David
University of Manitoba

BELTRAMI, Hugo
St. Francis Xavier University

BERRY, Peter
Health Canada

BRADY, Michael
Natural Resources Canada – Canadian
Forest Service

CHURCH, Ian
Yukon Government

CLARKE, R. Allyn
Fisheries and Oceans, Bedford Institute
of Oceanography

FISHER, David A
National Resources Canada

GRANDIA, Kevin
DeSmogBlog Society of British
Columbia

HUPE, Jane
ICAO

JACKSON, David
McMaster Institute for Energy Studies

JANZEN, Henry
Agriculture and Agri-Food Canada

JEFFERIES, Robert
University of Toronto

LEMMEN, Donald
Natural Resources Canada

MICHAUD, Yves
Geological Survey of Canada

NYBOER, John
Simon Fraser University

SMITH, Sharon
Geological Survey of Canada

Kenia

DEMKINE, Volodymyr
UNEP

Kolumbien

POVEDA, Germán
Universidad Nacional de Colombia

Kuba

DIAZ MOREJON, Cristobal Felix
Ministry of Science, Technology and the
Environment

SUAREZ RODRIGUEZ, Avelino G.
Institute of Ecology and Systematic,
Agencia de Medio Ambiente

Mexiko

OSORNIO VARGAS, Alvaro
Universidad Nacional Autónoma de
México

Moldau

COROBOV, Roman
Modern Institute for Humanities

Neuseeland

CRAMPTON, James
GNS Science

GRAY, Vincent

SCHALLENBERG, Marc
University of Otago

Niederlande

BREGMAN, Bram
Netherlands Organisation of Applied
Research

BRINKMAN, Robert

MARCHAND, Marcel
Delft Hydraulics

MISDORP, Robbert
International CZM-Centre, Ministry
of Transport, Public Works and Water
Management

SCHYNS, Vianney
Climate Change and Energy Efficiency,
Utility Support Group

STORM VAN LEEUWEN, Jan Willem
Ceedata Consultancy

VAN NOIJE, Twan
Royal Netherlands Meteorological
Institute

WORRELL, Ernst
Ecofys

Nigeria

ANTIA, Effiom
University of Calabar

Norwegen

ERIKSEN, Siri
University of Oslo

HOFGAARD, Annika
Norwegian Institute for Nature Research

KRISTJANSSON, Jon Egill
University of Oslo

Österreich

CLEMENS, Torsten
OMV Exploration and Production

KASER, Georg
Institut für Geographie, Universität
Innsbruck

KIRCHENGAST, Gottfried
Wegener Center for Climate and Global
Change, University of Graz

MA, Tiejun
International Institute for Applied
Systems Analysis

PAULI, Harald
University of Vienna and Austrian
Academy of Sciences

SCHRÖTER, Dagmar
Umweltbundesamt GmbH

Peru

GAMBOA FUENTES, Nadia Rosa
Pontificia Universidad Católica Del Peru

Philippinen

OGAWA, Hisashi
World Health Organization Regional
Office for the Western Pacific

TIBIG, Lourdes
Philippine Atmospheric, Geophysical
and Astronomical Services
Administration

Portugal

DAS NEVES, Luciana
University of Porto

PAIVA, Maria Rosa
New University of Lisbon

RAMOS-PEREIRA, Ana
University of Lisbon

Republik Korea

KIM, Suam
Pukyong National University

Rumänien

BORONEANT, Constanta
National Meteorological Administration

Russische Föderation

GYTARSKY, Michael
Institute of Global Climate and Ecology

Saudi-Arabien

ALFEHAID, Mohammed
Ministry of Petroleum

BABIKER, Mustafa
Saudi Aramco

Schweden

LECK, Caroline
Department of Meteorology

MOLAU, Ulf
Göteborg University

MÖLLERSTEN, Kenneth
Swedish Energy Agency

RUMMUKAINEN, Markku
Swedish Meteorological and
Hydrological Institute

WEYHENMEYER, Gesa
Swedish University of Agricultural
Sciences

Schweiz

APPENZELLER, Christof
Bundesamt für Meteorologie und
Klimatologie, MeteoSwiss

CHERUBINI, Paolo
Eidgenössische Forschungsanstalt für
Wald, Schnee und Landschaft WSL

FISCHLIN, Andreas
Terrestrische Systemökologie, ETH
Zürich

JUERG, Fuhrer
Agroscope Forschungsstation ART

MAZZOTTI, Marco
ETH Zürich

ROSSI, Michel J.
Ecole Polytechnique Fédérale de
Lausanne

Spanien

ALONSO, Sergio
Universitat de les Illes Balears

ANADÓN, Ricardo
Universidad de Oviedo

HERNÁNDEZ, Félix
IEG-CSIC
MARTIN-VIDE, Javier
Physical Geography University of
Barcelona

MORENO, Jose M.
Faculty of Environmental Sciences,
Universidad de Castilla-La Mancha

RIBERA, Pedro
Universidad Pablo de Olavide

RODRIGUEZ ALVAREZ, Dionisio
Xunta de Galicia

Südafrika

TANSER, Frank
Africa Centre for Health and Population
Studies

WINKLER, Harald
Energy Research Centre, University of
Cape Town

Thailand

HENOCQUE, Yves
Department of Fisheries

SCHIPPER, Lisa
Southeast Asia START Regional Centre,
Chulalongkorn University

Tschechische Republik

HALENKA, Tomas
Faculty of Mathematics and Physics,
Charles University, Prague

Türkei

SENSOY, Serhat
Turkish State Meteorological Service

Ungarn

BÉLA, Nováky
Szent István University

SOMOGYI, Zoltán
Hungarian Forest Research Institute

USA

ANYAH, Richard
Rutgers University

ATKINSON, David
International Arctic Research Center,
University of Alaska, Fairbanks

BRIENO RANKIN, Veronica
GeoSeq International LLC
CHAPIN, III, F. Stuart
University of Alaska, Fairbanks

CLEMENS, Steven
Brown University

CROWLEY, Tom
Duke University

DELHOTAL, Katherine Casey RTI International	MOLINARI, Robert University of Miami	CONVEY, Peter British Antarctic Survey
EPSTEIN, Paul Harvard Medical School	MORGAN, Jack Crops Research Lab	CRABBE, M. James C. University of Bedfordshire
EVERETT, John Ocean Associates, Inc.	MURPHY, Daniel NOAA Earth System Research Laboratory	GILLETT, Nathan University of East Anglia
FAHEY, David NOAA Earth Science Research Laboratory	NADELHOFFER, Knute University of Michigan	HAIGH, Joanna Imperial College
GURWICK, Noel Carnegie Institution	NEELIN, J. David UCLA	HARRISON, Paula Oxford University Centre for the Environment
HAAS, Peter University of Massachusetts	OPPENHEIMER, Michael Princeton University	HAWKINS, Stephen Marine Biological Association of the UK
HEGERL, Gabriele Duke University	PARK, Jacob Green Mountain College	JEFFERSON, Michael World Renewable Energy Network and Congress
KIMBALL, Bruce USDA, Agricultural Research Service	PARKINSON, Claire NASA Goddard Space Flight Center	JONES, Chris Met Office Hadley Centre
KNOWLTON, Kim Columbia University	ROBOCK, Alan Rutgers University	McCULLOCH, Archie University of Bristol
LEE, Arthur Chevron Corporation	SCHWING, Franklin US Dept. of Commerce	MORSE, Andy University of Liverpool
LIOTTA, Peter Pell Center for International Relations and Public Policy	SHERWOOD, Steven Yale University	MUIR, Magdalena Environmental and Legal Services Ltd.
MACCRACKEN, Michael Climate Institute	SIDDIQI, Toufiq Global Environment and Energy in 21 st century	PAAVOLA, Jouni University of Leeds
MALONE, Elizabeth L Pacific Northwest National Laboratory	SIEVERING, Herman University of Colorado	RAVETZ, Joe University of Manchester
MASTRANDREA, Michael Stanford University	SOULEN, Richard	SHINE, Keith University of Reading
MATSUMOTO, Katsumi University of Minnesota	TRENBERTH, Kevin National Centre for Atmospheric Research	SIMMONS, Adrian European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
MATSUOKA, Kenichi University of Washington	Vereinigtes Königreich ALLAN, Richard University of Reading	SIVETER, Robert International Petroleum Industry Environmental Conservation Association
McCARL, Bruce Texas A & M University	BARKER, Terry Cambridge Centre for Climate Change Mitigation Research	SMITH, Leonard Allen London School of Economics
MILLER, Alan International Finance Corporation - CESEF	CLAY, Edward Overseas Development Institute	SPENCER, Thomas University of Cambridge

SROKOSZ, Meric
National Oceanography Centre

STONE, Dáithí
University of Oxford

STREET, Roger
UK Climate Impacts Programme,
Oxford University Centre for the
Environment

USHER, Michael
University of Stirling

WOODWORTH, Philip
Proudman Oceanographic Laboratory

Internationale Organisationen
LLOSA, Silvia
International Strategy for Disaster
Reduction

McCULLOCH, Archie
International Chamber of Commerce

SIMS, Ralph
International Energy Agency

SINGER, Stephan
WWF International

STEFANSKI, Robert
World Meteorological Organization

YAN, Hong
World Meteorological Organization

V.2 Begutachtungsexperten

Die Begutachtungsexperten sollen sicher stellen, dass alle wesentlichen Begutachtungskommentare von Experten und Regierungen durch das Kernautorenteam angemessen geprüft werden. Es wurden für jedes Thema dieses Syntheseberichts zwei Begutachtungsexperten ernannt. Sie bestätigen, dass alle Kommentare gemäß der IPCC-Verfahren geprüft wurden.

Thema 1

JALLOW, Bubu Pateh
Department of Water Resources
GAMBIA

KAJFEŽ-BOGATAJ, Lučka
University of Ljubljana
SLOWENIEN

Thema 2

BOJARIU, Roxana
National Institute of Meteorology and
Hydrology
RUMÄNIEN

HAWKINS, David
Natural Resources Defence Council
Climate Center
USA

Thema 3

DIAZ, Sandra
CONICET-Universidad Nacional de
Córdoba
ARGENTINIEN

LEE, Hoesung
SÜDKOREA

Thema 4

ALLALI, Abdelkader
Ministry of Agriculture, Rural
Development and Fishing
MAROKKO

ELGIZOULI, Ismail
Higher Council for Environment and
Natural Resources
SUDAN

Thema 5

WRATT, David
National Institute of Water and
Atmospheric Research
NEUSEELAND

HOHMEYER, Olav
Universität Flensburg
DEUTSCHLAND

Thema 6

GRIGGS, Dave
Monash University
AUSTRALIEN/VEREINIGTES
KÖNIGREICH

LEARY, Neil
International START Secretariat
USA