

# 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 Erdoberflächentemperatur<sup>1</sup> (seit 1850). Der 100-jährige lineare Trend (1906-2005) von 0,74 [0,56 bis 0,92] °C<sup>2</sup> 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*<sup>3</sup> 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 Meeresspiegel<sup>4</sup> 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}

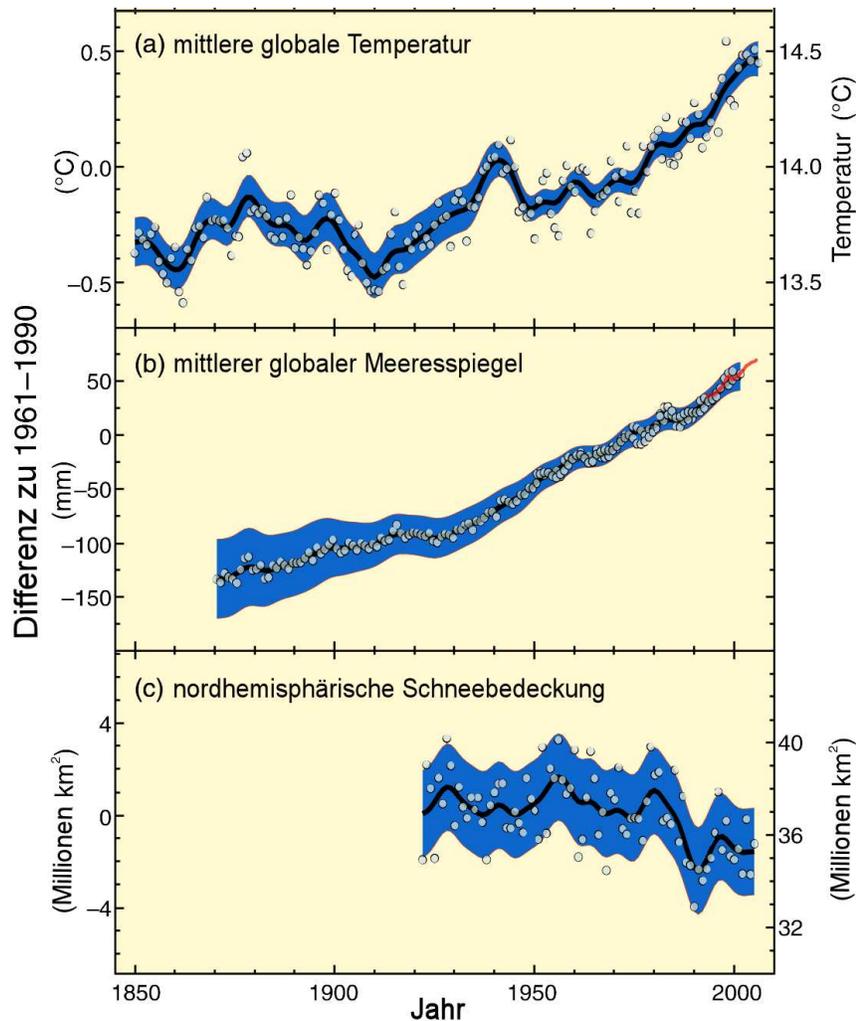
<sup>1</sup> Anmerkung der deutschen Redaktion: Erdoberflächentemperatur ist der Durchschnitt der bodennahen Lufttemperatur über dem Land und der Meeresoberflächentemperatur {WGI SPM}.

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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}

### Beobachtungen<sup>5</sup> von allen Kontinenten und den meisten Ozeanen zeigen, dass zahlreiche natürliche Systeme von regionalen Klimaänderungen – vor allem von Temperaturerhöhungen – betroffen sind. {1.2}

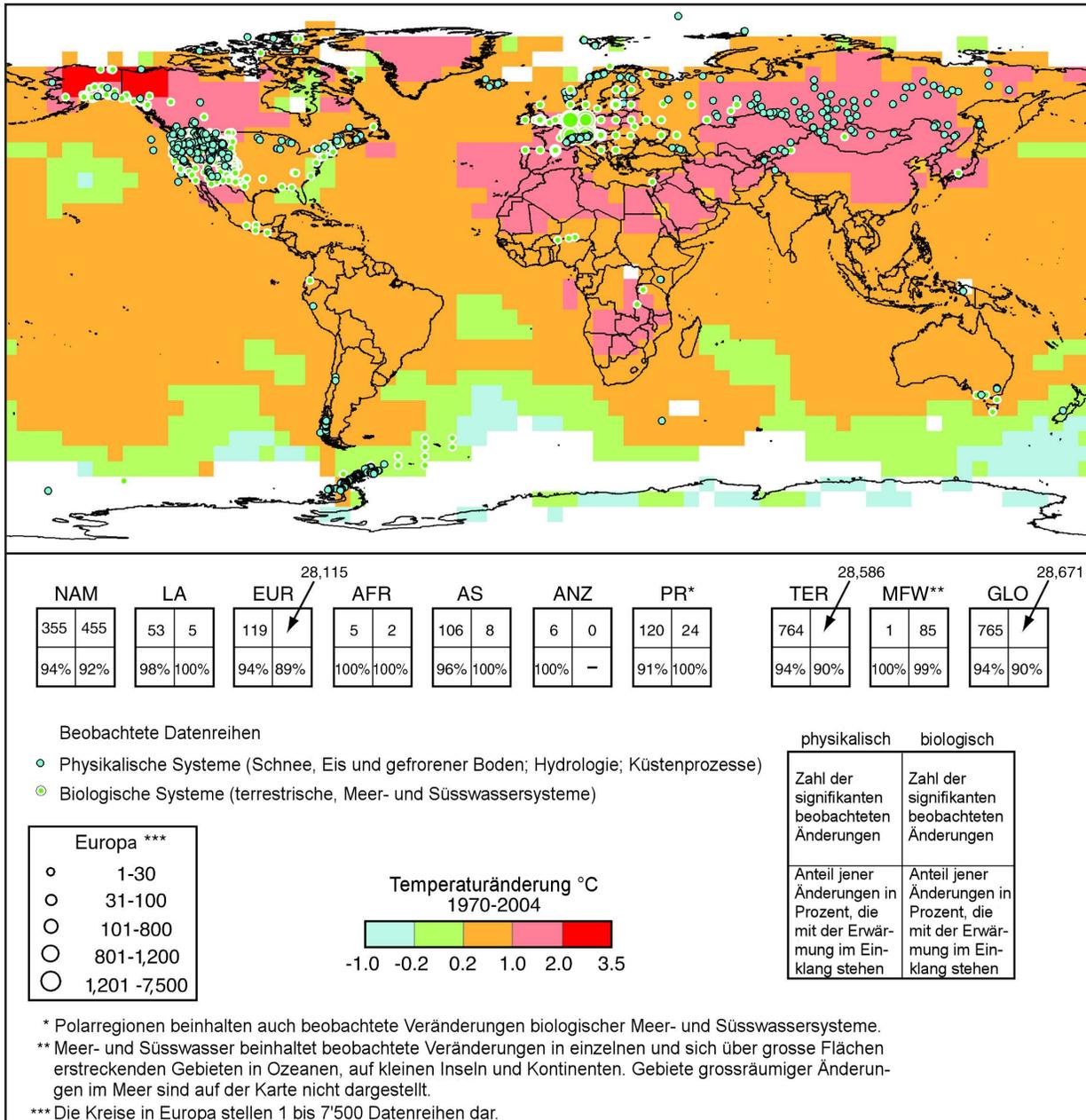
Es besteht *hohes Vertrauen* darin, dass Änderungen in Schnee-, Eisbedeckung und gefrorenem Boden die Zahl und Größe von Gletscherseen erhöht, die Bodeninstabilität in Gebirgs- und anderen Permafrostgebieten verstärkt sowie zu Änderungen in einigen arktischen und antarktischen Ökosystemen geführt haben.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

<sup>5</sup> 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).<sup>6</sup>** {2.1}

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) 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 CO<sub>2</sub>, Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) 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}

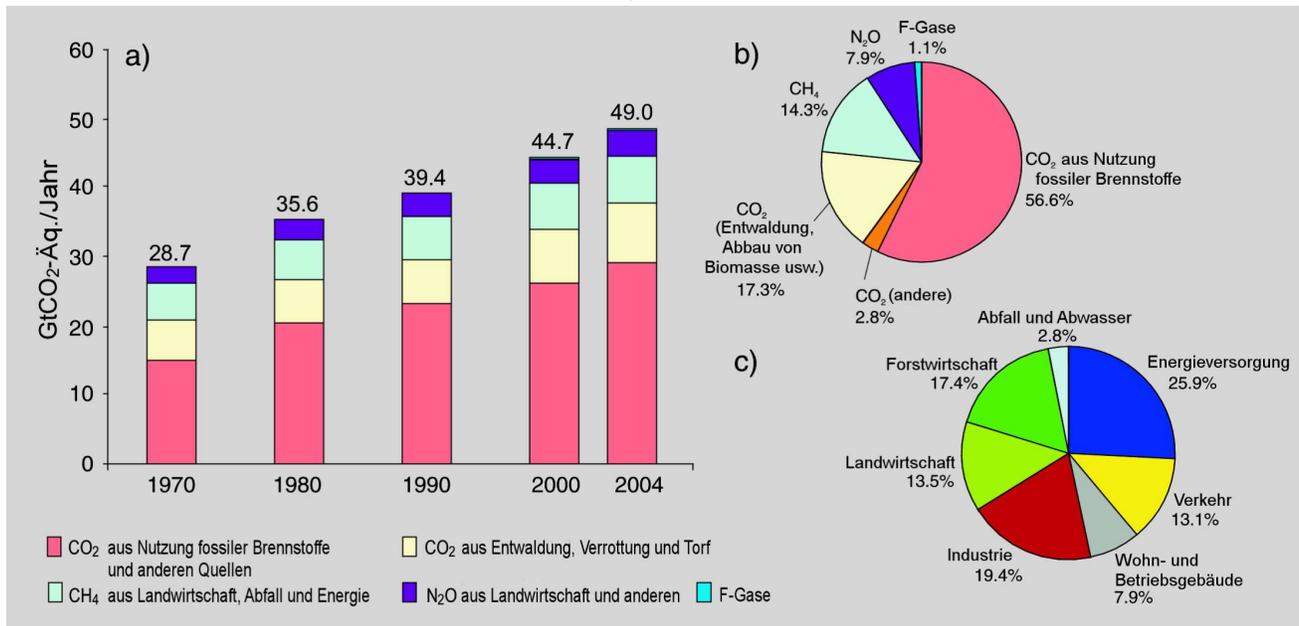
Die atmosphärischen Konzentrationen von CO<sub>2</sub> (379 ppm) und CH<sub>4</sub> (1774 ppb) im Jahr 2005 übertreffen bei Weitem die natürliche Schwankungsbreite der vergangenen 650.000 Jahre. Weltweite Anstiege der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind vor allem auf die Nutzung fossiler Brennstoffe zurückzuführen, wobei Landnutzungsänderungen einen weiteren signifikanten, aber kleineren Teil beitragen. Der beobachtete Anstieg der CH<sub>4</sub>-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 N<sub>2</sub>O-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 war<sup>7</sup>. {2.2}

<sup>6</sup> Beinhaltet nur CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H-FKW, FKWs und SF<sub>6</sub>, 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.

<sup>7</sup> 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<sup>-2</sup>). Im Vergleich dazu schätzt man die Auswirkung von Veränderungen der Sonneneinstrahlung als geringe Erwärmung ein (+0,12 [+0,06 bis +0,30] W·m<sup>-2</sup>).

### Globale anthropogene THG-Emissionen



**Abbildung SPM.3.** (a) Weltweite jährliche Emissionen anthropogener Treibhausgase von 1970 bis 2004<sup>6</sup>. (b) Anteil unterschiedlicher anthropogener THG an den Gesamtemissionen im Jahr 2004 als CO<sub>2</sub>-Äq. (c) Anteil unterschiedlicher Sektoren an den gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004 als CO<sub>2</sub>-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 verursacht<sup>8</sup>. 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}

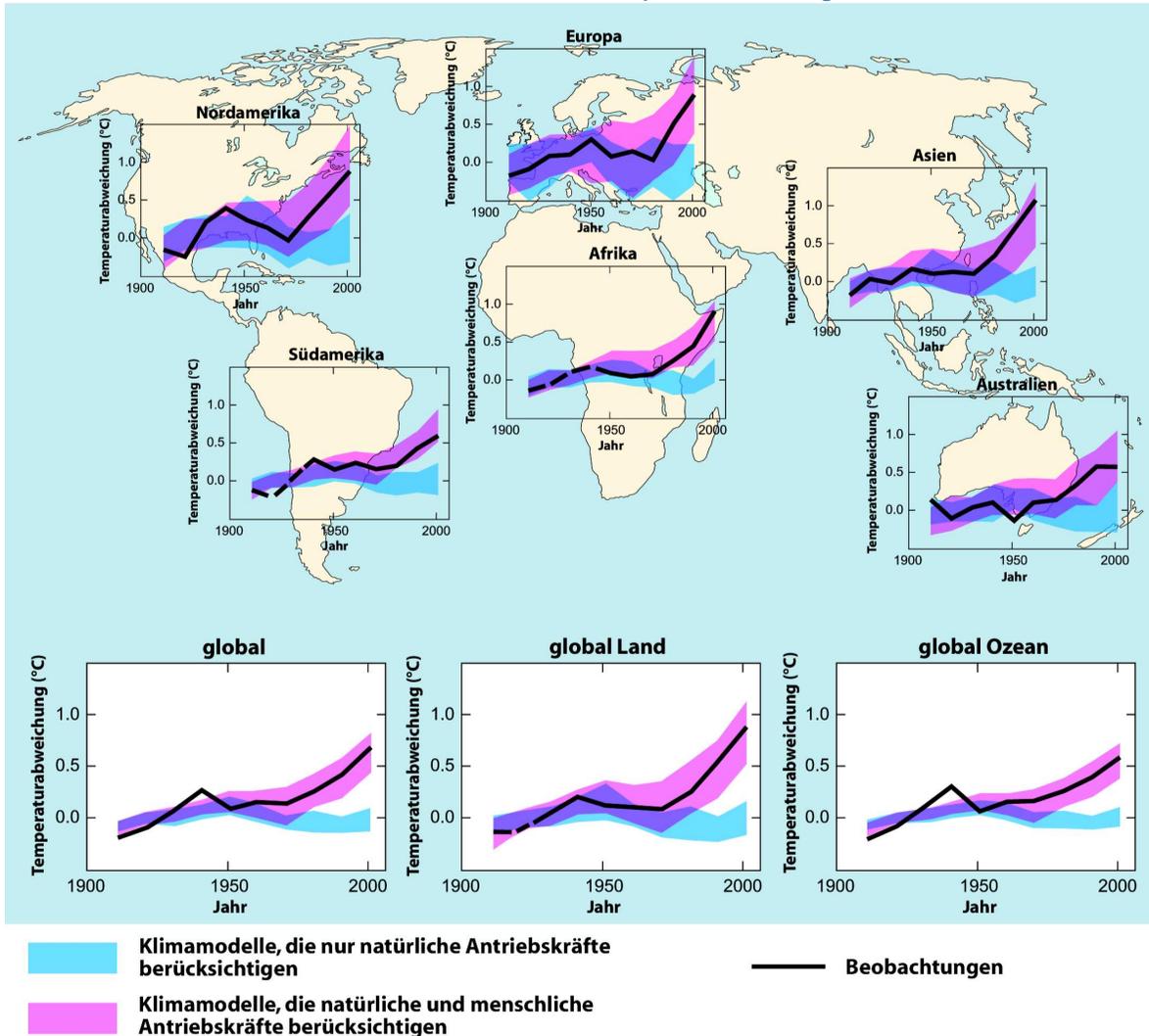
- *sehr wahrscheinlich* zum Meeresspiegelanstieg während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beigetragen
- *wahrscheinlich* zu Änderungen der Windmuster beigetragen, welche die außertropischen Zugbahnen der Stürme und Temperaturmuster beeinflussen
- *wahrscheinlich* die Temperaturen extrem heißer 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

<sup>8</sup> 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% (CO<sub>2</sub>-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<sup>9, 10</sup>. {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) <sup>a,d</sup>		Meeresspiegelanstieg (m; 2090-2099 verglichen mit 1980-1999)
	Beste Schätzung	Wahrscheinliche Bandbreite	Modellbasierte Bandbreite ohne zukünftige rapide Änderungen des Eisflusses
Konstante Jahr-2000-Konzentrationen <sup>b</sup>	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

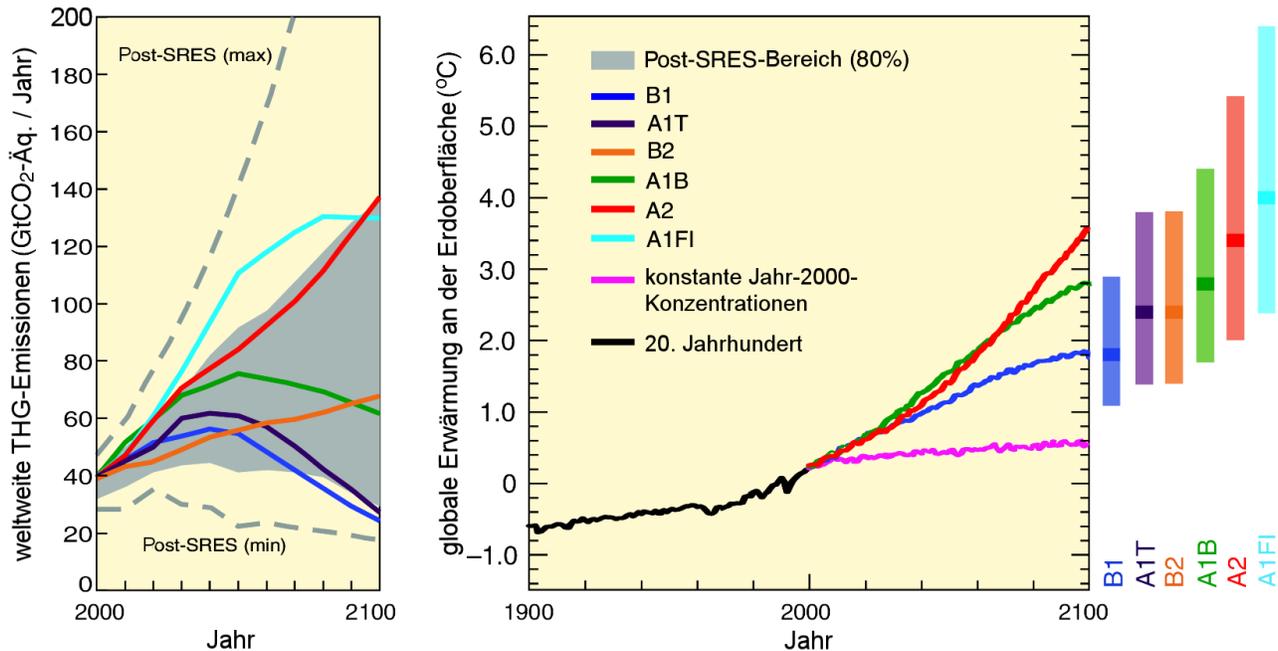
Anmerkungen:

- 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 CO<sub>2</sub>-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.

<sup>9</sup> 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.

<sup>10</sup> 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  $\text{CO}_2$ -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  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  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 2090–2099<sup>11</sup>. 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 abnehmen<sup>12</sup>. {3.2.1}

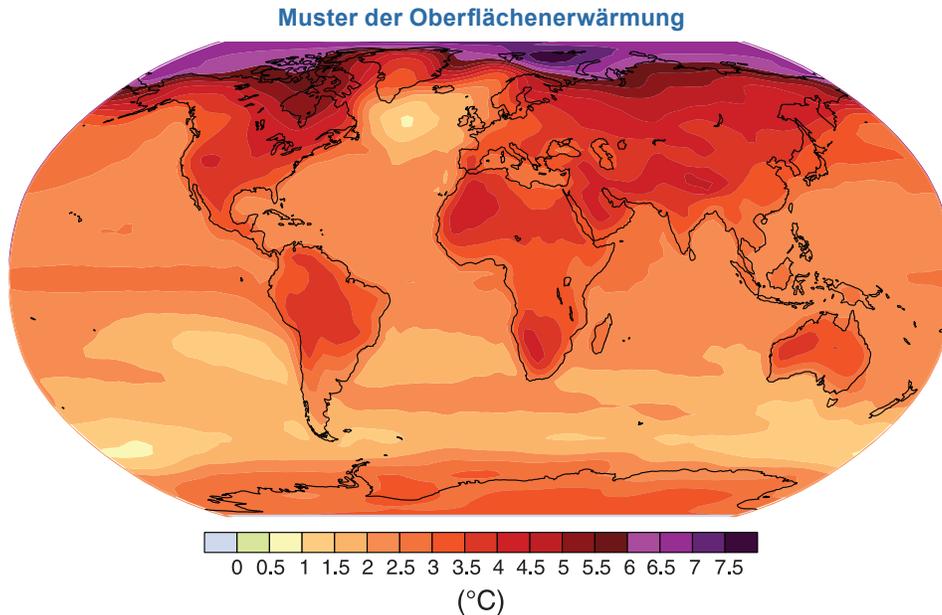
**Im Vergleich zum TAR besteht nun höheres Vertrauen in projizierte Erwärmungsmuster und andere Erscheinungen auf regionaler Ebene, darunter Änderungen der Windmuster, Niederschläge und einiger Aspekte von Extremen und Meereis. {3.2.2}**

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

<sup>11</sup> 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.

<sup>12</sup> 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.

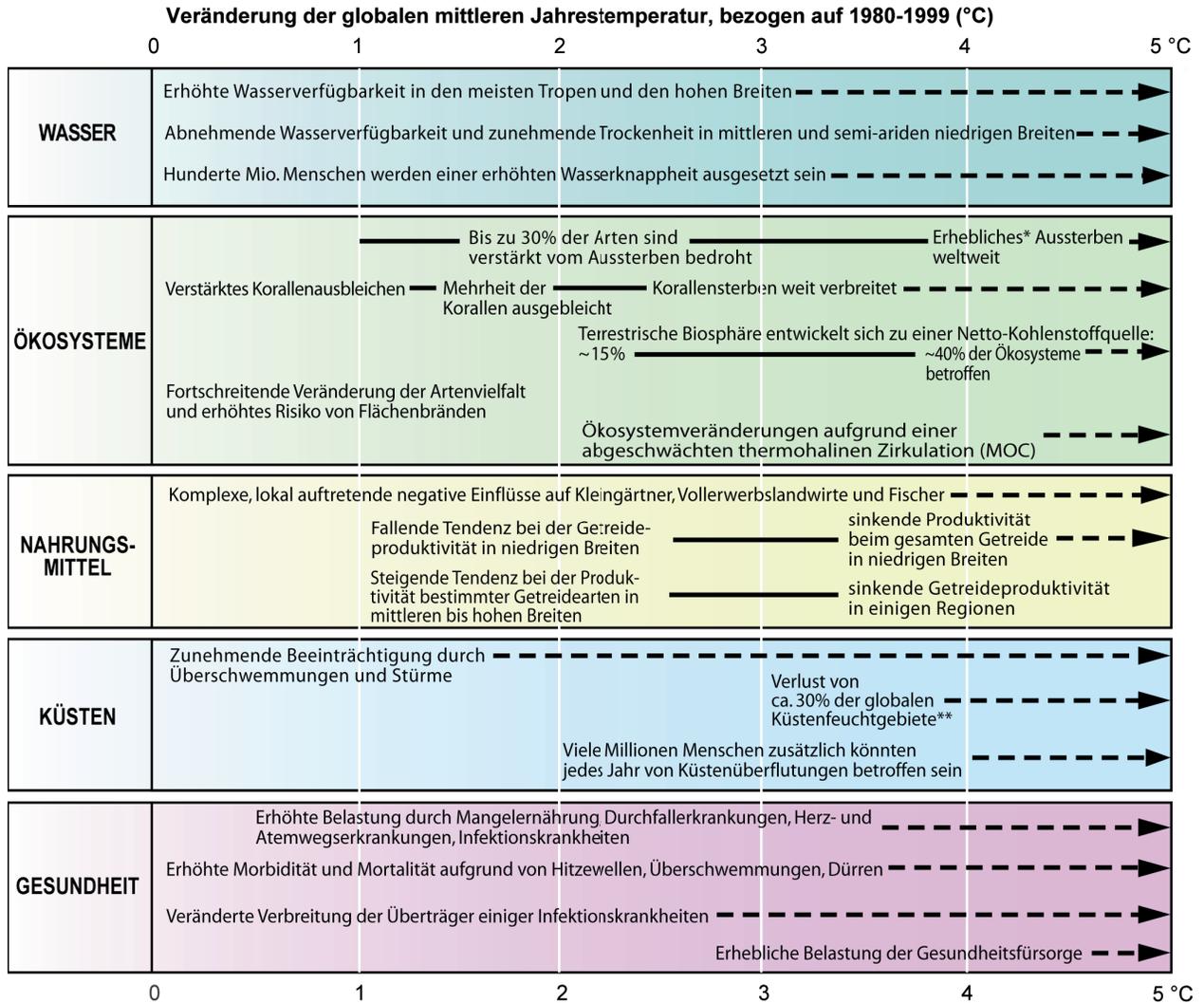
Einige Systeme, Sektoren und Regionen werden *wahrscheinlich* besonders durch Klimawandel betroffen sein<sup>13</sup>. {3.3.3}

Systeme und Sektoren: {3.3.3}

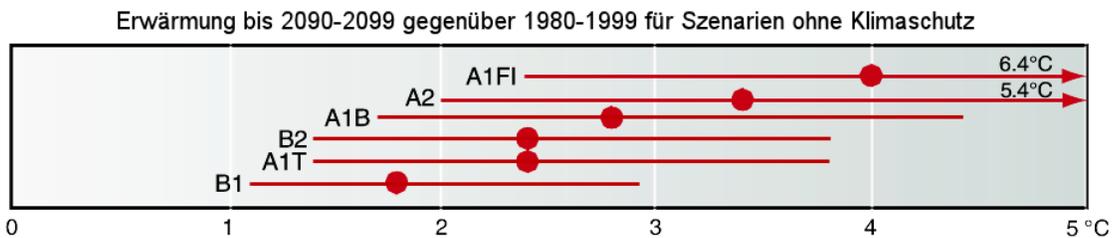
- Einzelne Ökosysteme:
  - Terrestrisch: Tundra, boreale Wälder und Gebirgsregionen wegen ihrer Empfindlichkeit gegenüber Erwärmung, Ökosysteme des mediterranen Typs aufgrund des Rückgangs von Niederschlägen; und tropische Regenwälder wo Niederschläge zurückgehen
  - Küstennah: Mangroven und Salzmarschen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

<sup>13</sup> 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 soziökonomischem 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}

<b>Afrika</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es wird projiziert, dass bis zum Jahr 2020 75 bis 250 Millionen Menschen aufgrund der Klimaänderung unter zunehmender Wasserknappheit leiden.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• Bis 2080 wird in einer Reihe von Klimaszenarien eine Ausdehnung der ariden und semi-ariden Flächen in Afrika um 5-8% projiziert (TS).</li> </ul>
<b>Asien</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• In Zentral-, Süd-, Ost- sowie Südostasien wird bis zu den 2050er Jahren vor allem in großen Flusseinzugsgebieten ein Rückgang des verfügbaren Süßwassers projiziert.</li> <li>• 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.</li> <li>• Der Klimawandel wird, in Verbindung mit rascher Urbanisierung, Industrialisierung und wirtschaftlicher Entwicklung, voraussichtlich den Druck auf die natürlichen Ressourcen und die Umwelt erhöhen.</li> <li>• 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.</li> </ul>
<b>Australien und Neuseeland</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> </ul>
<b>Europa</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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).</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• Der Klimawandel wird voraussichtlich auch das Gesundheitsrisiko durch Hitzewellen sowie die Häufigkeit von Waldbränden erhöhen.</li> </ul>
<b>Lateinamerika</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Infolge des Aussterbens von Arten besteht für viele tropische Gebiete Lateinamerikas das Risiko eines signifikanten Verlusts an biologischer Vielfalt.</li> </ul>

Fortsetzung...

Tabelle SPM.2. Fortsetzung...

<b>Lateinamerika (fortgesetzt)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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).</li> <li>• 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.</li> </ul>
<b>Nordamerika</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• 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.</li> <li>• Bevölkerung und Lebensräume in den Küstengebieten werden zunehmend durch die Auswirkungen der Klimaänderung – zusammen mit Einflüssen von Entwicklung und Verschmutzung – belastet werden.</li> </ul>
<b>Polarregionen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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. Wandervogel, Säugetiere und Raubtiere an der Spitze der Nahrungskette.</li> <li>• Die zu erwartenden Auswirkungen für die menschlichen Gesellschaften der Arktis – insbesondere infolge veränderter Bedingungen von Schnee und Eis – werden laut Projektionen unterschiedlich ausfallen.</li> <li>• Zu den nachteiligen Auswirkungen wären Folgen für die Infrastruktur sowie für die traditionelle indigene Lebensweise zu zählen.</li> <li>• Für beide Polarregionen zeigen die Projektionen, dass spezifische Ökosysteme und Lebensräume durch das Eindringen von Arten infolge niedrigerer klimatischer Barrieren verwundbar sind.</li> </ul>
<b>Kleine Inseln</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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.</li> <li>• Die beispielsweise durch Erosion der Strände sowie Korallenbleiche hervorgerufene Verschlechterung des Küstenzustandes wird voraussichtlich die örtlichen Ressourcen beeinträchtigen.</li> <li>• 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.</li> <li>• Mit höheren Temperaturen wird voraussichtlich eine vermehrte Einwanderung nicht-heimischer Arten auftreten, vor allem auf den Inseln der mittleren und hohen Breiten.</li> </ul>

**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 Breite<sup>14</sup> 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 CO<sub>2</sub>-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}

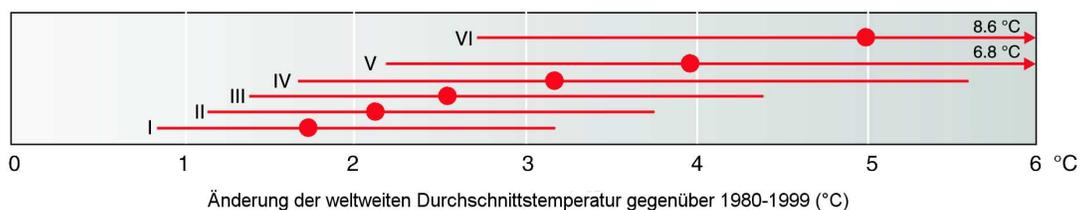
**Es wird erwartet, dass veränderte Frequenzen und Intensitäten von extremen Wetterereignissen zusammen mit dem Meeresspiegelanstieg hauptsächlich negative Auswirkungen auf natürliche und menschliche Systeme haben. {3.3.5}**

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 CO<sub>2</sub>-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}

<sup>14</sup> 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 <sup>a</sup> 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<sup>b</sup></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) <sup>c</sup>	<i>Wahrscheinlich<sup>d</sup></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 CO<sub>2</sub>-Aufnahme an Land und in den Ozeanen können sich auf das Klimasystem rückkoppelnd auswirken. {3.4}

## 4. Anpassungs- und Emissionsminderungsoptionen<sup>15</sup>

**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-

<sup>15</sup> 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> )
<b>Wasser</b>	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>
<b>Landwirtschaft</b>	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>
<b>Infrastruktur/Siedlung (einschl. Küstengebiete)</b>	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>
<b>Menschliche Gesundheit</b>	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>
<b>Tourismus</b>	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>
<b>Verkehr</b>	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>
<b>Energie</b>	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-**

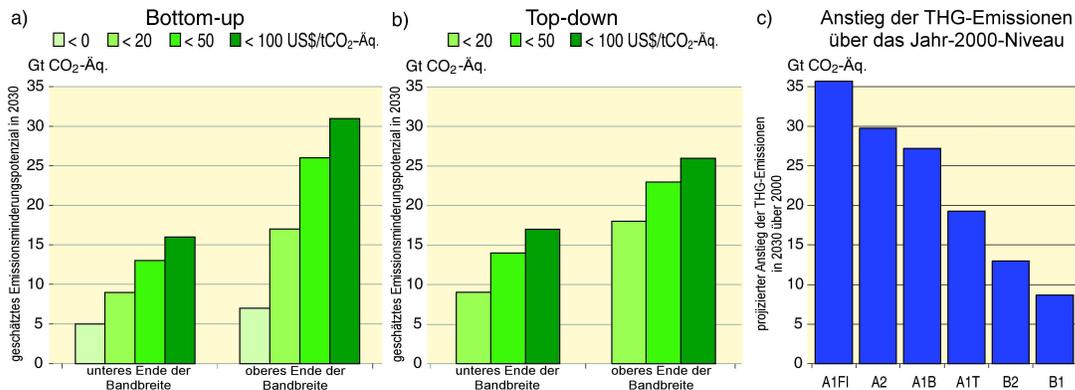
**tuellen Werte senken könnte (Abbildungen SPM.9 & SPM.10)<sup>16</sup>. Während Top-down- und Bottom-up-Untersuchungen auf globaler Ebene übereinstimmen (Abbildung SPM.9), bestehen auf sektoraler Ebene erhebliche Unterschiede. {4.3}**

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 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 CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-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}

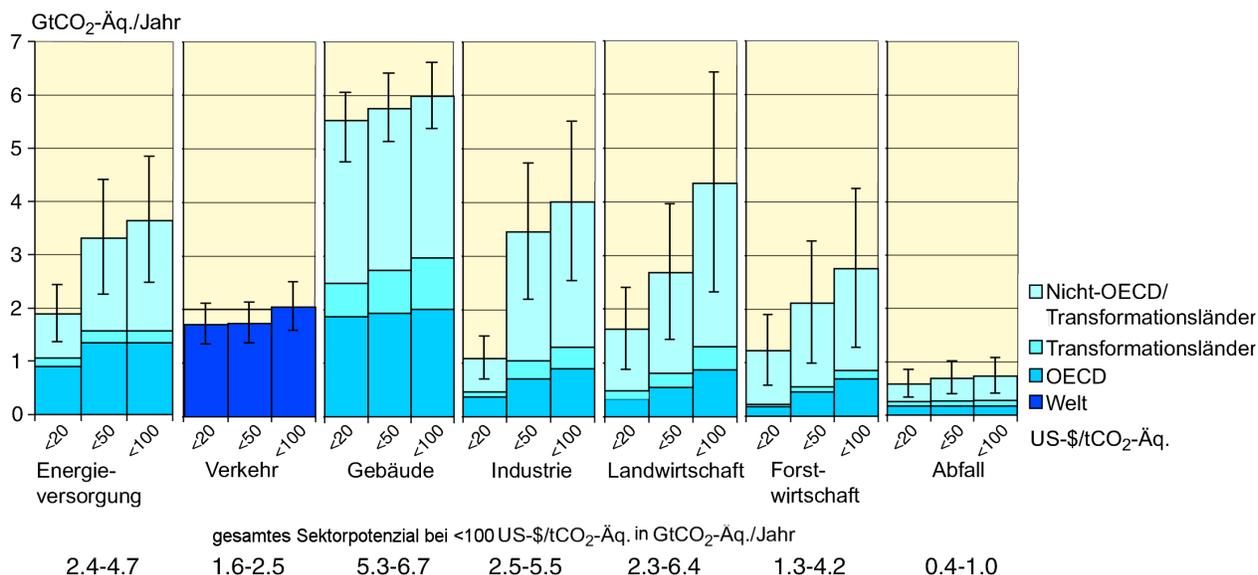
<sup>16</sup> Das Konzept des „Emissionsminderungspotenzials“ wurde entwickelt, um das Ausmaß der THG-Emissionsminderung einzuschätzen, das im Verhältnis zu den Referenzemissionen zu einem festgelegten Kohlendioxidpreis (ausgedrückt in Kosten pro Einheit an vermiedenen oder verringerten CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen) 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-CO<sub>2</sub>-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-\$<sup>17</sup> 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 CO<sub>2</sub>-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}

<sup>17</sup> 20 Billionen = 20000 Milliarden = 20\*10<sup>12</sup>

**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 umseitwirksam 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 <sub>2</sub> -Abscheidung und -speicherung (CCS; z.B. Speicherung von aus Erdgas entferntem CO <sub>2</sub> ); 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 <sub>2</sub> -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 <sub>2</sub> -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. Erfolgskriterien sind unter anderem: klare Ziele, ein Referenzszenario, Einbeziehung Dritter in Entwurf und Begutachtung und formelle Überwachungsmaßnahmen, enge Zusammenarbeit zwischen Regierung und Industrie.
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 <sub>4</sub> -Emissionen; verbesserte Stickstoffdüngung zur Verringerung von N <sub>2</sub> O-Emissionen; gezielter Anbau von Energiepflanzen als Ersatz für fossile Brennstoffe; erhöhte Energieeffizienz; Verbesserung der Ernteerträge	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 Grundigentumsfragen. Kann die Armutsbekämpfung 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 <sub>4</sub> -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 CO<sub>2</sub>-Äq. ansteigen, mit einer Stabilisierung bei etwa 550 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. bis zum Jahr 2100 im Einklang stehen. Für das gleiche Stabilisierungsniveau kann induzierter Technologiewandel diese Preisspannen auf 5 bis 65 US-\$/t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 senken<sup>18</sup>. {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 bleibt<sup>19</sup>. {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}

<sup>18</sup> 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.

<sup>19</sup> 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}**

Hauptverwundbarkeiten<sup>20</sup> 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

<sup>20</sup> 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 stattfinden<sup>21</sup>. {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 Wärmeausdehnung<sup>22</sup> 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

<sup>21</sup> 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.

<sup>22</sup> 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-CO<sub>2</sub>- und CO<sub>2</sub>-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 ab<sup>23</sup>. {5.6}**

Im Jahr 2050 liegen die globalen gesamtwirtschaftlichen Durchschnittskosten für eine Emissionsminderung in Richtung einer Stabilisierung zwischen 710 und 445 ppm CO<sub>2</sub>-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}<sup>a</sup>

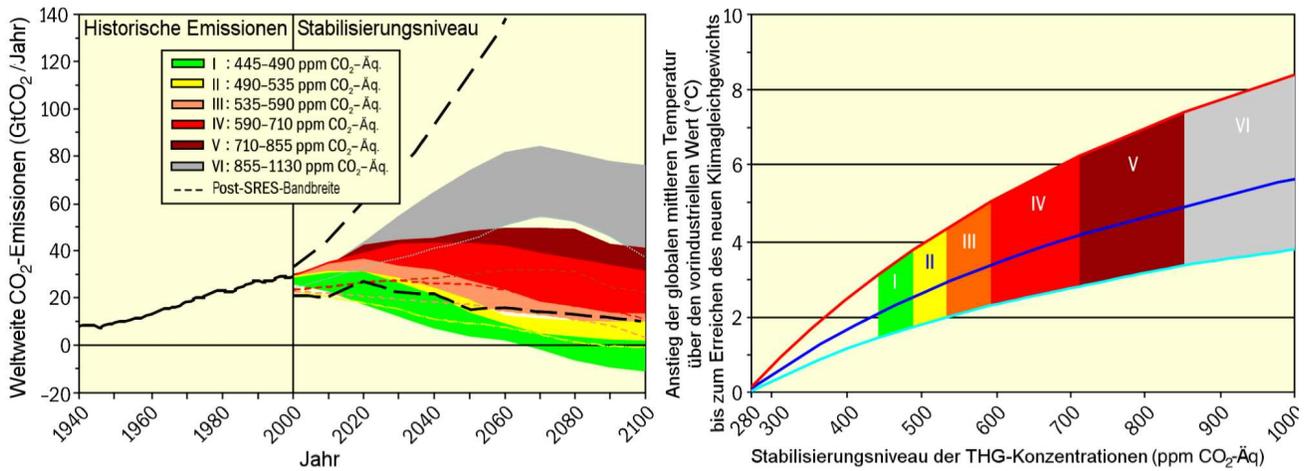
Kategorie	CO <sub>2</sub> -Konzentration bei Stabilisierung (2005 = 379 ppm) <sup>b</sup>	CO <sub>2</sub> -Äq.-Konzentration bei Stabilisierung einschließlich THG und Aerosole (2005 = 375 ppm) <sup>b</sup>	Jahr maximaler CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>a, c</sup>	Änderung globaler CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahr 2050 (% der Emissionen in 2000) <sup>a, c</sup>	Mittlerer globaler Gleichgewichtstemperaturanstieg über die vorindustriellen Werte unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität <sup>d, e</sup>	Mittlerer globaler Gleichgewichtsmeeresspiegelanstieg über die vorindustriellen Werte nur aus Wärmeausdehnung <sup>f</sup>	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 CO<sub>2</sub>-Konzentrationen lagen im Jahr 2005 bei 379 ppm. Die beste Schätzung der gesamten CO<sub>2</sub>-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 CO<sub>2</sub>-Äq. beträgt.
- (c) Die Bandbreiten entsprechen dem Bereich vom 15. bis zum 85. Perzentil der Verteilung von post-TAR-Szenarien. CO<sub>2</sub>-Emissionen sind ebenfalls angegeben, damit Multi-Gas-Szenarien mit Nur-CO<sub>2</sub>-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 „Atmosphere Ocean General Circulation Model“ (allgemeines Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell) und EMICs „Earth System Models of Intermediate Complexity“ (Erdsystemmodelle mittlerer Komplexität).)

<sup>23</sup> Zu mehr Einzelheiten über Kostenabschätzungen und Modellannahmen, siehe Fußnote 18.

**CO<sub>2</sub>-Emissionen und Gleichgewichtstemperaturanstiege für eine Bandbreite an Stabilisierungsszenarien**



**Abbildung SPM.11.** Globale CO<sub>2</sub>-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-CO<sub>2</sub>- und Multi-Gas-Szenarien und entsprechen den 10.-90. Perzentilen der vollen Szenarierverteilung. Anmerkung: In den meisten Modellen schließen CO<sub>2</sub>-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 <sub>2</sub> -Äq.)	Median der BIP-Reduzierung <sup>a</sup> (%)		Bandbreite der BIP-Reduzierung <sup>b</sup> (%)		Reduzierung der durchschnittlichen jährlichen BIP-Zuwachsraten <sup>c, e</sup> (Prozentpunkte)	
	2030	2050	2030	2050	2030	2050
445-535 <sup>d</sup>	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 CO<sub>2</sub>-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 Kohlendioxidkosten<sup>24</sup> für 2005 betragen im Durchschnitt 12 US-\$ pro Tonne CO<sub>2</sub>, die Bandbreite aus 100 Schätzungen ist jedoch groß (-3 US-\$ bis 95 US-\$/t CO<sub>2</sub>). 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}

---

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