

ipcc

ZWISCHENSTAATLICHER AUSSCHUSS FÜR Klimaänderungen

# KLIMAÄNDERUNG 2014

## *Synthesebericht*



EIN BERICHT DES  
ZWISCHENSTAATLICHEN AUSSCHUSSES FÜR KLIMAÄNDERUNGEN (IPCC)





# Klimaänderung 2014

## Synthesebericht

Herausgegeben von

---

**Hauptautoren**  
IPCC Synthesebericht

**Rajendra K. Pachauri**  
Vorsitzender des IPCC

**Leo Meyer**  
Leiter der Geschäftsstelle  
für den Synthesebericht

### Hauptautoren

Rajendra K. Pachauri (Vorsitzender), Myles R. Allen (Großbritannien), Vicente R. Barros (Argentinien), John Broome (Großbritannien), Wolfgang Cramer (Deutschland/Frankreich), Renate Christ (Österreich/WMO), John A. Church (Australien), Leon Clarke (USA), Qin Dahe (China), Purnamita Dasgupta (Indien), Navroz K. Dubash (Indien), Ottmar Edenhofer (Deutschland), Ismail Elgizouli (Sudan), Christopher B. Field (USA), Piers Forster (Großbritannien), Pierre Friedlingstein (Großbritannien/Belgien), Jan Fuglestad (Norwegen), Luis Gomez-Echeverri (Kolumbien), Stephane Hallegatte (Frankreich/Weltbank), Gabriele Hegerl (Großbritannien/Deutschland), Mark Howden (Australien), Kejun Jiang (China), Blanca Jimenez Cisneros (Mexico/UNESCO), Vladimir Kattsov (Russland), Hoesung Lee (Republik Korea), Katharine J. Mach (USA), Jochem Marotzke (Deutschland), Michael D. Mastrandrea (USA), Leo Meyer (Niederlande), Jan Minx (Deutschland), Yacob Mulugetta (Äthiopien), Karen O'Brien (Norwegen), Michael Oppenheimer (USA), Joy J. Pereira (Malaysia), Ramón Pichs-Madruga (Kuba), Gian-Kasper Plattner (Schweiz), Hans-Otto Pörtner (Deutschland), Scott B. Power (Australien), Benjamin Preston (USA), N.H. Ravindranath (Indien), Andy Reisinger (Neuseeland), Keywan Riahi (Österreich), Matilde Rusticucci (Argentinien), Robert Scholes (Südafrika), Kristin Seyboth (USA), Youba Sokona (Mali), Robert Stavins (USA), Thomas F. Stocker (Schweiz), Petra Tschakert (USA), Detlef van Vuuren (Niederlande), Jean-Pascal van Ypersele (Belgien)

---

### Geschäftsstelle für den Synthesebericht

Leo Meyer, Sander Brinkman, Line van Kesteren, Noémie Leprince-Ringuet, Fijke van Boxmeer

#### ***Diese deutsche Übersetzung sollte zitiert werden als:***

IPCC, 2014: *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)* [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

## Englisches Original

© Intergovernmental Panel on Climate Change, 2015

IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp., ISBN 978-92-9169-143-2

Herausgegeben von:

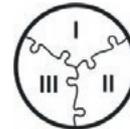
Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP)

Die englische Originalversion dieses Dokuments ist in elektronischer Form auf der IPCC-Webseite unter <http://ipcc.ch/report/ar5/syr/> erhältlich. Die Druckversion ist bei Cambridge University Press erschienen und kann über den Buchhandel bezogen werden.

Cover: Design by Laura Biagioni, IPCC-Sekretariat, WMO

Fotos:

- I - Folgefonna Gletscher, Hochebene von Sørfjorden, Norwegen (60°03' N - 6°20' E).  
© Yann Arthus-Bertrand / Altitude | [www.yannarthusbertrand.org](http://www.yannarthusbertrand.org) | [www.goodplanet.org](http://www.goodplanet.org)
- II - Anpflanzen von Mangroven-Setzlingen in Funafala, Funafuti Atoll, Tuvalu. © David J. Wilson
- III - China, Shanghai, Luftaufnahme. © Ocean/Corbis



Diese Veröffentlichung ist identisch mit dem Bericht, der bei der 40. Sitzung des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) am 1. November 2014 in Kopenhagen, Dänemark genehmigt (Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger) und verabschiedet (ausführlicher Bericht) wurde, jedoch unter Einbeziehung von redaktionellen Bearbeitungen und Errata, die vor dieser Veröffentlichung berichtigt wurden. Diese Vorveröffentlichungs-Errata sind verfügbar unter: <http://www.ipcc.ch>.

Die verwendeten Bezeichnungen und Darstellungen auf Karten enthalten keine Aussage des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen in Bezug auf den Rechtsstatus eines Landes, eines Gebietes, einer Stadt oder Gegend bzw. dessen/deren Behörden, oder dessen/deren Grenzen.

Die Erwähnung bestimmter Unternehmen oder Produkte impliziert nicht, dass diese vom IPCC vorrangig befürwortet oder empfohlen werden vor anderen vergleichbarer Art, die nicht genannt oder beworben werden.

Das Recht zur Veröffentlichung in gedruckter, elektronischer und sonstiger Form und in jeder Sprache ist dem IPCC vorbehalten. Kurze Auszüge aus dieser Veröffentlichung dürfen ohne Genehmigung wiedergegeben werden, vorausgesetzt, die vollständige Quelle ist deutlich angegeben.

## Deutsche Übersetzung

Die vorliegende Übersetzung ist keine offizielle Übersetzung durch den IPCC. Sie wurde erstellt mit dem Ziel, die im Originaltext verwendete Sprache möglichst angemessen wiederzugeben.

- Herausgeber: Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, DLR Projektträger. [www.de-ipcc.de](http://www.de-ipcc.de), [de-ipcc@dlr.de](mailto:de-ipcc@dlr.de)
- Übersetzung: A.C.T. Fachübersetzungen GmbH, Carola Best, Britt K. Erleben, Sachiko Ito, Christiane Textor
- Mitarbeit: Patrick Eickemeier, Gerrit Hansen, Susanne Kadner, Pauline Midgley, Astrid Schulz
- Layout: CD Werbeagentur GmbH
- Druckerei: M & E Druckhaus, Belm
- Mitfinanzierung: Deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)



## Bezugsquellen für Übersetzungen von IPCC-Berichten

Deutsche Übersetzungen können von der Webseite [www.de-ipcc.de](http://www.de-ipcc.de) als PDF-Datei heruntergeladen werden. Kostenfreie Druckexemplare sind erhältlich:

- in Deutschland bei der Deutschen IPCC-Koordinierungsstelle, DLR Projektträger „Umwelt, Kultur, Nachhaltigkeit“, Heinrich-Konen-Str. 1, 53227 Bonn, Tel.: +49 228 3821 1554, E-Mail: [de-ipcc@dlr.de](mailto:de-ipcc@dlr.de), [www.de-ipcc.de](http://www.de-ipcc.de)
- in Österreich beim Umweltbundesamt, Spittelauer Lände 5, 1090 Wien, E-Mail: [publikationen@umweltbundesamt.at](mailto:publikationen@umweltbundesamt.at), [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at)
- in der Schweiz bei ProClim – Forum for Climate and Global Change Swiss Academy of Sciences, Schwarztorstr. 9, 3007 Bern, Tel.: +41 31 328 23 26, E-Mail: [urs.neu@scnat.ch](mailto:urs.neu@scnat.ch), [www.proclim.ch](http://www.proclim.ch)

Als Gremium der Vereinten Nationen veröffentlicht der IPCC seine Berichte in den sechs offiziellen VN-Sprachen (Arabisch, Chinesisch, Englisch, Französisch, Russisch, Spanisch). Versionen in diesen Sprachen stehen auf [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch) zum Herunterladen zur Verfügung. Weitere Informationen erteilt das IPCC-Sekretariat (Adresse: 7bis Avenue de la Paix, C.P. 2300, 1211 Geneva 2, Schweiz; E-Mail: [ipcc-sec@wmo.int](mailto:ipcc-sec@wmo.int)).

ISBN: 978-3-89100-047-2

# **Vorwort, Einleitung und Widmung**



# Vorwort

Der Synthesebericht (SYR) vereint die Erkenntnisse der Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht (AR5) des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) und integriert diese – die bisher umfassendste vom IPCC vorgenommene Bewertung der Klimaänderung: *Klimaänderung 2013: Naturwissenschaftliche Grundlagen*; *Klimaänderung 2014: Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit*; und *Klimaänderung 2014: Minderung des Klimawandels*. Der Synthesebericht enthält auch die Erkenntnisse aus zwei Sonderberichten: *Erneuerbare Energiequellen und die Minderung des Klimawandels* (2011) sowie *Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel* (2011).

Der SYR bestätigt, dass der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem klar ist und zunimmt, wobei Folgen in allen Kontinenten und Ozeanen beobachtet werden. Viele der seit den 1950er Jahren beobachteten Änderungen waren vorher über Jahrzehnte bis Jahrtausende nie aufgetreten. Der IPCC ist nun zu 95 Prozent sicher, dass Menschen die Hauptursache der derzeitigen globalen Erwärmung sind. Ferner kommt der SYR zu dem Ergebnis, dass die Risiken schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler Folgen für Menschen und Ökosysteme sowie langanhaltende Änderungen aller Komponenten des Klimasystems steigen, je mehr Aktivitäten des Menschen das Klima stören. Der SYR betont, dass wir die Mittel haben, um den Klimawandel und seine Risiken zu begrenzen, einschließlich vieler Lösungen, die einen Fortbestand der wirtschaftlichen und menschlichen Entwicklung erlauben. Jedoch erfordert eine Stabilisierung des Temperaturanstiegs auf unter 2 °C im Vergleich zum vorindustriellen Niveau eine dringende und fundamentale Abkehr vom *Business-as-Usual*. Mehr noch – je länger wir zögern zu handeln, umso mehr Kosten werden wir zu tragen haben, und umso größer werden die technologischen, wirtschaftlichen, sozialen und institutionellen Herausforderungen sein, denen wir gegenüberstehen.

Diese und andere Erkenntnisse des SYR haben unzweifelhaft und in erheblichem Maße unser Verständnis über einige der kritischsten Probleme im Hinblick auf den Klimawandel gefördert: die Rolle von Treibhausgasemissionen; die Schwere potenzieller Risiken und Folgen, insbesondere für die am wenigsten entwickelten Länder und verwundbaren Gemeinschaften angesichts ihrer begrenzten Handlungsmöglichkeiten; sowie die uns verfügbaren Optionen und die damit verbundenen Anforderungen, um sicherzustellen, dass die Folgen des Klimawandels beherrschbar bleiben. So fordert der SYR sowohl politische Entscheidungsträger als auch die Bürger der Welt dringend auf, sich dieser Herausforderung zu stellen.

Der Zeitpunkt der Veröffentlichung des SYR, der am 2. November 2014 in Kopenhagen verabschiedet wurde, war entscheidend. Politische Entscheidungsträger kamen im Dezember 2014 in Lima bei der 20. Vertragsstaatenkonferenz zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) zusammen, um die Grundlagen für die 21. Sitzung 2015 in Paris vorzubereiten, während derer sie ein neues Abkommen zum Umgang mit dem Klimawandel schließen sollen. Wir hoffen, dass die wissenschaftlichen Ergebnisse des SYR Grundlage für ihre Motivation sein werden, den Weg zu einem globalen Abkommen zu finden, das den Klimawandel auf einem beherrschbaren Niveau hält, da uns der SYR das Wissen vermittelt, informierte Entscheidungen zu treffen und unser grundlegendes Verständnis für den Handlungsbedarf fördert – und für die schwerwiegenden Auswirkungen von Untätigkeit. Unwissenheit kann nicht länger als Entschuldigung für Ausflüchte dienen.

Seit er 1988 als zwischenstaatliches Gremium gemeinsam von der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) und dem Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) gegründet wurde, stellt der Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (IPCC) politischen Entscheidungsträgern wissenschaftliche und technische Bewertungen auf diesem Gebiet zur Verfügung, die in Zuverlässigkeit und Objektivität unübertroffen sind. Seit Beginn der Veröffentlichungen im Jahr 1990 sind die Sachstandsberichte, Sonderberichte, Technischen Abhandlungen, Methodikberichte und andere Produkte des IPCC zu Standardnachschlagewerken geworden.

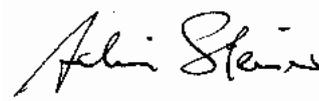
Der Synthesebericht wurde durch die freiwillige Arbeit, den Einsatz und das Engagement tausender Fachleute sowie Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern auf aller Welt ermöglicht und vereint eine Vielfalt an Sichtweisen und Fachgebieten. Wir möchten allen Mitgliedern des Hauptautorenteams des Syntheseberichts, den Mitgliedern des erweiterten Autorenteams und den Begutachtungsedatoren unseren tiefen Dank aussprechen, die sich alle begeistert der enormen Herausforderung gestellt haben, zusätzlich zu ihren anderen Aufgaben bei der Erstellung des AR5 einen herausragenden Synthesebericht zu erstellen. Unser Dank gilt auch den Mitarbeitern der Geschäftsstelle für den Synthesebericht sowie dem IPCC-Sekretariat für ihr Engagement bei der Organisation der Erstellung dieses IPCC-Berichts.

Wir danken auch den Regierungen der IPCC-Mitgliedsstaaten für ihre Unterstützung von Wissenschaftlern bei der Erstellung dieses Berichts und für ihre Beiträge zum IPCC-Treuhandfonds, durch den die Teilnahme von Fachleuten aus Entwicklungs- und Transformationsländern ermöglicht wurde. Unser besonderer Dank gilt der Regierung von Wallonien (Belgien) als Gastgeber des Scoping-Treffens für den Synthesebericht, den Regierungen von Norwegen, den Niederlanden, Deutschland und Malaysia als Gastgeber der Leitautorentreffen für den Synthesebericht und der Regierung von Dänemark als Gastgeber der 40. Sitzung des IPCC, bei welcher der Synthesebericht verabschiedet wurde. Die großzügige finanzielle Unterstützung der Regierungen von Norwegen und den Niederlanden, des Korea Energy Economics Institute und die Sachleistungen der Netherlands Environmental Assessment Agency und des The Energy and Resources Institute, Neu-Delhi (Indien) ermöglichten die reibungslose Arbeit der Geschäftsstelle für den Synthesebericht. Ihnen gilt unser besonderer Dank und unsere Anerkennung.

Wir möchten insbesondere dem IPCC-Vorsitzenden, Dr. Rajendra K. Pachauri für seine Führung und unermüdliche Leitung während der Erstellung dieses Berichts danken.



**Michel Jarraud**  
Generalsekretär  
Weltorganisation für  
Meteorologie (WMO)



**Achim Steiner**  
Exekutivdirektor  
Umweltprogramm der Vereinten  
Nationen (UNEP)



# Einleitung

Der Synthesebericht (SYR), der den letzten Teil des Fünften Sachstandsberichts (AR5) des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) darstellt, wird unter dem Titel *Klimaänderung 2014* veröffentlicht. Dieser Bericht vereint, synthetisiert und integriert die Hauptaussagen der Beiträge der drei Arbeitsgruppen – *Naturwissenschaftliche Grundlagen, Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit* sowie *Minderung des Klimawandels* – zum Fünften Sachstandsbericht AR5 in prägnanter Form zum Nutzen von Entscheidungsträgern in Regierungen, dem Privatsektor sowie der Öffentlichkeit insgesamt. Der SYR nutzt auch die Erkenntnisse aus den beiden 2011 veröffentlichten Sonderberichten: *Erneuerbare Energiequellen und die Minderung des Klimawandels* sowie *Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel*. Der SYR bietet daher eine umfassende und aktuelle Sammlung von Bewertungen zum Klimawandel und beruht auf der neuesten wissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Literatur auf diesem Gebiet.

## Umfang des Berichts

Dieser Bericht ist das Ergebnis koordinierter und sorgfältig zusammengeführter Bemühungen der Arbeitsgruppen, kohärente und umfassende Informationen zu verschiedenen Aspekten des Klimawandels sicherzustellen. Dieser SYR enthält eine konsistente Einschätzung und Bewertung von Unsicherheiten und Risiken, integrierte Kosten- und Wirtschaftsanalysen, regionale Aspekte, Änderungen, Folgen und Reaktionen in Bezug auf Wasser- und Erdsysteme, den Kohlenstoffkreislauf, einschließlich der Versauerung der Ozeane, die Kryosphäre und den Meeresspiegelanstieg, sowie die Behandlung von Minderungs- und Anpassungsoptionen im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung. Im gesamten SYR finden sich auch Informationen, die in Bezug auf Artikel 2 relevant sind, dem obersten Ziel des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC).

Andere in diesem Bericht behandelte Aspekte des Klimawandels beinhalten direkte Folgen des Klimawandels für natürliche Systeme sowie sowohl direkte als auch indirekte Folgen für Systeme des Menschen, wie Gesundheit, Ernährungssicherheit und die Sicherheit gesellschaftlicher Bedingungen. Durch die Einbindung von Risiken des Klimawandels und Fragen der Anpassung und Minderung in das Rahmenwerk nachhaltiger Entwicklung hebt der SYR auch die Tatsache hervor, dass nahezu alle Systeme auf diesem Planeten von den Folgen eines sich ändernden Klimas betroffen wären, und dass es nicht möglich ist, den Klimawandel und die damit verbundenen Risiken und Folgen einerseits von einer Entwicklung andererseits abzugrenzen, welche die Bedürfnisse der heutigen Generation deckt, ohne die Fähigkeit zukünftiger Generationen, deren eigene Bedürfnisse zu decken, zu gefährden. Daher konzentriert sich dieser Bericht auch auf Zusammenhänge zwischen diesen Aspekten und liefert Informationen darüber, wie sich Klimawandel mit anderen Entwicklungsfragen überschneidet und in diese eingebunden wird.

## Struktur

Der Bericht enthält eine Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (SPM), einen ausführlichen Bericht, aus welchem die SPM abgeleitet ist, sowie Anhänge. Obwohl die SPM einer ähnlichen Struktur und Reihenfolge wie der ausführliche Bericht folgt, sind bestimmte Fragen, die in mehreren Themen des ausführlichen Berichts behandelt werden, in einem Abschnitt der SPM zusammengefasst. Jeder Abschnitt in der SPM verweist auf den entsprechenden Text in dem ausführlichen Bericht. Letzterer wiederum enthält ausführliche Verweise auf relevante Kapitel der zugrunde liegenden Arbeitsgruppenberichte oder der zwei oben genannten Sonderberichte. Der SYR ist im Grunde eigenständig, und seine SPM enthält das politisch relevanteste Material aus dem ausführlichen Bericht und dem gesamten AR5.

Alle drei Beiträge zum AR5, einschließlich aller SPM, sämtlicher Technischer Zusammenfassungen, häufig gestellte Fragen (FAQ) sowie der Synthesebericht in allen offiziellen VN-Sprachen sind online auf der Website des IPCC sowie als elektronische Offline-Versionen verfügbar. In diesen elektronischen Versionen sind Verweise im SYR auf relevante Abschnitte des zugrunde liegenden Materials als Hyperlinks bereitgestellt, die es dem Leser ermöglichen, weitere wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Informationen schneller zu finden. Nutzerhinweise, ein Glossar und Verzeichnisse der Abkürzungen, Autoren, Begutachtungsedatoren und Fachgutachter sind in den Anhängen dieses Berichts zu finden.

Um den Zugang zu den Ergebnissen des SYR für eine breite Leserschaft zu erleichtern und deren Nutzbarkeit für Interessenvertreter zu erhöhen, enthält jeder Abschnitt der SPM farblich hervorgehobene Hauptaussagen. Zusammengenommen bieten diese 21 Hauptaussagen eine übergeordnete Zusammenfassung in einfacher und durchgängig nicht-technischer Sprache zum leichteren Verständnis für Leser unterschiedlicher Gesellschaftsschichten. Diese Hauptaussagen wurden von den Autoren des Berichts erstellt und von den Mitgliedsstaaten des IPCC verabschiedet.

Der ausführliche Bericht ist in vier Themenblöcke gegliedert, wie vom Ausschuss beauftragt:

*Beobachtete Änderungen und deren Ursachen (Thema 1)* integriert neue Informationen aus den drei Arbeitsgruppen zu beobachteten Änderungen im Klimasystem, einschließlich Änderungen der Atmosphäre, der Ozeane, der Kryosphäre und des Meeresspiegels, gegenwärtige und vergangene Treiber und Einflüsse des Menschen auf Emissionstreiber, beobachtete Folgen, einschließlich Änderungen extremer Wetter- und Klimaereignisse, sowie die Zuordnung von Klimaänderungen und Folgen.

*Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen (Thema 2)* bietet Informationen über zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen. Es integriert Informationen über Haupttreiber des zukünftigen Klimas, die

## Einleitung

Beziehung zwischen kumulativen Emissionen und Temperaturänderungen, sowie projizierte Änderungen im Klimasystem im 21. Jahrhundert und darüber hinaus. Es bewertet zukünftige Risiken und Folgen, die auf Klimaänderungen zurückzuführen sind und die Wechselwirkungen von klimabezogenen und anderen Gefährdungen. Es bietet Informationen zu langfristigen Änderungen, einschließlich Meeresspiegelanstieg und Versauerung der Ozeane, sowie den Risiken irreversibler und abrupter Änderungen.

*Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung (Thema 3)* befasst sich mit zukünftigen Pfaden für Anpassung und Minderung als komplementäre Strategien für die Verringerung und Bewältigung der Risiken des Klimawandels und bewertet deren Wechselwirkung mit nachhaltiger Entwicklung. Es beschreibt analytische Ansätze für eine wirksame Entscheidungsfindung und Unterschiede zwischen den Risiken von Klimaänderung, Anpassung und Minderung im Hinblick auf zeitliche Maßstäbe, Ausmaß und Beständigkeit. Es analysiert die Eigenschaften von Anpassungs- und Minderungspfaden und die damit verbundenen Herausforderungen, Grenzen und Vorteile, auch für unterschiedliche zukünftige Erwärmungsniveaus.

*Anpassung und Minderung (Thema 4)* führt Informationen aus den Arbeitsgruppen II und III zu spezifischen Anpassungs- und Minderungsoptionen zusammen, einschließlich ökologisch verträglicher Technologien und Infrastruktur, nachhaltiger Existenzgrundlagen, Verhaltens- und Lebensstilentscheidungen. Es beschreibt gemeinsame begünstigende Umstände und Grenzen, sowie politische Ansätze, Finanzierungen und Technologien, von denen wirksame Reaktionsmaßnahmen abhängen. Es zeigt Möglichkeiten für integrierte Reaktionen auf und verknüpft Anpassung und Minderung mit anderen gesellschaftlichen Zielen.

## Prozess

Der SYR des AR5 des IPCC wurde nach den Verfahrensregeln des IPCC erstellt, um während des Prozesses eine adäquate Leistung und Stringenz sicherzustellen. Für den AR5 begannen die Vorbereitungen für den SYR ein Jahr früher als beim Vierten Sachstandsbericht (AR4) – noch während die Arbeitsgruppenberichte erstellt wurden – mit der Absicht, die Integration zu verbessern und eine adäquate Synthese sicherzustellen. Ein Scoping-Treffen zur Erarbeitung der detaillierten Gliederung des Syntheseberichts zum AR5 fand in Liège, Belgien im August 2010 statt, und die auf diesem Treffen erarbeitete Gliederung wurde vom Ausschuss im Oktober 2010 in Busan, Republik Korea verabschiedet. Entsprechend den IPCC-Verfahrensregeln ernannte der Vorsitzende des IPCC in Abstimmung mit den Ko-Vorsitzenden der Arbeitsgruppen Autoren für das Hauptautorenteam des SYR. Es wurden insgesamt 45 Mitglieder des Hauptautorenteam und 9 Begutachtungsedatoren ausgewählt und vom IPCC-Vorstand im März 2012 akzeptiert. Darüber hinaus wurden 14 Autoren des erweiterten Autorenteam mit Genehmigung durch den Vorsitzenden des IPCC vom Hauptautorenteam ausgewählt, und diese Gruppe leistete einen wesentlichen Beitrag zu den Materialien und Texten in diesem Bericht. Während der Entwicklung der Inhalte des SYR wurde ein Antrag an den IPCC-Vorstand gestellt und dieser genehmigte die Aufnahme von 6 zusätzlichen Mitgliedern in das Hauptautorenteam sowie eines zusätzlichen Begutachtungsedators. Dies hat das für die Erstellung des Berichts erforderliche Fachwissen weiter verbessert und vertieft. Der

endgültige Entwurf des Berichts, der einer kombinierten Begutachtung durch Fachleute und Regierungen unterzogen wurde, wurde auf der 40. Sitzung des IPCC, die vom 27. Oktober bis 1. November 2014 in Kopenhagen, Dänemark, stattfand, vorgelegt, wo die SPM von den Regierungen Zeile für Zeile verabschiedet und der ausführliche Bericht Abschnitt für Abschnitt angenommen wurde.

## Danksagungen

Unsere tiefe Dankbarkeit gilt den Mitgliedern des Hauptautorenteam und der beträchtlichen Unterstützung durch die Mitglieder des erweiterten Autorenteam für ihre unermüdlichen Anstrengungen, Fachkenntnisse und ihr großartiges Engagement während der gesamten Erstellung des SYR. Der SYR hätte ohne ihre inspirierende Verpflichtung zu Exzellenz und Integrität und ihre akribische Sorgfalt nicht zum Abschluss gebracht werden können. Wir möchten auch den Begutachtungsedatoren für ihre unschätzbare Hilfe danken, durch die der SYR eine ausgeglichene und vollständige Bewertung der derzeitigen Informationen im Hinblick auf den Klimawandel erfährt. Ihre Arbeit hat entscheidend zur Transparenz des Verfahrens beigetragen, auf die der IPCC stolz sein kann. Unser Dank gilt auch allen Autoren des AR5 und der zwei Sonderberichte, denn ohne ihre gewissenhafte Bewertung der enormen Literaturmenge zu diversen Aspekten des Klimawandels und ihre Kommentare zum Berichtsentwurf wäre die Erstellung des SYR nicht möglich gewesen.

Während der gesamten Erstellung des AR5 haben wir umfangreich von der Weisheit und Erkenntnis unserer Kollegen in der IPCC-Leitung profitiert, insbesondere Dr. Thomas Stocker und Dr. Qin Dahe, Ko-Vorsitzende von Arbeitsgruppe I, Dr. Chris Field und Dr. Vicente Barros, Ko-Vorsitzende von Arbeitsgruppe II, sowie Dr. Ottmar Edenhofer, Dr. Ramón Pichs-Madruga und Dr. Youba Sokona, Ko-Vorsitzende von Arbeitsgruppe III. Ihre Kooperation bei Fragen hinsichtlich der Erkenntnisse aus den Berichten aller drei Arbeitsgruppen hat wesentlich zu der Erstellung eines Schlussdokumentes von höchster Qualität beigetragen.

Wir möchten auch Fredolin Tangang, David Wratt, Eduardo Calvo, José Moreno, Jim Skea und Suzana Kahn Ribeiro danken, die als Begutachtungsedatoren während des Genehmigungsverfahrens des SYR tätig waren und sichergestellt haben, dass die Überarbeitungen in der SPM in dem ausführlichen Bericht korrekt wiedergegeben wurden. Ihre wichtige Arbeit garantierte den hohen Grad an Vertrauen zwischen den Wissenschaftlern und den Regierungen und ermöglichte ihnen eine reibungslose Arbeit in Symbiose, was ein einzigartiges Merkmal des IPCC und seiner Glaubwürdigkeit darstellt.

Wir bedanken uns zutiefst für die Schaffensfreude, das Engagement und die professionellen Beiträge von Gian-Kasper Plattner, Melinda Tignor und Judith Boschung aus der Geschäftsstelle von Arbeitsgruppe I, Katie Mach und Eren Bilir aus der Geschäftsstelle von Arbeitsgruppe II, Ellie Farahani, Jussi Savolainen und Steffen Schlömer aus der Geschäftsstelle von Arbeitsgruppe III und Gerrit Hansen vom Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung während der Verabschiedungssitzung des SYR, die mit der Geschäftsstelle für den Syntheseberichts als Team zusammengearbeitet haben, was für das Gelingen der Sitzung unentbehrlich war. Ein besonderer Dank geht an Adrien Michel aus der

Geschäftsstelle von Arbeitsgruppe I für seine Arbeit an den Abbildungen des SYR.

Unser Dank geht an Leo Meyer, Leiter der Geschäftsstelle für den Synthesebericht und die Mitglieder der Geschäftsstelle, Sander Brinkman, Line van Kesteren, Noémie Leprince-Ringuet und Fijke van Boxmeer für die erweiterte Mobilisierung ihrer Kräfte und die Durchführung der Mammutaufgabe, die Entwicklung und Erstellung des SYR zu koordinieren. Jeder von ihnen hat unermüdliche Anstrengungen unternommen und ein hohes Engagement gezeigt, um die Erstellung eines herausragenden SYR zu ermöglichen.

Wir möchten den Mitarbeitern des IPCC-Sekretariats für ihre Arbeit und unzähligen erledigten Aufgaben bei der Erstellung, Freigabe und Veröffentlichung des Berichts danken: Gaetano Leone, Carlos Martin-Novella, Jonathan Lynn, Brenda Abrar-Milani, Jesbin Baidya, Laura Biagioni, Mary Jean Burer, Annie Courtin, Judith Ewa, Joelle Fernandez, Nina Peeva, Sophie Schlingemann, Amy Smith und Werani Zabula. Dank gebührt auch Francis Hayes und Elhousseine Gouaini, die die Veranstaltungsorganisation für die Verabschiedungssitzung übernommen hatten.

Wir sind den Regierungen derjenigen Mitgliedsstaaten des IPCC dankbar, die großzügigerweise das Scoping-Treffen des Syntheseberichts, vier unserer Hauptautoren-Sitzungen und die 40. Sitzung des IPCC ausgerichtet haben: Belgien, Norwegen, die Niederlande, Deutschland, Malaysia und Dänemark. Unser Dank gilt den Regierungen, der WMO, UNEP und dem UNFCCC für ihre Beiträge zum Treuhandfonds, der diverse Ausgaben unterstützt hat. Insbesondere danken wir den Regierungen von Norwegen und der Niederlande sowie dem Korea Energy Economics Institute für ihre großzügige finanzielle Unterstützung der SYR-Geschäftsstelle, sowie der Netherlands Environmental Assessment Agency PBL und dem The Energy and Resources Institute, Neu-Delhi für ihre Sachleistungen an die SYR-Geschäftsstelle. Wir bedanken uns auch für die Unterstützung durch die Gründungsorganisationen des IPCC, UNEP und WMO, und insbesondere bei der WMO als Sitz des IPCC-Sekretariats und als Ausrichter unseres ersten Treffens des Hauptautorenteam. Unser tiefer Dank gilt dem UNFCCC für seine Kooperation auf diversen Etappen dieser Unternehmung und für die unserer Arbeit in vielen geeigneten Foren beigemessene Bedeutung.



R.K. Pachauri  
Vorsitzender des IPCC



Renate Christ  
Leiterin des IPCC-Sekretariats



## Widmung



**Stephen H. Schneider**  
(11. Februar 1945 – 19. Juli 2010)

Der Synthesebericht des Fünften Sachstandsberichts des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) ist dem Gedenken an Stephen H. Schneider gewidmet, einem der führenden Klimawissenschaftler unserer Zeit.

Steve Schneider, geboren in New York, studierter Plasmaphysiker, widmete sich vor fast 40 Jahren der Forschung im Bereich der Klimawissenschaften und arbeitete unermüdlich daran weiter, wobei er neues Wissen auf diesem Gebiet schuf und politische Entscheidungsträger sowie die Öffentlichkeit als Ganzes über das wachsende Problem des Klimawandels und Lösungen zum Umgang mit diesem informierte. Steve Schneider hat seine Ansichten stets unerschrocken und freimütig vertreten. Seine Überzeugungen erwachsen der Stärke seiner herausragenden wissenschaftlichen Fachkenntnis. Er war als Gründungsherausgeber der interdisziplinären Fachzeitschrift *Climatic Change* hoch angesehen und verfasste hunderte Bücher und Veröffentlichungen, viele davon unter Mitarbeit von Wissenschaftlern aus unterschiedlichen Fachrichtungen. Seine Verbindung mit dem IPCC begann mit dem Ersten Sachstandsbericht, der 1990 veröffentlicht wurde und eine wichtige Rolle für die wissenschaftliche Grundlage des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen gespielt hat. Anschließend war er Leitautor, Koordinierender Leitautor und fachlicher Gutachter für verschiedene Sachstandsberichte und Mitglied des Hauptautorenteams des Syntheseberichts zum Vierten Sachstandsbericht. Sein Leben und seine Leistungen waren Inspiration und Motivation für die Mitglieder des Hauptautorenteams dieses Berichts. Steve Schneiders Wissen stellte eine seltene Synthese unterschiedlicher Fachrichtungen dar, die unverzichtbarer Teil der Vielfalt sind, die zur Klimawissenschaft gehört.



# Inhaltsverzeichnis

Vorwort .....	v
Einleitung .....	vii
Widmung .....	xi

## SPM

<b>Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger .....</b>	<b>2</b>
SPM 1. Beobachtete Änderungen und deren Ursachen .....	2
SPM 2. Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen .....	8
SPM 3. Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung .....	17
SPM 4. Anpassung und Minderung .....	27

## Themen

<b>Einführung .....</b>	<b>35</b>
Box Einführung.1   Risiko und Management einer unsicheren Zukunft .....	36
Box Einführung.2   Kommunikation des Gewissheitsgrades von Bewertungsergebnissen .....	37

<b>Thema 1: Beobachtete Änderungen und deren Ursachen .....</b>	<b>39</b>
1.1 Beobachtete Änderungen im Klimasystem .....	40
1.1.1 Atmosphäre .....	40
1.1.2 Ozean .....	40
1.1.3 Kryosphäre .....	42
1.1.4 Meeresspiegel .....	42
Box 1.1   Jüngste Temperaturrende und ihre Auswirkungen .....	43
1.2 Vergangene und jüngste Treiber des Klimawandels .....	44
1.2.1 Natürliche und anthropogene Strahlungsantriebe .....	44
1.2.2 Aktivitäten des Menschen, die Emissionstreiber beeinflussen .....	45
1.3 Zuordnung von Klimaänderungen und Auswirkungen .....	48
1.3.1 Zuordnung von Klimaänderungen zu natürlichen Einflüssen und solcher des Menschen auf das Klimasystem .....	48
1.3.2 Beobachtete Auswirkungen, die der Klimaänderung zugeordnet werden .....	50
1.4 Extremereignisse .....	53
1.5 Exposition und Verwundbarkeit .....	54
1.6 Reaktionen des Menschen auf den Klimawandel: Anpassung und Minderung .....	55

<b>Thema 2: Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen .....</b>	<b>57</b>
2.1 Haupttreiber des zukünftigen Klimas und Projektionsgrundlage .....	58
Box 2.1   Fortschritte, Vertrauen und Unsicherheiten bei der Modellierung des Klimasystems der Erde .....	58
Box 2.2   Die Repräsentativen Konzentrationspfade .....	59

2.2	Projizierte Änderungen im Klimasystem .....	60
Box 2.3	Modelle und Methoden für die Abschätzung von Risiken, Verwundbarkeiten und Folgen des Klimawandels .....	60
2.2.1	Lufttemperatur .....	61
2.2.2	Wasserkreislauf .....	62
2.2.3	Ozean, Kryosphäre und Meeresspiegel .....	64
2.2.4	Kohlenstoffkreislauf und Biogeochemie .....	64
2.2.5	Reaktionen des Klimasystems .....	65
2.3	Zukünftige Risiken und Folgen eines sich ändernden Klimas .....	67
2.3.1	Ökosysteme und deren Leistungen in Ozeanen, entlang Küsten, an Land und in Süßwasser .....	67
2.3.2	Wasser-, Nahrungs- und urbane Systeme, Gesundheit des Menschen, Sicherheit und Existenzgrundlagen .....	73
Box 2.4	Gründe zur Besorgnis im Hinblick auf den Klimawandel .....	74
2.4	Klimawandel nach 2100, Irreversibilität und abrupte Änderungen .....	76
<b>Thema 3: Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung .....</b>		<b>79</b>
3.1	Grundlagen der Entscheidungsfindung zum Klimawandel .....	80
3.2	Durch Anpassung und Minderung verringerte Risiken des Klimawandels .....	81
Box 3.1	Die Grenzen der ökonomischen Bewertung von Risiken des Klimawandels .....	82
3.3	Eigenschaften von Anpassungspfaden .....	84
3.4	Eigenschaften von Minderungspfaden .....	86
Box 3.2	Treibhausgasmetriken und Minderungspfade .....	93
Box 3.3	Geoengineering-Technologien zur Kohlendioxidentnahme und zu Solar Radiation Management – Mögliche Funktionen, Optionen, Risiken und Status .....	95
3.5	Interaktionen zwischen Minderung, Anpassung und nachhaltiger Entwicklung .....	96
Box 3.4	Positive und negative Nebeneffekte .....	97
<b>Thema 4: Anpassung und Minderung .....</b>		<b>99</b>
4.1	Gemeinsame begünstigende Umstände und Grenzen für Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel .....	100
4.2	Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel .....	101
4.3	Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels .....	105
4.4	Politische Ansätze für Anpassung und Minderung, Technologie und Finanzierung .....	111
4.4.1	Internationale und regionale Kooperation bezüglich Anpassung und Minderung .....	111
4.4.2	Nationale und subnationale Maßnahmen .....	113
4.4.3	Technologieentwicklung und -transfer .....	117
4.4.4	Investition und Finanzierung .....	117
4.5	Zielkonflikte, Synergien und integrierte Maßnahmen .....	119

<b>Anhänge</b> .....	121
I. Nutzerhinweise .....	123
II. Glossar .....	125
III. Akronyme, chemische Symbole und wissenschaftliche Einheiten .....	141
IV. Hinweis auf Autoren, Begutachtungseditoren und Fachgutachter .....	145

## In diesem Bericht zitierte Quellen

Hinweise auf Material innerhalb dieses Berichts sind am Ende jedes Abschnittes in kursiven geschweiften Klammern *{}* gegeben.

In der Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger beziehen sich die Hinweise auf die Nummern der Abschnitte, Abbildungen, Tabellen und Boxen in der zugrundeliegenden Einführung bzw. den Themen dieses Syntheseberichts.

In der Einführung und den Themen des ausführlichen Berichts beziehen sich die Hinweise auf die Beiträge der Arbeitsgruppen I, II und III (WGI, WGIII, WGIII) zum Fünften Sachstandsbericht und anderen IPCC-Berichten (in kursiven geschweiften Klammern), oder auf andere Abschnitte des Syntheseberichts selbst (in runden Klammern).

Folgende Abkürzungen wurden verwendet:

SPM: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (*Summary for Policymakers*)

TS: Technische Zusammenfassung (*Technical Summary*)

ES: Kurzfassung eines Kapitels (*Executive Summary of a chapter*)

Nummern geben bestimmte Kapitel und Abschnitte eines Berichts an.

Weitere in diesem Synthesebericht zitierte IPCC-Berichte:

SREX: Sonderbericht über das Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel (*Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation*)

SRREN: Sonderbericht über Erneuerbare Energiequellen und die Minderung des Klimawandels (*Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation*)

AR4: Vierter Sachstandsbericht (*Fourth Assessment Report*)

**Klimaänderung 2014**

**Synthesebericht**

**Zusammenfassung**

**für politische**

**Entscheidungsträger**

## Einführung

Dieser Synthesebericht beruht auf den Berichten der drei Arbeitsgruppen des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC), einschließlich relevanter Sonderberichte. Als letzter Teil des Fünften IPCC-Sachstandsberichtes (AR5) bietet er eine integrierte Betrachtungsweise des Klimawandels.

Diese Zusammenfassung folgt der Struktur des ausführlichen Berichtes, der sich mit den folgenden Themen befasst: Beobachtete Änderungen und deren Ursachen; Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen; Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und nachhaltige Entwicklung; Anpassung und Minderung.

Im Synthesebericht ist der Gewissheitsgrad der wichtigsten Ergebnisse wie in den Arbeitsgruppenberichten und Sonderberichten gekennzeichnet. Er basiert auf der Einschätzung des zugrundeliegenden wissenschaftlichen Verständnisses durch das Autorenteam und wird als qualitatives Vertrauensniveau ausgedrückt (von *sehr gering* bis *sehr hoch*) und, wenn möglich, auch probabilistisch mit einer quantifizierten Wahrscheinlichkeitsangabe (von *besonders unwahrscheinlich* bis *praktisch sicher*)<sup>1</sup>. Wo angebracht, werden Befunde auch als Tatsachenaussagen ohne Unsicherheitsangaben formuliert.

Dieser Bericht enthält Informationen, die relevant sind im Hinblick auf Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC).

### SPM 1. Beobachtete Änderungen und deren Ursachen

**Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem ist klar und die jüngsten anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen sind die höchsten in der Geschichte. Die jüngsten Klimaänderungen hatten weitverbreitete Folgen für natürliche Systeme und solche des Menschen. {1}**

#### SPM 1.1 Beobachtete Änderungen im Klimasystem

**Die Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig und viele der seit den 1950er Jahren beobachteten Veränderungen waren vorher über Jahrzehnte bis Jahrtausende nie aufgetreten. Die Atmosphäre und der Ozean haben sich erwärmt, die Schnee- und Eismengen sind zurückgegangen und der Meeresspiegel ist angestiegen. {1.1}**

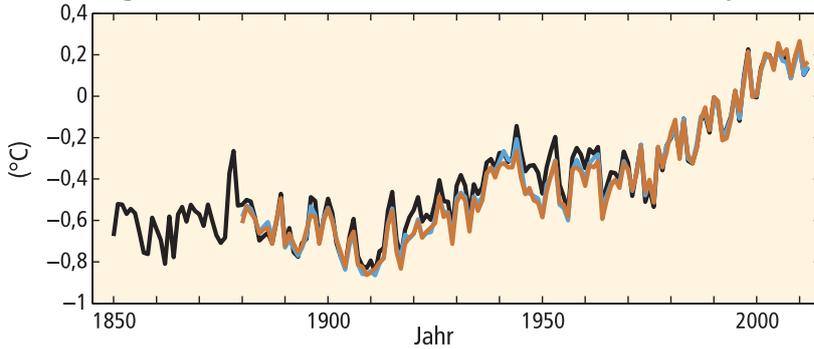
Jedes der letzten drei Jahrzehnte war an der Erdoberfläche sukzessive wärmer als alle vorangegangenen Jahrzehnte seit 1850. Der Zeitraum von 1983 bis 2012 war *wahrscheinlich* die wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 1400 Jahre auf der Nordhalbkugel, wo eine solche Bewertung möglich ist (*mittleres Vertrauen*). Die global gemittelten kombinierten Land- und Ozean-Oberflächentemperaturdaten, berechnet als linearer Trend, zeigen eine Erwärmung von 0,85 [0,65 bis 1,06] °C<sup>2</sup> über den Zeitraum 1880 bis 2012, für den mehrere unabhängig erstellte Datensätze vorliegen (Abbildung SPM.1a). {1.1.1, Abbildung 1.1}

Zusätzlich zur belastbaren Erwärmung über mehrere Jahrzehnte zeigt die mittlere globale Oberflächentemperatur erhebliche Schwankungen im Bereich von Jahren und Jahrzehnten (Abbildung SPM.1a). Aufgrund dieser natürlichen Variabilität sind

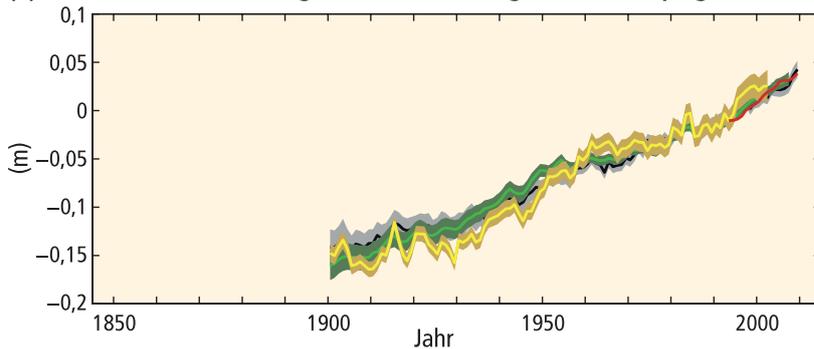
<sup>1</sup> Jede Aussage beruht auf einer Bewertung der zugrunde liegenden Belege und deren Übereinstimmung. In vielen Fällen ist durch die Synthese von Belegen und Übereinstimmung die Zuordnung eines Vertrauensgrads möglich. Die zusammenfassenden Ausdrücke für Belege lauten: begrenzt, mittelstark bzw. belastbar. Für den Grad der Übereinstimmung sind sie gering, mittel bzw. hoch. Das Vertrauensniveau wird unter Verwendung von fünf Stufen – sehr gering, gering, mittel, hoch und sehr hoch – und kursiv gedruckt dargestellt, z.B. *mittleres Vertrauen*. Die folgenden Begriffe wurden verwendet, um die mit einem Ergebnis oder einer Aussage verbundene Wahrscheinlichkeit zu beschreiben: praktisch sicher 99–100 % Wahrscheinlichkeit, sehr wahrscheinlich 90–100 %, wahrscheinlich 66–100 %, etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht 33–66 %, unwahrscheinlich 0–33 %, sehr unwahrscheinlich 0–10 %, besonders unwahrscheinlich 0–1 %. Zusätzliche Ausdrücke (äußerst wahrscheinlich 95–100 %, eher wahrscheinlich als nicht > 50–100 % und äußerst unwahrscheinlich 0–5 %) können auch verwendet werden, falls angebracht. Die bewertete Wahrscheinlichkeit ist kursiv gedruckt, z.B. *sehr wahrscheinlich*. Zu näheren Angaben siehe: Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe and F.W. Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva, Switzerland, 4 pp.

<sup>2</sup> Intervalle in eckigen Klammern oder Intervalle, die dem Zeichen '±' folgen, sind mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % verbunden, dass der geschätzte Wert in dem angegebenen Intervall liegt, sofern nicht anderweitig angegeben.

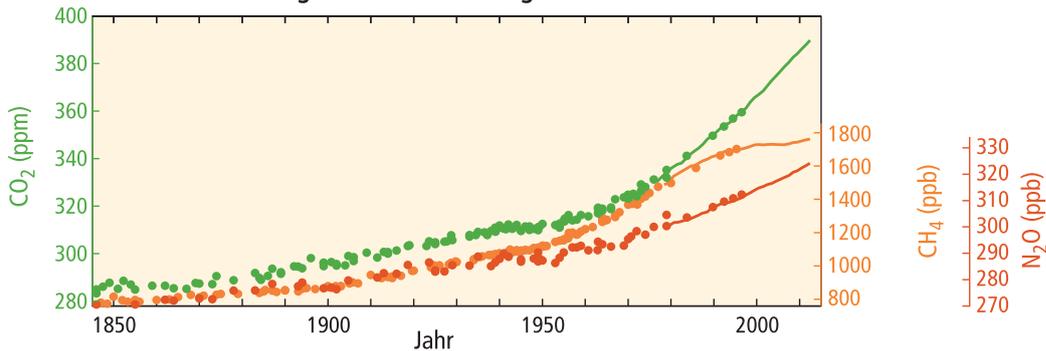
(a) Global gemittelte kombinierte Land- und Ozeanoberflächentemperatur-Anomalie



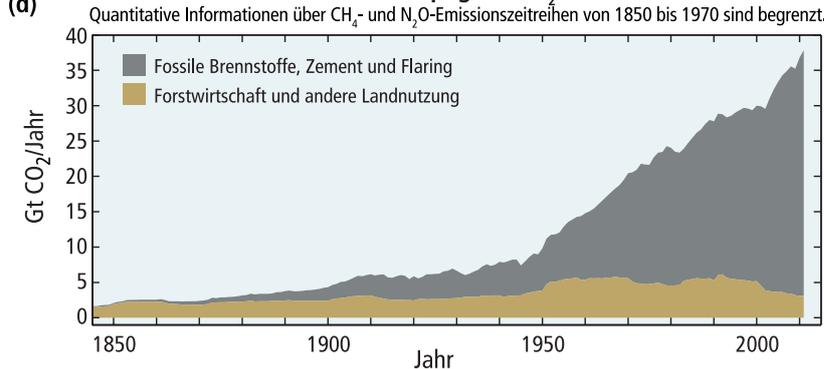
(b) Global gemittelte Änderung des Meeresspiegels



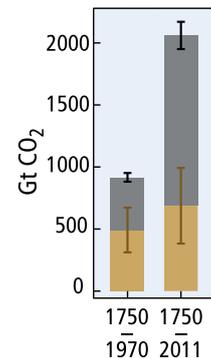
(c) Global gemittelte Treibhausgaskonzentrationen



(d) Globale anthropogene CO<sub>2</sub>-Emissionen



Kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen



**Abbildung SPM.1 | Die komplexe Beziehung zwischen den Beobachtungen (Tafeln a, b, c, gelber Hintergrund) und den Emissionen (Tafel d, hellblauer Hintergrund) wird in Abschnitt 1.2 und Thema 1 behandelt.** Beobachtungen und sonstige Indikatoren eines sich ändernden globalen Klimasystems. Beobachtungen: (a) Jährlich und global gemittelte kombinierte Land- und Meeresoberflächentemperatur-Anomalien, bezogen auf das Mittel des Zeitraums 1986 bis 2005. Die Farben geben unterschiedliche Datensätze an. (b) Jährlich und global gemittelte Meeresspiegelveränderung gegenüber dem Mittel des Zeitraums 1986 bis 2005 im längsten fortlaufenden Datensatz. Die Farben geben unterschiedliche Datensätze an. Alle Datensätze wurden so angeordnet, dass sie den gleichen Wert für 1993 aufweisen, dem ersten Jahr mit Satelliten-Höhenmessdaten (rot). Sofern bewertet, sind Unsicherheiten farbig schattiert dargestellt. (c) Atmosphärische Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>, grün), Methan (CH<sub>4</sub>, orange) und Lachgas (N<sub>2</sub>O, rot), ermittelt aus Eisbohrkern Daten (Punkte) und aus direkten atmosphärischen Messungen (Linien). Indikatoren: (d) Globale anthropogene CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Forstwirtschaft und anderer Landnutzung sowie aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, Zementproduktion und Flaring. Kumulative Emissionen von CO<sub>2</sub> aus diesen Quellen und deren Unsicherheiten sind als Balken bzw. Antenne auf der rechten Seite dargestellt. Die globalen Effekte der Anreicherung von CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O-Emissionen sind in Tafel c angegeben. Treibhausgasemissionsdaten von 1970 bis 2010 sind in Abbildung SPM.2 aufgeführt. [Abbildungen 1.1, 1.3, 1.5]

Trends, die auf kurzen Zeitreihen beruhen, sehr abhängig von ihren Anfangs- und Enddaten und geben im Allgemeinen nicht den langfristigen Klima-Trend wieder. Beispielsweise ist die Geschwindigkeit der Erwärmung über die letzten 15 Jahre (1998–2012; 0,05 [–0,05 bis 0,15] °C pro Jahrzehnt), die mit einem starken El Niño beginnt, kleiner als die seit 1951 berechnete Geschwindigkeit (1951–2012; 0,12 [0,08 bis 0,14] °C pro Jahrzehnt). {1.1.1, Box 1.1}

Die Erwärmung des Ozeans dominiert den Zuwachs der im Klimasystem gespeicherten Energie und macht mehr als 90 % der zwischen 1971 und 2010 akkumulierten Energie aus (*hohes Vertrauen*), während lediglich 1 % in der Atmosphäre gespeichert wurde. Global betrachtet ist die Erwärmung des Ozean nahe der Oberfläche am größten, und die obersten 75 m sind im Zeitraum von 1971 bis 2010 um 0,11 [0,09 bis 0,13] °C pro Jahrzehnt wärmer geworden. Es ist *praktisch sicher*, dass sich der obere Ozean (0–700 m) zwischen 1971 und 2010 erwärmt hat, und *wahrscheinlich*, dass er sich zwischen den 1870er Jahren und 1971 erwärmt hat. {1.1.2, Abbildung 1.2}

Gemittelt über die Landflächen der mittleren Breiten der Nordhemisphäre haben Niederschläge seit 1901 zugenommen (*mittleres Vertrauen* vor und *hohes Vertrauen* nach 1951). Für die flächengemittelten langfristigen positiven oder negativen Trends in anderen Breitengraden ist das *Vertrauen gering*. Beobachtungen von Veränderungen des Salzgehalts an der Meeresoberfläche liefern zusätzlich indirekte Belege für Veränderungen im globalen Wasserkreislauf über dem Ozean (*mittleres Vertrauen*). Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass seit den 1950er Jahren Regionen mit hohem Salzgehalt, in denen die Verdunstung überwiegt, salziger geworden sind, während Regionen mit niedrigem Salzgehalt, in denen Niederschläge überwiegen, weniger salzig geworden sind. {1.1.1, 1.1.2}

Seit Beginn der industriellen Zeit hat die Aufnahme von CO<sub>2</sub> durch den Ozean zu einer Versauerung des Ozeans geführt; der pH-Wert des Meeresoberflächenwassers hat um 0,1 abgenommen (*hohes Vertrauen*). Dies entspricht einem Anstieg des Säuregehalts, gemessen als Wasserstoffionen-Konzentration, um 26 %. {1.1.2}

Über den Zeitraum von 1992 bis 2011 haben der Grönländische und der Antarktische Eisschild an Masse verloren (*hohes Vertrauen*), *wahrscheinlich* mit einer höheren Geschwindigkeit zwischen 2002 und 2011. Die Gletscher sind fast überall in der Welt weiter abgeschmolzen (*hohes Vertrauen*). Die Ausdehnung der Schneebedeckung in der Nordhemisphäre im Frühjahr hat weiter abgenommen (*hohes Vertrauen*). Es besteht *hohes Vertrauen* darin, dass die Permafrost-Temperaturen in den meisten Regionen seit den frühen 1980er Jahren in Reaktion auf die gestiegene Oberflächentemperatur und die veränderte Schneebedeckung angestiegen sind. {1.1.3}

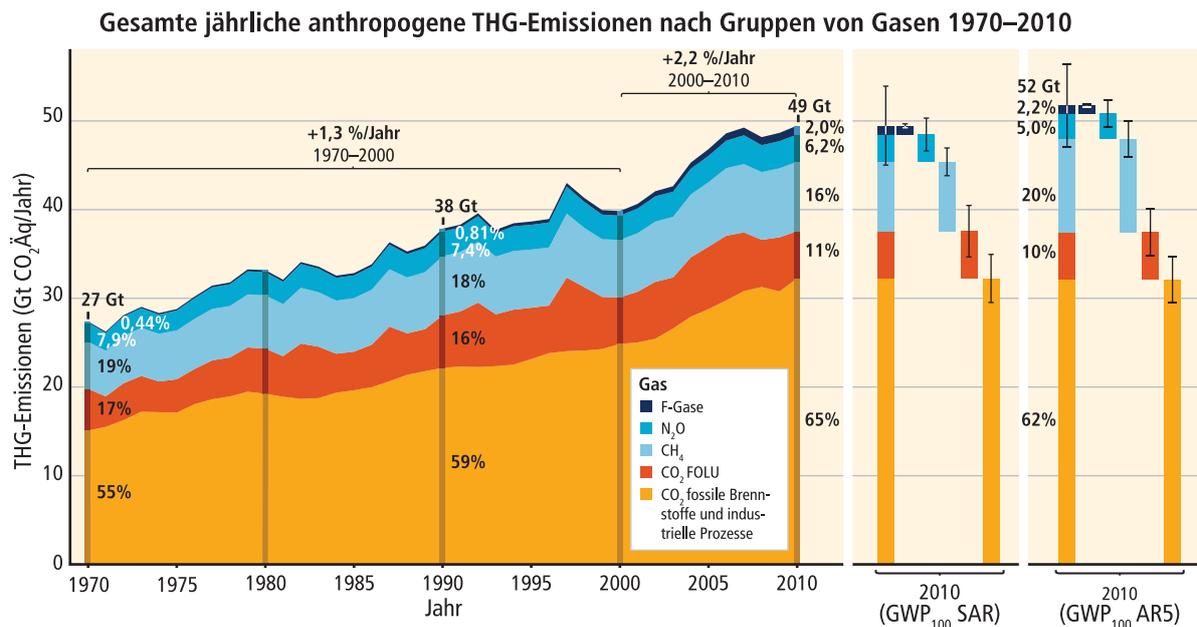
Die mittlere jährliche Ausdehnung des arktischen Meereises hat im Zeitraum von 1979 bis 2012 mit einer Geschwindigkeit abgenommen, die *sehr wahrscheinlich* im Bereich von 3,5 bis 4,1 % pro Jahrzehnt lag. Die Ausdehnung des arktischen Meereises ist in jeder Jahreszeit und seit 1979 von Jahrzehnt zu Jahrzehnt zurückgegangen, wobei die höchste Rückgangsgeschwindigkeit beim Zehnjahresmittel der Ausdehnung im Sommer zu finden ist (*hohes Vertrauen*). Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass die mittlere jährliche Ausdehnung des antarktischen Meereises zwischen 1979 und 2012 mit einer Geschwindigkeit im Bereich von 1,2 bis 1,8 % pro Jahrzehnt zugenommen hat. Es besteht jedoch *hohes Vertrauen*, dass es starke regionale Unterschiede in der Antarktis gibt, mit einer Zunahme der Ausdehnung in einigen Regionen und einer Abnahme in anderen. {1.1.3, Abbildung 1.1}

Im Zeitraum von 1901 bis 2010 ist der mittlere globale Meeresspiegel um 0,19 [0,17 bis 0,21] m (Abbildung SPM.1b) gestiegen. Die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs seit Mitte des 19. Jahrhunderts war größer als die mittlere Geschwindigkeit in den vorangegangenen zwei Jahrtausenden (*hohes Vertrauen*). {1.1.4, Abbildung 1.1}

### SPM 1.2 Ursachen des Klimawandels

**Die anthropogenen Treibhausgasemissionen sind seit der vorindustriellen Zeit angestiegen, hauptsächlich angetrieben durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, und sind nun höher als jemals zuvor. Dies hat zu atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas geführt, wie sie seit mindestens 800 000 Jahren noch nie vorgekommen sind. Ihre Auswirkungen wurden, in Kombination mit denen anderer anthropogener Treiber, im gesamten Klimasystem nachgewiesen und es ist äußerst wahrscheinlich, dass sie die Hauptursache der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts sind. {1.2, 1.3.1}**

Die anthropogenen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) seit vorindustrieller Zeit haben zu hohen Anstiegen der atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) geführt (Abbildung SPM.1c). Zwi-



**Abbildung SPM.2** | Gesamte jährliche anthropogene Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) (Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr, Gt CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr) für den Zeitraum 1970 bis 2010 aufgeschlüsselt nach Gasen: CO<sub>2</sub> aus der Nutzung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen; CO<sub>2</sub> aus Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (FOLU); Methan (CH<sub>4</sub>); Lachgas (N<sub>2</sub>O); im Kyoto-Protokoll erfasste fluorierte Gase (F-Gase). Die rechte Seite zeigt die Emissionen im Jahr 2010, unter Verwendung alternativer Gewichtungen für die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen, basierend auf Werten aus dem Zweiten Sachstandsbericht (SAR) und den AR5-Werten. Soweit nicht anders angegeben, beinhalten CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen in diesem Bericht die Gruppe der Kyoto-Gase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O sowie F-Gase), berechnet auf der Grundlage von Werten des Globalen Erwärmungspotenzials bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren (Global Warming Potential - GWP<sub>100</sub>) aus dem SAR (siehe Glossar). Die Verwendung der aktuellsten GWP<sub>100</sub>-Werte aus dem AR5 (rechte Balken) würde durch den gestiegenen Beitrag von Methan zwar zu höheren jährlichen Gesamt-THG-Emissionen führen (52 Gt CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr), ändert den langfristigen Trend jedoch nicht signifikant. {Abbildung 1.6, Box 3.2}

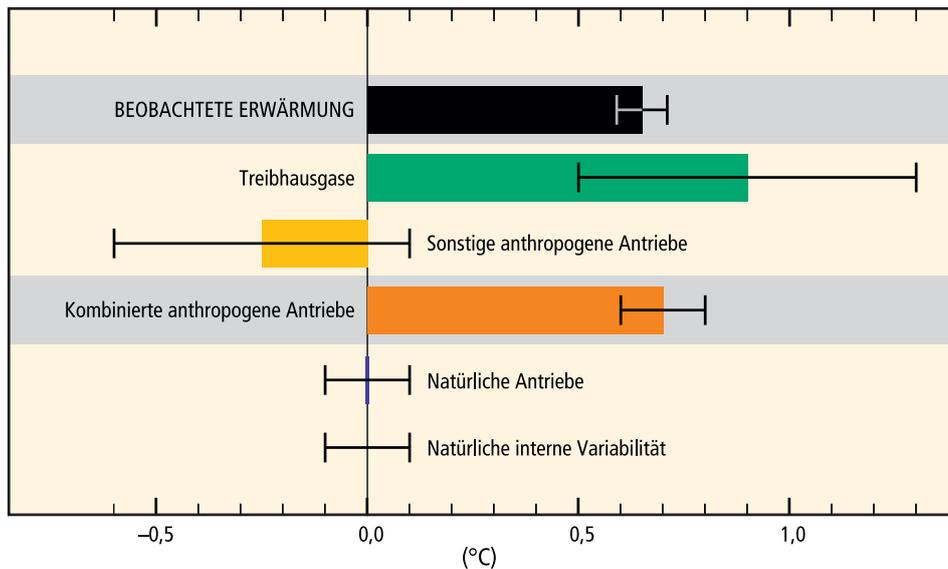
schon 1750 und 2011 beliefen sich die kumulativen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in die Atmosphäre abgegeben wurden, auf  $2.040 \pm 310$  Gt CO<sub>2</sub>. Etwa 40 % dieser Emissionen sind in der Atmosphäre verblieben ( $880 \pm 35$  Gt CO<sub>2</sub>), der Rest wurde der Atmosphäre entzogen und an Land (in Pflanzen und Böden) sowie im Ozean gespeichert. Der Ozean hat etwa 30 % des ausgestoßenen anthropogenen CO<sub>2</sub> aufgenommen, was eine Versauerung der Ozeane verursacht hat. Etwa die Hälfte der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1750 und 2011 erfolgte in den letzten 40 Jahren (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.1d). {1.2.1, 1.2.2}

Die gesamten anthropogenen THG-Emissionen sind von 1970 bis 2010 weiter gestiegen, mit höheren absoluten Anstiegen zwischen 2000 und 2010, trotz einer wachsenden Anzahl von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels. Im Jahr 2010 haben die anthropogenen THG-Emissionen einen Wert von  $49 \pm 4,5$  Gt CO<sub>2</sub>-Äq pro Jahr<sup>3</sup> erreicht. Der Beitrag von CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen zum gesamten Anstieg der THG-Emissionen betrug zwischen 1970 und 2010 ca. 78 %; für den Zeitraum 2000 bis 2010 war der prozentuale Beitrag zum Anstieg ähnlich (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2). Auf globaler Ebene waren weiterhin Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum die wichtigsten Treiber für den Anstieg von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Der Beitrag des Bevölkerungswachstums zwischen 2000 und 2010 entsprach ungefähr dem der vorangegangenen drei Jahrzehnte, während der Beitrag des Wirtschaftswachstums stark gestiegen ist. Die gestiegene Nutzung von Kohle hat den langanhaltenden Trend einer allmählichen Dekarbonisierung (d.h. Verringerung der Kohlenstoffintensität von Energie) der weltweiten Energieversorgung umgekehrt (*hohes Vertrauen*). {1.2.2}

Die Belege für den Einfluss des Menschen auf das Klimasystem haben seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) zugenommen. Es ist *äußerst wahrscheinlich*, dass mehr als die Hälfte des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Oberflächentemperatur von 1951 bis 2010 durch den anthropogenen Anstieg der Treibhausgaskonzentrationen zusammen mit anderen anthropogenen Antrieben verursacht wurde. Die beste Schätzung des vom Menschen verursachten Beitrages zur Erwärmung entspricht etwa der beobachteten Erwärmung in diesem Zeitraum (Abbildung SPM.3). In allen kontinentalen Regionen mit

<sup>3</sup> Treibhausgasemissionen werden als CO<sub>2</sub>-Äquivalente (Gt CO<sub>2</sub>-Äq) Emissionen quantifiziert, wobei die Gewichtungen auf Werten des Globalen Erwärmungspotenzials bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren aus dem Zweiten Sachstandsbericht des IPCC basieren, sofern nicht anders angegeben. {Box 3.2}

Beiträge zur beobachteten Veränderung der Oberflächentemperatur über den Zeitraum 1951–2010



**Abbildung SPM.3** | Abgeschätzte *wahrscheinliche* Bandbreiten (durch Antennen gekennzeichnet) und deren Mittelpunkte (Balken) für Erwärmungstrends über den Zeitraum 1951–2010 durch gut durchmischte Treibhausgase, sonstige anthropogene Antriebe (darunter der Abkühlungseffekt durch Aerosole und die Auswirkungen von Landnutzungsänderung), kombinierte anthropogene Antriebe, natürliche Antriebe und natürliche interne Klimavariabilität (der Teil der Klimavariabilität, der sogar ohne Antriebe spontan innerhalb des Klimasystems auftritt). Die beobachtete Änderung der Oberflächentemperatur ist schwarz dargestellt, mit einem Unsicherheitsbereich von 5 bis 95 % aufgrund der Unsicherheiten in den Beobachtungen. Für die Bandbreiten der den jeweiligen Antrieben zugeordneten Erwärmung (farbig) wurden Beobachtungen mit Klimamodellsimulationen kombiniert, um den Beitrag jedes einzelnen äußeren Antriebs zur beobachteten Erwärmung abzuschätzen. Der Beitrag der kombinierten anthropogenen Antriebe kann mit einer geringeren Unsicherheit geschätzt werden als die separate Schätzung der Beiträge von Treibhausgasen und von anderen anthropogenen Antrieben. Der Grund dafür ist, dass sich diese beiden Beiträge teilweise ausgleichen, wodurch sich das resultierende Signal durch Beobachtungen besser eingrenzen lässt. *{Abbildung 1.9}*

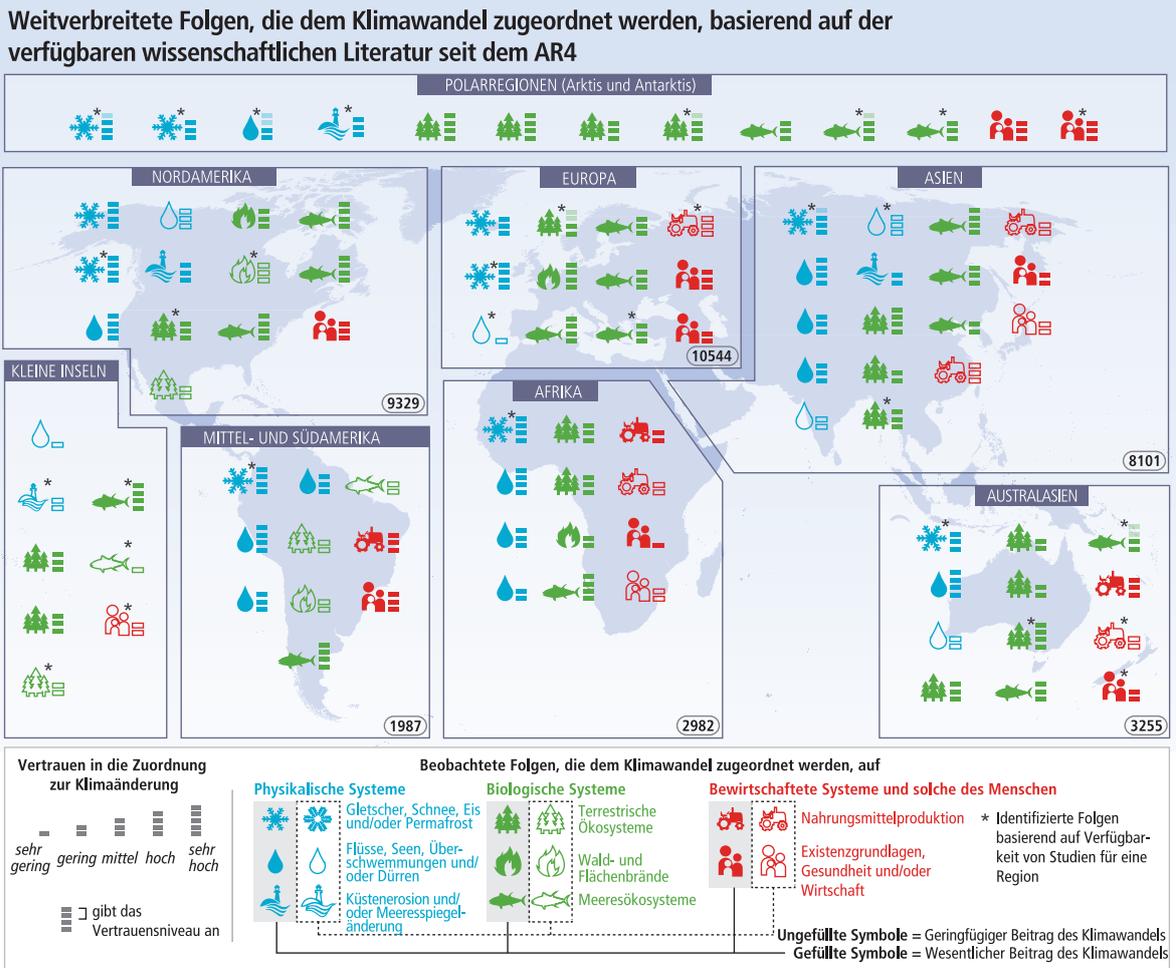
Ausnahme der Antarktis haben anthropogene Antriebe *wahrscheinlich* wesentlich zum Anstieg der Oberflächentemperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts beigetragen<sup>4</sup>. Anthropogene Einflüsse haben *wahrscheinlich* den globalen Wasserkreislauf seit 1960 beeinflusst und zu einem Rückzug der Gletscher seit den 1960er Jahren und zum zunehmenden Schmelzen der Oberfläche des Grönland-Eisschildes seit 1993 beigetragen. Anthropogene Einflüsse haben *sehr wahrscheinlich* zu einem Rückgang des arktischen Meereises seit 1979 beigetragen und *sehr wahrscheinlich* wesentlich zum seit den 1970er Jahren beobachteten Anstieg des Wärmegehalts des oberen Ozeans (0–700 m) und des mittleren globalen Meeresspiegels beigetragen. *{1.3, Abbildung 1.10}*

**SPM 1.3 Folgen des Klimawandels**

**In den letzten Jahrzehnten haben Klimaänderungen Folgen für natürliche Systeme und solche des Menschen auf allen Kontinenten und überall in den Ozeanen gehabt. Diese Folgen sind auf den beobachteten Klimawandel zurückzuführen, unabhängig von dessen Ursache; sie zeigen die Empfindlichkeit natürlicher Systeme und solcher des Menschen gegenüber dem sich ändernden Klima. *{1.3.2}***

Die stärksten und umfassendsten Belege für Folgen des Klimawandels gibt es hinsichtlich der natürlichen Systeme. In vielen Regionen verändern sich hydrologische Systeme durch Änderungen der Niederschläge oder das Schmelzen von Schnee und Eis, was die Quantität und Qualität von Wasserressourcen beeinträchtigt (*mittleres Vertrauen*). Viele terrestrische, Süßwasser- sowie marine Arten haben ihre geographischen Verbreitungsgebiete, jahreszeitlichen Aktivitäten, Migrationsmuster, Populationsgrößen und Interaktionen zwischen den Arten in Reaktion auf den anhaltenden Klimawandel verändert (*hohes Vertrauen*). Einige Folgen für Systeme des Menschen sind ebenfalls dem Klimawandel zugeordnet worden, wobei sich mal ein wesentlicher, mal ein geringer Beitrag des Klimawandels von anderen Einflüssen unterscheiden lässt (Abbildung SPM.4).

<sup>4</sup> Für die Antarktis führen große Unsicherheiten in den Beobachtungen zu einem *geringen Vertrauen* in die Aussage, dass anthropogene Antriebe zur beobachteten, über die verfügbaren Stationen gemittelten Erwärmung beigetragen haben.



**Abbildung SPM.4 |** Ausgehend von der seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) verfügbaren wissenschaftlichen Literatur wurden wesentlich mehr Folgen der jüngsten Jahrzehnte nun dem Klimawandel zugeordnet. Eine Zuordnung erfordert definierte wissenschaftliche Belege für die Rolle des Klimawandels. Die Abwesenheit von zusätzlichen, dem Klimawandel zugeordneten Folgen auf der Karte bedeutet nicht, dass solche Folgen nicht aufgetreten wären. Die Veröffentlichungen, auf denen die Zuordnung der Folgen zum Klimawandel basiert, spiegeln die wachsende Wissensbasis wieder. Jedoch gibt es für einige Regionen, Systeme und Prozesse noch immer nur wenige Veröffentlichungen und dies wird an den Lücken in Daten und Studien deutlich. Symbole kennzeichnen die Kategorien der zugeordneten Folgen, den relativen Beitrag des Klimawandels (wesentlich oder geringfügig) zu der beobachteten Folge und das Vertrauen in die Zuordnung. Jedes Symbol bezieht sich auf einen oder mehrere Einträge in WGII Tabelle SPM.A1, wobei die Folgen auf regionaler Ebene gruppiert wurden. Die oval eingerahmten Zahlen geben für die jeweilige Region die Gesamtanzahl der Publikationen zum Klimawandel von 2001 bis 2010 an, bei denen einzelne Länder in Titel, Abstract oder Schlüsselwörtern genannt werden, basierend auf der bibliographischen Datenbank „Scopus“ für Veröffentlichungen in englischer Sprache (Stand: Juli 2011). Diese Zahlen dienen als allgemeines Maß der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur zum Klimawandel in den verschiedenen Regionen; sie geben nicht die Anzahl von Veröffentlichungen an, auf denen die Zuordnung von Folgen des Klimawandels in der entsprechenden Region beruht. Studien für Polargebiete und kleine Inseln sind bei den benachbarten Kontinentalregionen eingruppiert. Die Einbeziehung von Veröffentlichungen für eine Abschätzung und Bewertung der Zuordnung einer Folge zum Klimawandel folgte den wissenschaftlichen Belegkriterien wie in WGII, Kapitel 18 definiert. Die Veröffentlichungen, die insgesamt für die Zuordnungsanalyse betrachtet wurden, entstammen einer breiteren, in WGII AR5 betrachteten Literaturbasis. Siehe WGII, Tabelle SPM.A2 zu Beschreibungen der zugeordneten Folgen. (Abbildung 1.11)

Laut vieler Studien, die eine große Bandbreite an Regionen und Nutzpflanzen abdecken, hat sich der Klimawandel häufiger negativ als positiv auf Ernteerträge ausgewirkt (*hohes Vertrauen*). Einige Folgen der Ozeanversauerung für marine Organismen wurden Einflüssen des Menschen zugeordnet (*mittleres Vertrauen*). {1.3.2}

**SPM 1.4 Extremereignisse**

Seit ca. 1950 wurden Veränderungen vieler extremer Wetter- und Klimaereignisse beobachtet. Einige dieser Veränderungen wurden mit Einflüssen des Menschen in Verbindung gebracht, darunter ein Rückgang kalter Temperaturextreme, ein Anstieg warmer Temperaturextreme, eine Zunahme extrem hoher Meeresspiegel und ein Anstieg der Anzahl von Starkniederschlagsereignissen in etlichen Regionen. {1.4}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass auf globaler Ebene die Anzahl der kalten Tage und Nächte zurückgegangen und die Anzahl der warmen Tage und Nächte gestiegen ist. Es ist *wahrscheinlich*, dass die Häufigkeit von Hitzewellen in weiten Teilen Europas, Asiens und Australiens zugenommen hat. Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass der Einfluss des Menschen zu den beobachteten globalen Veränderungen der Häufigkeit und Intensität von täglichen Temperaturextremen seit Mitte des 20. Jahrhunderts beigetragen haben. Es ist *wahrscheinlich*, dass der Einfluss des Menschen die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hitzewellen in einigen Gegenden mehr als verdoppelt hat. Es besteht *mittleres Vertrauen*, dass die beobachtete Erwärmung hitzebedingte Todesfälle vermehrt und kältebedingte Todesfälle in einigen Regionen verringert hat. {1.4}

Es gibt *wahrscheinlich* mehr Landgebiete, in denen die Anzahl von Starkniederschlagsereignissen gestiegen ist als solche, in denen sie abgenommen hat. Der jüngste Nachweis zunehmender Trends extremer Niederschläge und Abflüsse in einigen Wassereinzugsgebieten bedeutet höhere Überschwemmungsrisiken auf regionaler Ebene (*mittleres Vertrauen*). Es ist *wahrscheinlich*, dass extreme Meeresspiegel (wie sie z.B. bei Sturmfluten auftreten) seit 1970 zugenommen haben, was hauptsächlich auf den Anstieg des mittleren Meeresspiegels zurückzuführen ist. {1.4}

Folgen jüngster extremer klimatischer Ereignisse wie Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen, Wirbelstürme und Wald- oder Flächenbrände, zeigen eine signifikante Verwundbarkeit und Exposition einiger Ökosysteme und vieler Systeme des Menschen gegenüber derzeitigen Klimaschwankungen (*sehr hohes Vertrauen*). {1.4}

## SPM 2. Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen

**Fortgesetzte Emissionen von Treibhausgasen werden eine weitere Erwärmung und langanhaltende Änderungen aller Komponenten des Klimasystems verursachen und damit die Wahrscheinlichkeit von schwerwiegenden, weitverbreiteten und irreversiblen Folgen für Menschen und Ökosysteme erhöhen. Eine Begrenzung des Klimawandels würde erhebliche und anhaltende Minderungen der Treibhausgasemissionen erfordern, wodurch – verbunden mit Anpassung – die Risiken des Klimawandels begrenzt werden können. {2}**

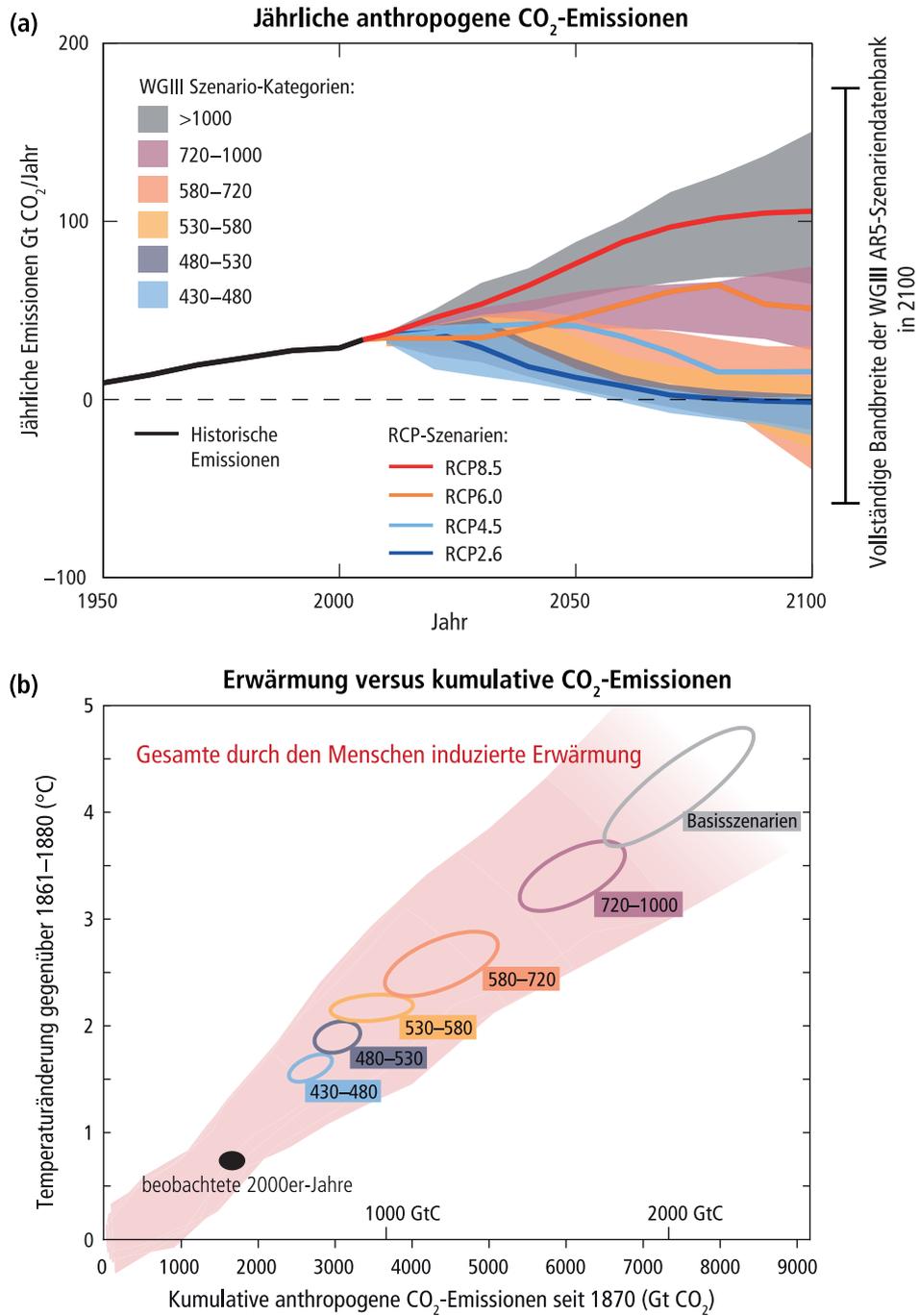
### SPM 2.1 Haupttreiber des zukünftigen Klimas

**Die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmen weitgehend die mittlere globale Erwärmung der Erdoberfläche bis zum späten 21. Jahrhundert und darüber hinaus. Projektionen von Treibhausgasemissionen unterscheiden sich erheblich, abhängig sowohl von sozioökonomischer Entwicklung als auch von Klimapolitik. {2.1}**

Anthropogene THG-Emissionen werden hauptsächlich durch Bevölkerungsgröße, wirtschaftliche Aktivität, Lebensstil, Energienutzung, Landnutzungsmustern, Technologie und Klimapolitik bestimmt. Die Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP), die für auf diesen Faktoren beruhende Projektionen genutzt werden, beschreiben vier unterschiedliche Pfade von THG-Emissionen und atmosphärischen Konzentrationen, Luftschadstoffemissionen und Landnutzung im 21. Jahrhundert. Die RCP beinhalten ein stringentes Minderungsszenario (RCP2.6), zwei dazwischenliegende Szenarien (RCP4.5 und RCP6.0) sowie ein Szenario mit sehr hohen THG-Emissionen (RCP8.5). Szenarien ohne zusätzliche Bemühungen, Emissionen zu beschränken („Basisszenarien“) führen zu Pfaden, die zwischen RCP6.0 und RCP8.5 liegen (Abbildung SPM.5a). RCP2.6 ist charakteristisch für ein Szenario, das darauf gerichtet ist, die globale Erwärmung *wahrscheinlich* unter 2 °C über der vorindustriellen Temperatur zu halten. Die RCP stehen im Einklang mit dem umfangreichen Spektrum von in der Literatur beschriebenen Szenarien, das von Arbeitsgruppe III bewertet wurde<sup>5</sup>. {2.1, Box 2.2, 4.3}

Mehrere Belegketten zeigen eine starke, konsistente, fast lineare Beziehung zwischen kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen und der projizierten globalen Temperaturveränderung bis zum Jahr 2100, sowohl in den RCP als auch in dem umfassenderen Spektrum von Minderungsszenarien, der in WGIII analysiert wurde (Abbildung SPM.5b). Jedes vorgegebene Erwärmungsniveau

<sup>5</sup> Ungefähr 300 Basisszenarien und 900 Minderungsszenarien werden anhand der CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Konzentration (CO<sub>2</sub>Äq) um 2100 kategorisiert. CO<sub>2</sub>Äq beinhaltet den Antrieb aufgrund aller THGs (einschließlich halogenierter Gase und troposphärischen Ozons), Aerosole und Albedoveränderungen.



**Abbildung SPM.5 |** (a) Emissionen von CO<sub>2</sub> allein in den Repräsentativen Konzentrationspfaden (RCP) (Linien) und die entsprechenden in WGIII verwendeten Szenariokategorien (farbige Flächen zeigen den 5 %- bis 95 %-Bereich). Die WGIII Szenariokategorien fassen die in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlichte Vielzahl von Emissionsszenarien zusammen und sind auf der Grundlage der CO<sub>2</sub>-Äq Konzentrationsniveaus (in ppm) im Jahr 2100 definiert. Die Zeitreihen anderer Treibhausgasemissionen sind in Box 2.2, Abbildung 1 dargestellt. (b) Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur zum Zeitpunkt, zu dem die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen eine vorgegebene kumulative Nettomenge erreichen, dargestellt als Funktion dieser Gesamtmenge, aus verschiedenen Belegketten. Die farbige Fläche gibt den Streubereich vergangener und zukünftiger Projektionen an, die von einer Hierarchie von Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modellen stammen, die von historischen Emissionen sowie den vier RCP über alle Zeiträume bis 2100 angetrieben wurden. Der Streubereich verblasst mit abnehmender Anzahl an verfügbaren Modellen. Ellipsen zeigen die gesamte anthropogene Erwärmung in 2100 gegen kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1870 bis 2100 aus einem einfachen Klimamodell (Median der Klimareaktion) für die in WGIII verwendeten Szenariokategorien. Die Breite der Ellipsen hinsichtlich der Temperatur ist durch die Auswirkung unterschiedlicher Nicht-CO<sub>2</sub>-Klimatreiber-Szenarien bestimmt. Die schwarz ausgefüllte Ellipse zeigt die beobachteten Emissionen bis 2005 und beobachtete Temperaturen im Jahrzehnt 2000–2009 mit den damit verbundenen Unsicherheiten. [Box 2.2, Abbildung 1; Abbildung 2.3]

ist verbunden mit einer Bandbreite kumulativer CO<sub>2</sub>-Emissionen<sup>6</sup> und daher bedeuten z. B. höhere Emissionen in früheren Jahrzehnten niedrigere Emissionen später. {2.2.5, Tabelle 2.2}

Multimodell-Ergebnisse zeigen, dass eine Begrenzung der gesamten durch den Menschen induzierten Erwärmung auf weniger als 2 °C gegenüber dem Zeitraum 1861–1880 mit einer Wahrscheinlichkeit von > 66 %<sup>7</sup> voraussetzen würde, dass die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus allen anthropogenen Quellen seit 1870 unterhalb von etwa 2900 Gt CO<sub>2</sub> bleiben (mit einer Bandbreite von 2550 bis 3150 Gt CO<sub>2</sub>, abhängig von den Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibern). Bis 2011 wurden bereits etwa 1900 Gt CO<sub>2</sub><sup>8</sup> ausgestoßen. Zu weiteren Zusammenhängen siehe Tabelle 2.2. {2.2.5}

## SPM 2.2 Projizierte Änderungen im Klimasystem

**Für alle bewerteten Emissionsszenarien wird ein Anstieg der Temperatur an der Erdoberfläche im Verlauf des 21. Jahrhunderts projiziert. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Hitzewellen häufiger auftreten und länger andauern werden und dass extreme Niederschlagsereignisse in vielen Regionen an Intensität und Häufigkeit zunehmen. Der Ozean wird sich weiterhin erwärmen und versauern, und der mittlere globale Meeresspiegel wird weiterhin ansteigen. {2.2}**

Die projizierten Änderungen in Abschnitt SPM 2.2 beziehen sich auf 2081–2100 im Vergleich zu 1986–2005, sofern nicht anderweitig angegeben.

Das zukünftige Klima wird sowohl von der unabwendbaren Erwärmung abhängen, die durch vergangene anthropogene Emissionen verursacht wird, als auch von zukünftigen anthropogenen Emissionen und natürlicher Klimavariabilität. Die Veränderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur für den Zeitraum 2016–2035 verglichen mit 1986–2005 ist in den vier RCP ähnlich und wird *wahrscheinlich* im Bereich von 0,3 °C bis 0,7 °C liegen (*mittleres Vertrauen*). Dies setzt voraus, dass keine größeren Vulkanausbrüche oder Veränderungen in einigen natürlichen Quellen (z.B. CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O) auftreten, oder unerwartete Veränderungen in der globalen Sonneneinstrahlung. Zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird das Ausmaß der projizierten Klimaänderung wesentlich von der Wahl des Emissionsszenarios beeinflusst. {2.2.1, Tabelle 2.1}

Verglichen mit dem Zeitraum 1850–1900 wird projiziert, dass die Änderung der globalen Erdoberflächentemperatur am Ende des 21. Jahrhunderts (2081–2100) für RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 *wahrscheinlich* 1,5 °C überschreiten wird (*hohes Vertrauen*). Die Erwärmung wird für RCP6.0 und RCP8.5 *wahrscheinlich* 2 °C überschreiten (*hohes Vertrauen*) und für RCP4.5 *eher wahrscheinlich als nicht* 2 °C überschreiten (*mittleres Vertrauen*), jedoch ist eine Überschreitung von 2 °C für RCP2.6 *unwahrscheinlich* (*mittleres Vertrauen*). {2.2.1}

Es ist *wahrscheinlich*, dass der Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur zum Ende des 21. Jahrhunderts (2081–2100) gegenüber 1986–2005 für RCP2.6 im Bereich 0,3 °C bis 1,7 °C liegen wird, sowie im Bereich 1,1 °C bis 2,6 °C für RCP4.5, im Bereich 1,4 °C bis 3,1 °C für RCP6.0 und im Bereich 2,6 °C bis 4,8 °C für RCP8.5<sup>9</sup>. Das Gebiet der Arktis wird sich weiterhin schneller erwärmen als das globale Mittel (Abbildung SPM.6a, Abbildung SPM.7a). {2.2.1, Abbildung 2.1, Abbildung 2.2, Tabelle 2.1}

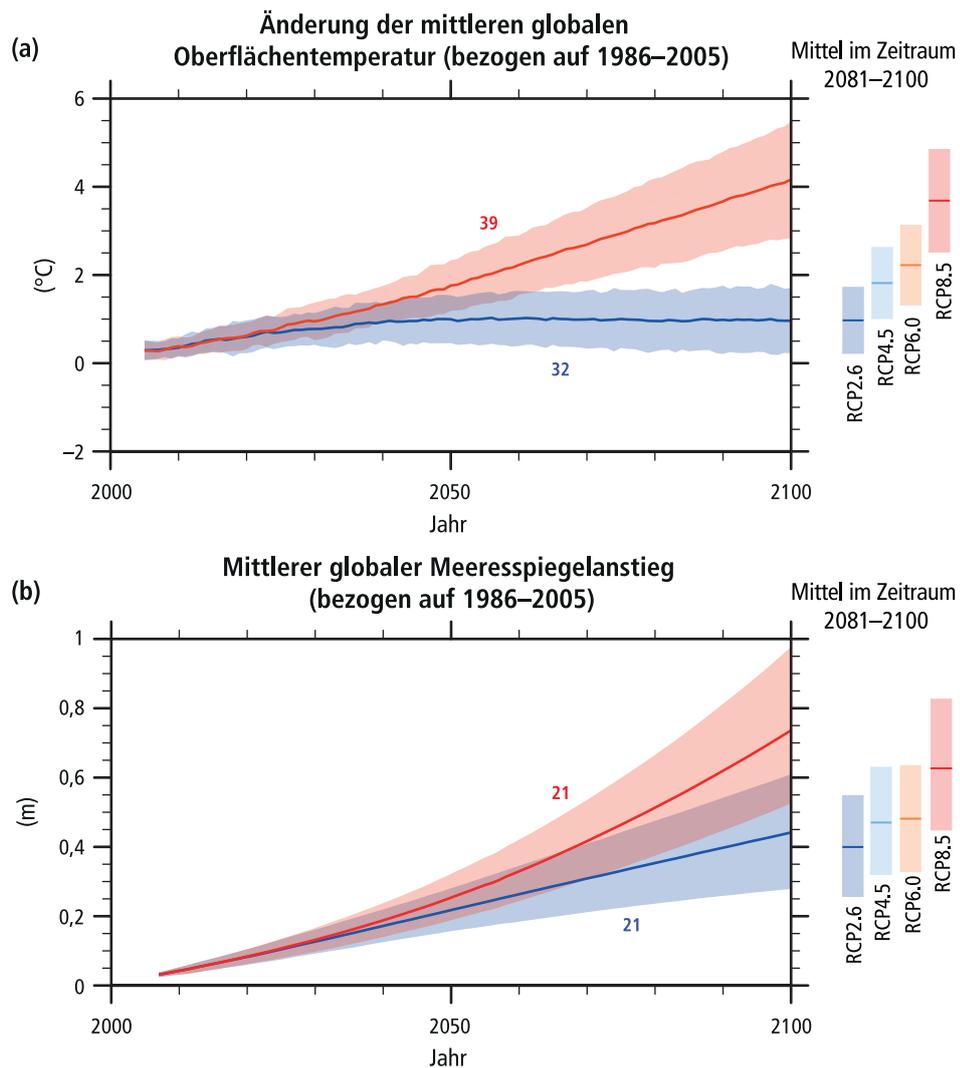
Es ist *praktisch sicher*, dass es mit dem Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur über den meisten Landflächen auf täglichen und jahreszeitlichen Zeitskalen häufigere heiße und weniger kalte Temperaturextreme geben wird. Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass Hitzewellen mit größerer Häufigkeit und längerer Dauer auftreten werden. Gelegentliche kalte Winterextreme werden weiterhin auftreten. {2.2.1}

<sup>6</sup> Eine Quantifizierung dieser Bandbreite an CO<sub>2</sub>-Emissionen erfordert die Berücksichtigung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibern.

<sup>7</sup> Entsprechende Zahlen für eine Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von > 50 % und > 33 % sind 3000 Gt CO<sub>2</sub> (Bandbreite von 2900 bis 3200 Gt CO<sub>2</sub>) bzw. 3300 Gt CO<sub>2</sub> (Bandbreite von 2950 bis 3800 Gt CO<sub>2</sub>). Höhere bzw. niedrigere Temperaturgrenzen würden entsprechend höhere beziehungsweise niedrigere kumulative Emissionen implizieren.

<sup>8</sup> Dies entspricht etwa zwei Dritteln von 2900 Gt CO<sub>2</sub>, welche die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von > 66 % auf weniger als 2 °C begrenzen würden, etwa 63 % der Gesamtmenge von 3000 Gt CO<sub>2</sub>, welche die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von > 50 % auf weniger als 2 °C begrenzen würden und etwa 58 % der Gesamtmenge von 3300 Gt CO<sub>2</sub>, welche die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von > 33 % auf weniger als 2 °C begrenzen würde.

<sup>9</sup> Der Zeitraum 1986–2005 ist etwa 0,61 [0,55 bis 0,67] °C wärmer als der Zeitraum 1850–1900. {2.2.1}

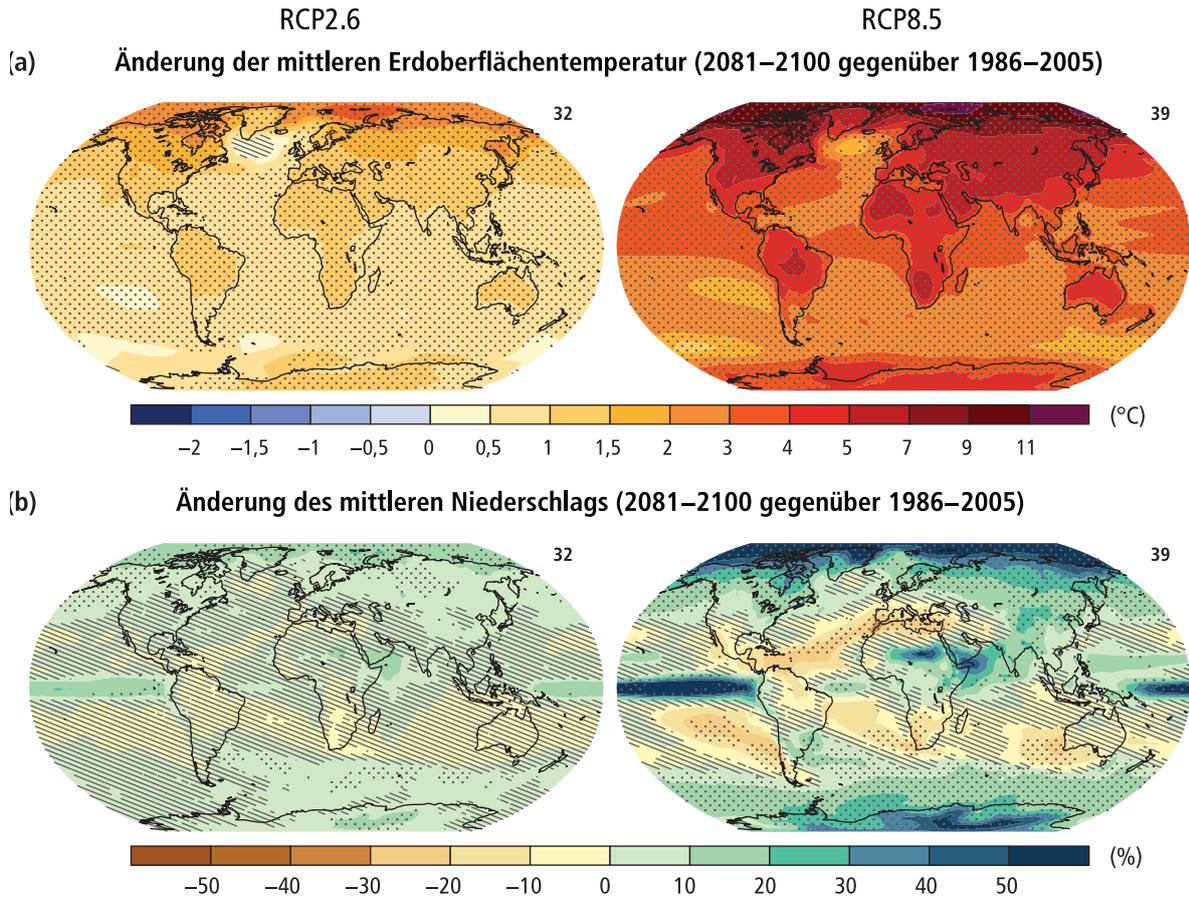


**Abbildung SPM.6** | Änderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur **(a)** und mittlerer globaler Meeresspiegelanstieg<sup>10</sup> **(b)** von 2006 bis 2100, wie durch Multimodell-Simulationen ermittelt. Alle Änderungen sind bezogen auf den Zeitraum 1986–2005. Die Zeitreihen der Projektionen und ein Maß für die Unsicherheit (Schattierung) sind für die Szenarien RCP2.6 (blau) und RCP8.5 (rot) dargestellt. Die über 2081–2100 gemittelten Mittel und dazugehörige Unsicherheiten sind für alle RCP-Szenarien als farbige senkrechte Balken auf der rechten Seite beider Grafiken dargestellt. Die Anzahl der für die Berechnung des Multimodell-Mittels verwendeten Modelle aus dem Gekoppelten Modellvergleichsprojekt Phase 5 (CMIP5) ist angegeben. {Box 2.2, Abbildung 2.1}

Niederschlagsänderungen werden nicht einheitlich sein. Für die hohen Breitengrade und den Äquatorialpazifik ist ein Anstieg des jährlichen Niederschlagsmittels unter dem RCP8.5-Szenario *wahrscheinlich*. In vielen trockenen Regionen der mittleren Breiten und Subtropen werden die mittleren Niederschläge *wahrscheinlich* abnehmen, während sie in vielen feuchten Regionen der mittleren Breiten unter dem RCP8.5-Szenario *wahrscheinlich* zunehmen werden (Abbildung SPM.7b). Extreme Niederschlagsereignisse werden über den meisten Landmassen der mittleren Breiten und über feuchten tropischen Regionen *sehr wahrscheinlich* an Häufigkeit und Intensität zunehmen. {2.2.2, Abbildung 2.2}

Der globale Ozean wird sich während des 21. Jahrhunderts weiter erwärmen, wobei die stärkste Erwärmung an der Oberfläche in den tropischen Regionen und in den Subtropen der nördlichen Hemisphäre projiziert wird (Abbildung SPM.7a). {2.2.3, Abbildung 2.2}

<sup>10</sup> Basierend auf dem gegenwärtigen Verständnis (aus Beobachtungen, physikalischem Verständnis und Modellierung) könnte nur im Falle der Auslösung eines Zusammenbruches von unter der Meeresoberfläche aufliegenden Teilen des Antarktischen Eisschildes ein mittlerer globaler Meeresspiegelanstieg verursacht werden, der wesentlich über dem *wahrscheinlichen* Bereich während des 21. Jahrhunderts liegt. Es besteht *mittleres Vertrauen*, dass dieser zusätzliche Beitrag einen Anstieg des Meeresspiegels um einige Dezimeter während des 21. Jahrhunderts nicht überschreiten würde.



**Abbildung SPM.7** | Änderung der mittleren Erdoberflächentemperatur **(a)** und Änderung des mittleren Niederschlags **(b)**, basierend auf Multimodell-Mittel-Projektionen für 2081–2100 gegenüber 1986–2005 für die Szenarien RCP2.6 (links) und RCP8.5 (rechts). Die Anzahl von Modellen, die zur Berechnung des Multimodell-Mittels herangezogen wurden, ist in der oberen rechten Ecke jeder Karte angegeben. Gepunktete Flächen kennzeichnen Regionen, in denen die projizierte Veränderung verglichen mit natürlicher interner Klimavariabilität groß ist und für die mindestens 90 % der Modelle im Vorzeichen der Veränderung übereinstimmen. Schraffierungen (d. h. diagonale Linien) kennzeichnen Regionen, in denen die projizierte Veränderung weniger als eine Standardabweichung der natürlichen internen Klimavariabilität beträgt. {2.2, Abbildung 2.2}

Erdsystemmodelle projizieren für alle RCP-Szenarien einen globalen Anstieg der Ozeanversauerung zum Ende des 21. Jahrhunderts, mit einer langsamen Erholung nach der Jahrhundertmitte unter RCP2.6. Die Abnahme des pH-Wertes im oberflächennahen Ozean liegt im Bereich von 0,06 bis 0,07 (Anstieg von 15 bis 17 % des Säuregrades) für RCP2.6, von 0,14 bis 0,15 (38 bis 41 %) für RCP4.5, von 0,20 bis 0,21 (58 bis 62 %) für RCP6.0 und 0,30 bis 0,32 (100 bis 109 %) für RCP8.5. {2.2.4, Abbildung 2.1}

Ganzjährige Reduktionen des arktischen Meereises werden für alle RCP-Szenarien projiziert. Ein nahezu eisfreier<sup>11</sup> Arktischer Ozean während des sommerlichen Minimums des Meereises im September ist beim RCP8.5<sup>12</sup> vor der Jahrhundertmitte *wahrscheinlich* (mittleres Vertrauen). {2.2.3, Abbildung 2.1}

Es ist *praktisch sicher*, dass die Ausdehnung des oberflächennahen Permafrosts in hohen nördlichen Breiten mit einem Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur abnehmen wird, wobei für die Fläche des oberflächennahen Permafrosts (obere 3,5 m) ein Rückgang um 37 % (RCP2.6) bis 81 % (RCP8.5) für das Multimodell-Mittel projiziert wird (mittleres Vertrauen). {2.2.3}

Für das globale Gletschervolumen, ausgenommen Gletscher an der Peripherie der Antarktis (und ohne den Grönländischen und den Antarktischen Eisschild) wird ein Rückgang um 15 bis 55 % für RCP2.6 und um 35 bis 85 % für RCP8.5 projiziert (mittleres Vertrauen). {2.2.3}

<sup>11</sup> Wenn die Ausdehnung des Meereises für mindestens fünf aufeinanderfolgende Jahre weniger als eine Million km<sup>2</sup> beträgt.

<sup>12</sup> Basierend auf einer Auswertung des Teilsatzes von Modellen, die den mittleren klimatologischen Zustand und den Trend der arktischen Meereisausdehnung zwischen 1979 und 2012 am genauesten reproduzieren.

Seit dem AR4 hat es signifikante Verbesserungen im Verständnis und der Projektion der Meeresspiegeländerungen gegeben. Der mittlere globale Meeresspiegel wird während des 21. Jahrhunderts weiter ansteigen, *sehr wahrscheinlich* mit höherer Geschwindigkeit als zwischen 1971 und 2010 beobachtet. Für den Zeitraum 2081–2100 gegenüber 1986–2005 wird der Anstieg *wahrscheinlich* in den Bereichen von 0,26 bis 0,55 m für RCP2.6 und von 0,45 bis 0,82 m für RCP8.5 liegen (*mittleres Vertrauen*)<sup>10</sup> (Abbildung SPM.6b). Der Meeresspiegelanstieg wird regional nicht gleichförmig sein. Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist ein Anstieg des Meeresspiegels in mehr als ca. 95 % der Ozeanfläche *sehr wahrscheinlich*. Für ca. 70 % der weltweiten Küstenlinien wird eine Meeresspiegeländerung innerhalb von  $\pm 20$  % des globalen Mittels projiziert. {2.2.3}

### SPM 2.3 Zukünftige Risiken und Folgen aufgrund eines sich ändernden Klimas

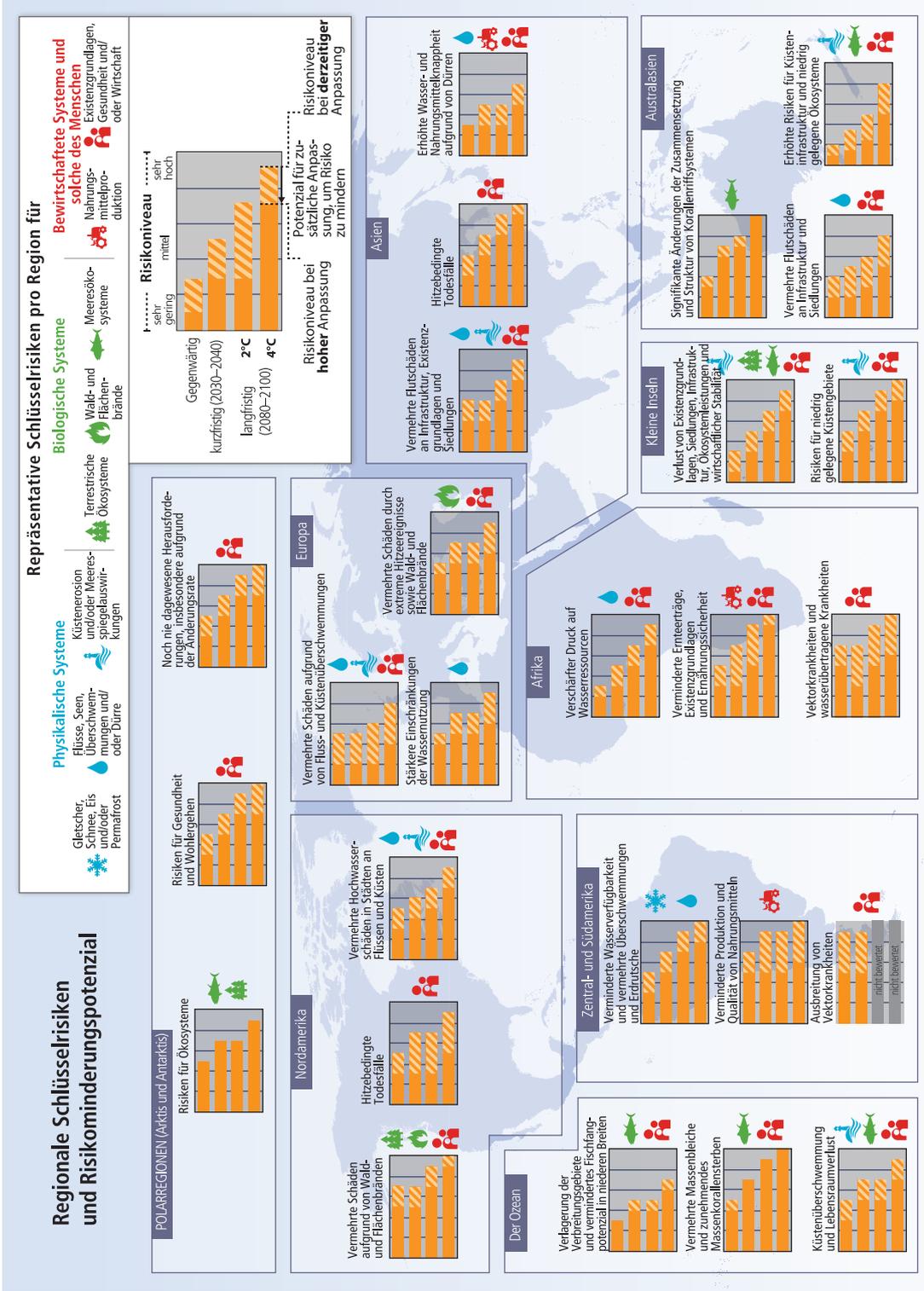
**Der Klimawandel wird bestehende Risiken verstärken und neue Risiken für natürliche Systeme und solche des Menschen hervorrufen. Die Risiken sind ungleichmäßig verteilt und im Allgemeinen größer für benachteiligte Menschen und Gemeinschaften in Ländern aller Entwicklungsstufen. {2.3}**

Das Risiko von klimabedingten Folgen resultiert aus der Wechselwirkung klimabedingter Gefährdungen (einschließlich gefährlicher Ereignisse und Trends) mit der Verwundbarkeit und Exposition natürlicher Systeme und solcher des Menschen, einschließlich deren Fähigkeit zur Anpassung. Die Zunahme von Geschwindigkeit und Ausmaß der Erwärmung und anderer Veränderungen des Klimasystems, einhergehend mit der Versauerung der Ozeane, erhöhen das Risiko schwerwiegender, weitverbreiteter und in einigen Fällen irreversibler schädlicher Folgen. Einige Risiken sind besonders relevant für einzelne Regionen (Abbildung SPM.8), während andere global sind. Die Gesamtrisiken zukünftiger Folgen des Klimawandels können durch eine Begrenzung der Geschwindigkeit und des Ausmaßes des Klimawandels, einschließlich der Versauerung der Ozeane, verringert werden. Der genaue Grad an Klimaänderung, der ausreicht, um abrupte und irreversible Änderungen auszulösen, bleibt unsicher; das mit der Überschreitung solcher Grenzen verbundene Risiko steigt jedoch mit höheren Temperaturen (*mittleres Vertrauen*). Für die Risikobewertung ist es wichtig, den größtmöglichen Bereich von Folgen zu bewerten, einschließlich von Ereignissen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit aber weitreichenden Konsequenzen. {1.5, 2.3, 2.4, 3.3, Box Einführung.1, Box 2.3, Box 2.4}

Ein großer Anteil biologischer Arten ist aufgrund des Klimawandels während des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus einem erhöhten Risiko des Aussterbens ausgesetzt, insbesondere da der Klimawandel mit anderen Stressfaktoren wechselwirkt (*hohes Vertrauen*). Die meisten Pflanzenarten können ihre geographischen Standorte auf natürliche Weise nicht schnell genug verlagern, um mit den derzeitigen und den hohen projizierten Geschwindigkeiten des Klimawandels in den meisten Landschaften Schritt zu halten; die Mehrheit der Kleinsäuger und Süßwassermollusken werden mit den unter RCP4.5 und darüber projizierten Geschwindigkeiten in flachen Landschaften in diesem Jahrhundert nicht mithalten können (*hohes Vertrauen*). Dass das zukünftige Risiko hoch sein wird, lässt sich aus der Beobachtung ableiten, dass während der vergangenen Jahrtausende natürliche globale Klimaveränderungen, welche langsamer abliefen als der derzeitige anthropogene Klimawandel, signifikante Ökosystemverschiebungen und Artensterben verursacht haben. Meeresorganismen werden einer fortschreitenden Abnahme des Sauerstoffgehalts sowie hohen Geschwindigkeiten und Ausmaßen von Ozeanversauerung ausgesetzt sein (*hohes Vertrauen*); damit verbundene Risiken werden verschärft durch den Anstieg von extremen Ozeantemperaturen (*mittleres Vertrauen*). Korallenriffe und polare Ökosysteme sind höchst verwundbar. Küstensysteme und niedrig gelegene Gebiete sind vom Meeresspiegelanstieg bedroht, der selbst nach einer Stabilisierung der mittleren globalen Temperatur für Jahrhunderte andauern wird (*hohes Vertrauen*). {2.3, 2.4, Abbildung 2.5}

Es wird projiziert, dass der Klimawandel die Ernährungssicherheit untergräbt (Abbildung SPM.9). Eine globale Neuverteilung der marinen Arten und ein Rückgang der meeresbiologischen Vielfalt in sensiblen Regionen aufgrund des bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus projizierten Klimawandels wird eine Herausforderung für die anhaltende Sicherung der Fischereiproduktivität und anderer Ökosystemdienstleistungen darstellen (*hohes Vertrauen*). Für Weizen, Reis und Mais in tropischen und gemäßigten Regionen wird projiziert, dass der Klimawandel ohne Anpassung sich bei einem Anstieg der lokalen Temperaturen von 2 °C oder mehr über das Niveau des ausgehenden 20. Jahrhunderts negativ auf die Produktion auswirken wird, auch wenn einzelne Standorte profitieren könnten (*mittleres Vertrauen*). Globale Temperaturanstiege von ~4 °C oder mehr<sup>13</sup> über das Niveau des späten 20. Jahrhunderts, kombiniert mit steigendem Nahrungsmittelbedarf, würden global hohe Risiken für die Ernährungssicherung aufwerfen (*hohes Vertrauen*). Projektionen zeigen, dass der Klimawandel die

<sup>13</sup> Die über Land gemittelte projizierte Erwärmung ist für alle RCP-Szenarien höher als die global gemittelte Erwärmung für den Zeitraum 2081–2100 gegenüber 1986–2005. Zu regionalen Projektionen, siehe Abbildung SPM.7. {2.2}

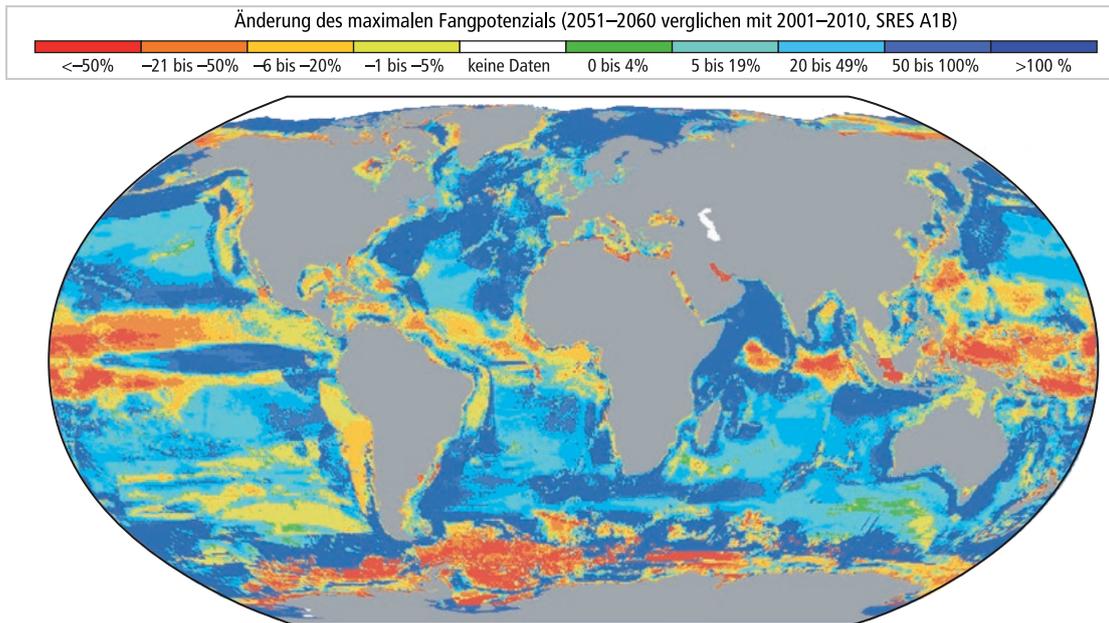


**Abbildung SPM.8 |** Repräsentative Schlüsselrisiken<sup>14</sup> für jede Region, einschließlich des Potenzials zur Risikominderung durch Anpassung und Klimaschutz, sowie Grenzen der Anpassung. Jedes Schlüsselrisiko wird als sehr gering, gering, mittel, hoch oder sehr hoch bewertet. Risikograde sind für drei Zeiträume dargestellt: gegenwärtig (hier: für 2030–2040) und langfristig (hier: für 2080–2100). Kurzfristig unterscheiden sich die projizierten Anstiege der mittleren globalen Temperatur in den verschiedenen Emissionsszenarien nicht wesentlich. Für den langfristigen Zeitraum sind Risikograde für zwei mögliche Zukunftsszenarien dargestellt (Anstieg der mittleren globalen Temperatur von 2 °C bzw. 4 °C über das vorindustrielle Niveau). Für jeden Zeitraum sind die Risikograde für die Fortführung der gegenwärtigen Anpassungsmaßnahmen sowie unter Annahme eines hohen Niveaus von derzeitiger bzw. zukünftiger Anpassung angegeben. Risikograde sind nicht notwendigerweise vergleichbar, insbesondere nicht über die Regionen hinweg. (Abbildung 2.4)

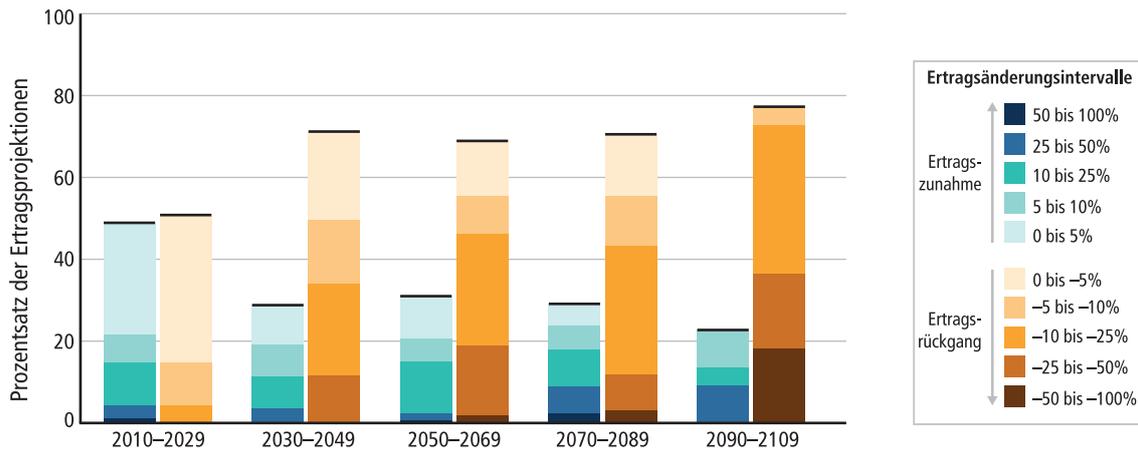
<sup>14</sup> Die Identifizierung von Schlüsselrisiken erfolgte auf der Grundlage von Experteneinschätzung unter Verwendung der folgenden spezifischen Kriterien: großes Ausmaß, hohe Wahrscheinlichkeit oder Irreversibilität von Folgen; zeitliches Auftreten von Gefährdungen; zu Risiken beitragende anhaltende Verwundbarkeit oder Exposition oder begrenztes Potenzial zur Verringerung von Risiken durch Anpassung bzw. Minderung.

Der Klimawandel birgt Risiken für die Nahrungsmittelproduktion

(a)



(b)



**Abbildung SPM.9 | (a)** Projizierte globale Neuverteilung des maximalen Fangpotenzials von ~1000 verwerteten mariner Fisch- und wirbellosen Arten. Projektionen vergleichen die 10-Jahres-Mittel der Zeiträume 2001–2010 und 2051–2060 unter Verwendung von Ozeanbedingungen, die auf einem einzelnen Klimamodell unter einem Szenario mit moderater bis hoher Erwärmung beruhen, ohne Analyse potenzieller Folgen von Überfischung oder Versauerung des Ozeans. **(b)** Zusammenfassung der projizierten Änderungen von Ernteerträgen (hauptsächlich Weizen, Mais, Reis und Soja) aufgrund des Klimawandels während des 21. Jahrhunderts. Die Daten für jeden Zeitrahmen summieren sich auf 100 % und stellen den Prozentsatz der Projektionen, die Ertragsanstiege aufweisen, denjenigen mit Ertragsrückgängen gegenüber. Die Abbildung beinhaltet Projektionen (basierend auf 1090 Datenpunkten) für verschiedene Emissionsszenarien, für tropische und gemäßigte Regionen sowie für Fälle von Anpassung und Nicht-Anpassung in Kombination. Veränderungen in den Ernteerträgen beziehen sich auf das Niveau des ausgehenden 20. Jahrhunderts. {Abbildung 2.6a, Abbildung 2.7}

erneuerbaren Oberflächen- und Grundwasserressourcen in den meisten trockenen subtropischen Regionen verringern wird (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*), was zu einer Verstärkung des Wettbewerbs um Wasser zwischen verschiedenen Sektoren führen wird (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). {2.3.1, 2.3.2}

Bis zur Mitte des Jahrhunderts wird sich der projizierte Klimawandel auf die Gesundheit des Menschen hauptsächlich durch eine Verschärfung bereits bestehender gesundheitlicher Probleme auswirken (*sehr hohes Vertrauen*). Es wird erwartet, dass der Klimawandel während des 21. Jahrhunderts – verglichen mit einem Basisszenario ohne Klimawandel – zu einer Zunahme von gesundheitlichen Beeinträchtigungen in vielen Regionen und insbesondere in Entwicklungsländern mit geringem Einkommen führen wird (*hohes Vertrauen*). Für RCP8.5 wird um 2100 erwartet, dass die Kombination aus hohen Temperaturen

und Feuchtigkeit in einigen Gebieten für bestimmte Zeiten des Jahres die Ausübung alltäglicher Tätigkeiten von Menschen beeinträchtigt, einschließlich des Anbaus von Nahrungsmitteln und der Arbeit im Freien (*hohes Vertrauen*). {2.3.2}

Für städtische Gebiete werden aufgrund des Klimawandels erhöhte Risiken für Menschen, Vermögenswerte, Ökonomien und Ökosysteme projiziert, darunter Risiken durch Hitzestress, Stürme und Extremniederschläge, Überschwemmungen im Binnenland und an den Küsten, Erdbeben, Luftverschmutzung, Dürre, Wasserknappheit, Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten (*sehr hohes Vertrauen*). Diese Risiken betreffen verstärkt diejenigen, denen die notwendige Infrastruktur und Dienstleistungen fehlen oder die in exponierten Gebieten leben. {2.3.2}

Für ländliche Regionen werden erhebliche Folgen für Wasserverfügbarkeit und -versorgung, Ernährungssicherheit, Infrastruktur und landwirtschaftliche Einkommen erwartet, einschließlich weltweiter Verschiebungen der Anbaugebiete für Nahrungs- und Nutzpflanzen (*hohes Vertrauen*). {2.3.2}

Aggregierte wirtschaftliche Verluste nehmen mit steigenden Temperaturen stärker zu (*begrenzte Belege, hohe Übereinstimmung*), jedoch sind die globalen wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels derzeit schwer abzuschätzen. Mit einem Fokus auf Armut betrachtet, werden laut Projektionen die Folgen des Klimawandels das wirtschaftliche Wachstum verlangsamen und die Armutsbekämpfung erschweren, die Ernährungssicherheit weiter aushöhlen sowie bestehende Armutfallen vertiefen und neue auslösen, letzteres insbesondere in städtischen Gebieten und entstehenden Hotspots des Hungers (*mittleres Vertrauen*). Internationale Dimensionen wie Handel und zwischenstaatliche Beziehungen sind für das Verständnis von Risiken des Klimawandels auf regionaler Ebene ebenfalls wichtig. {2.3.2}

Es wird projiziert, dass der Klimawandel die Vertreibung von Menschen verstärkt (*mittlere Belege, hohe Übereinstimmung*). Bevölkerungsgruppen, denen die Ressourcen für eine geplante Migration fehlen, sind in höherem Maße extremen Wetterereignissen ausgesetzt, insbesondere in Entwicklungsländern mit geringem Einkommen. Der Klimawandel kann die Risiken gewaltsamer Auseinandersetzungen indirekt erhöhen, indem er bereits bekannte Treiber dieser Konflikte wie Armut und wirtschaftliche Erschütterungen verstärkt (*mittleres Vertrauen*). {2.3.2}

### SPM 2.4 Klimawandel nach 2100, Irreversibilität und abrupte Veränderungen

**Viele Aspekte des Klimawandels und damit verbundene Folgen werden für Jahrhunderte andauern, selbst wenn anthropogene Treibhausgasemissionen gestoppt werden. Die Risiken abrupterer oder irreversibler Änderungen steigen mit weiterer Erwärmung. {2.4}**

Die Erwärmung wird unter allen RCP-Szenarien, ausgenommen RCP2.6, über 2100 hinaus andauern. Die Oberflächentemperaturen werden nach einer vollständigen Einstellung der anthropogenen Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen für viele Jahrhunderte annähernd konstant auf erhöhten Niveaus bleiben. Ein großer Anteil des auf CO<sub>2</sub>-Emissionen zurückzuführenden anthropogenen Klimawandels ist auf einer Zeitskala von mehreren Jahrhunderten bis Jahrtausenden irreversibel, ausgenommen im Falle einer umfassenden Nettoentnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre über einen lang anhaltenden Zeitraum. {2.4, Abbildung 2.8}

Eine Stabilisierung der mittleren globalen Oberflächentemperatur bedeutet keine Stabilisierung aller Aspekte des Klimasystems. Verschiebungen von Biomen, im Boden gebundener Kohlenstoff, Eisschilde, Ozeantemperaturen und der damit verbundene Meeresspiegelanstieg haben alle eigene inhärente lange Zeitskalen, was dazu führen wird, dass Veränderungen für hunderte bis tausende von Jahren nach der Stabilisierung der globalen Oberflächentemperatur anhalten werden. {2.1, 2.4}

Es besteht *hohes Vertrauen*, dass die Ozeanversauerung über Jahrhunderte weiter zunimmt, wenn CO<sub>2</sub>-Emissionen andauern, und marine Ökosysteme in hohem Maße beeinträchtigt werden. {2.4}

Es ist *praktisch sicher*, dass der mittlere globale Meeresspiegel nach 2100 noch viele Jahrhunderte weiter steigen wird, wobei das Ausmaß des Anstiegs von zukünftigen Emissionen abhängt. Der Schwellenwert für den Verlust des grönländischen Eisschildes – und den damit verbundenen Meeresspiegelanstieg von bis zu 7 m – über ein Jahrtausend oder mehr liegt bei mehr als ca. 1 °C (*geringes Vertrauen*), jedoch bei weniger als etwa 4 °C (*mittleres Vertrauen*) globaler Erwärmung gegenüber der

vorindustriellen Temperatur. Ein abrupter und irreversibler Eisverlust des Antarktischen Eisschildes ist möglich, die derzeitigen Belege und das gegenwärtige Verständnis reichen jedoch für eine quantitative Abschätzung nicht aus. {2.4}

Ausmaß und Geschwindigkeit des Klimawandels in mittleren bis hohen Emissionsszenarien stellen ein erhöhtes Risiko abrupten und irreversiblen regionaler Veränderungen in der Zusammensetzung, Struktur und Funktion von marinen, terrestrischen und Süßwasser-Ökosystemen, einschließlich Feuchtgebieten, dar (*mittleres Vertrauen*). Eine Verringerung der Permafrostausdehnung ist bei einem anhaltenden Anstieg der globalen Temperaturen *praktisch sicher*. {2.4}

### SPM 3. Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung

**Anpassung und Minderung sind komplementäre Strategien, um die Risiken des Klimawandels zu verringern und zu bewältigen. Erhebliche Emissionsminderungen über die nächsten Jahrzehnte können die Klimarisiken im 21. Jahrhundert und darüber hinaus verringern, die Aussichten für eine wirksame Anpassung verbessern, die Kosten und Herausforderungen von Minderung langfristig senken und einen Beitrag zu klimaresilienten Pfaden für eine nachhaltige Entwicklung leisten. {3.2, 3.3, 3.4}**

#### SPM 3.1 Grundlagen der Entscheidungsfindung zum Klimawandel

**Eine effektive Entscheidungsfindung für die Begrenzung des Klimawandels und dessen Auswirkungen kann durch eine Vielzahl analytischer Ansätze zur Bewertung erwarteter Risiken und Vorteile unterstützt werden, unter Berücksichtigung der Bedeutung von politischer Steuerung und Koordination, ethischen Dimensionen, Gleichstellung, Werturteilen, ökonomischen Bewertungen und unterschiedlichen Sichtweisen und Reaktionen auf Risiken und Unsicherheiten. {3.1}**

Nachhaltige Entwicklung und Gleichstellung bilden eine Grundlage für die Bewertung von Klimapolitik. Die Begrenzung der Auswirkungen des Klimawandels ist notwendig, um eine nachhaltige Entwicklung und Gleichstellung, einschließlich der Beseitigung von Armut, zu erreichen. Die bisherigen und künftigen Beiträge der Länder zur Anreicherung von THGs in der Atmosphäre sind unterschiedlich, und Länder sind auch mit unterschiedlichen Herausforderungen und Umständen konfrontiert und verfügen über unterschiedliche Fähigkeiten zum Umgang mit Minderung und Anpassung. Minderung und Anpassung werfen Fragen von Gleichstellung, Gerechtigkeit und Fairness auf. Viele derjenigen, die gegenüber dem Klimawandel am meisten verwundbar sind, tragen und tragen wenig zu THG-Emissionen bei. Eine Verzögerung von Minderung verlagert die Lasten von der Gegenwart in die Zukunft, und unzureichende Anpassungsreaktionen auf auftretende Folgen unterhöheln bereits jetzt die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung. Umfassende Strategien für den Umgang mit dem Klimawandel, die im Einklang mit nachhaltiger Entwicklung stehen, berücksichtigen die positiven und negativen Nebeneffekte und Risiken, die sich sowohl aus Anpassungs- als auch aus Minderungsoptionen ergeben können. {3.1, 3.5, Box 3.4}

Die Gestaltung klimapolitischer Strategien wird dadurch beeinflusst, wie Menschen und Organisationen Risiken und Unsicherheiten wahrnehmen und diese berücksichtigen. Es stehen Bewertungsmethoden aus wirtschaftlichen, sozialen und ethischen Analysen zur Verfügung, die die Entscheidungsfindung unterstützen können. Diese Methoden können eine Vielzahl möglicher Folgen berücksichtigen, einschließlich von Ereignissen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit aber weitreichenden Konsequenzen. Sie können jedoch kein einzig-bestes Gleichgewicht zwischen Minderung, Anpassung und verbleibenden Klimafolgen identifizieren. {3.1}

Der Klimawandel hat Züge eines Problems kollektiven Handelns auf globaler Ebene, da sich die meisten Treibhausgase (THG) mit der Zeit ansammeln und global vermischen und sich die Emissionen eines Akteurs (z. B. Einzelperson, Gemeinde, Unternehmen, Land) auf andere Akteure auswirken. Wirksame Minderung kann nicht erreicht werden, wenn einzelne Akteure ihre eigenen Interessen unabhängig verfolgen. Daher bedarf es kooperativer Gegenmaßnahmen, einschließlich internationaler Zusammenarbeit, um THG-Emissionen wirksam zu mindern und anderen Problemen des Klimawandels zu begegnen. Die Wirksamkeit von Anpassung kann durch ein sich ergänzendes Vorgehen auf allen Ebenen, einschließlich internationaler Zusammenarbeit, verbessert werden. Es gibt Belege dafür, dass Ergebnisse, die als gerecht wahrgenommen werden, zu einer wirksameren Zusammenarbeit führen können. {3.1}

### SPM 3.2 Durch Minderung und Anpassung verringerte Risiken des Klimawandels

**Ohne zusätzliche Minderungsbemühungen, die über heute bestehende hinausgehen, und trotz Anpassung wird die Erwärmung zum Ende des 21. Jahrhunderts zu einem hohen bis sehr hohen Risiko schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler globaler Folgen führen (*hohes Vertrauen*). Minderung bedingt ein gewisses Maß an positiven Nebeneffekten sowie Risiken aufgrund nachteiliger Nebeneffekte, allerdings bergen diese Risiken nicht dieselbe Möglichkeit schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler Folgen wie die Risiken des Klimawandels, womit sie die Vorteile aus kurzfristigen Minderungsbemühungen erhöhen. {3.2, 3.4}**

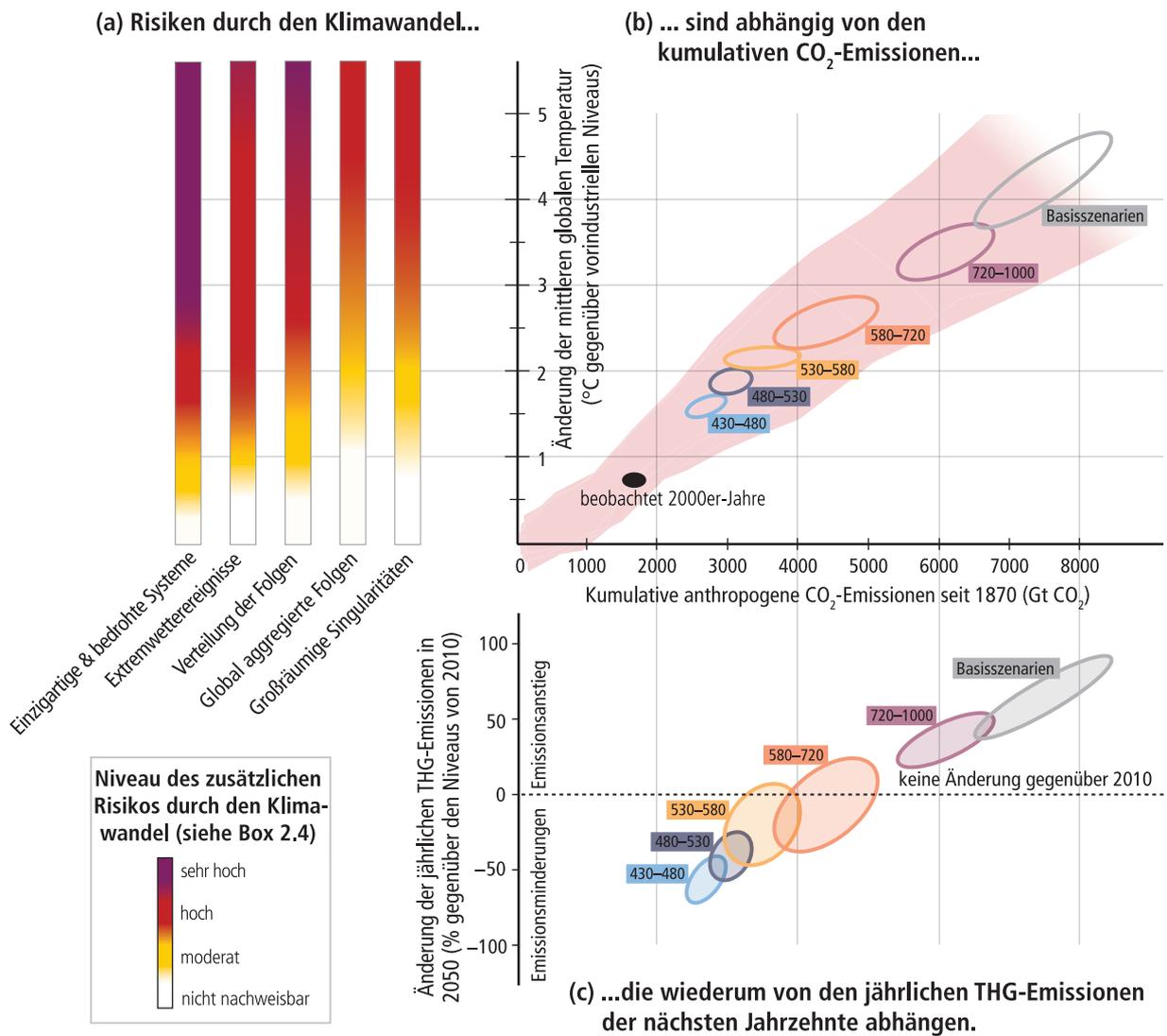
Minderung und Anpassung sind sich ergänzende Ansätze, um die Risiken von Folgen des Klimawandels über unterschiedliche Zeitskalen zu verringern (*hohes Vertrauen*). Minderung – kurzfristig und über das Jahrhundert hinweg – kann die Folgen des Klimawandels in den letzten Jahrzehnten des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus wesentlich verringern. Anpassungsvorteile können bereits beim Umgang mit derzeitigen Risiken umgesetzt werden, und in der Zukunft können sie beim Umgang mit neu auftretenden Risiken umgesetzt werden. {3.2, 4.5}

Fünf „Gründe zur Besorgnis“ (Reasons for Concern, RFCs) aggregieren die Risiken, die mit dem Klimawandel verbunden sind, und verdeutlichen die Auswirkungen der Erwärmung und die Grenzen der Anpassung für Menschen, Wirtschafts- und Ökosysteme über Sektoren und Regionen hinweg. Die fünf RFCs beziehen sich auf: (1) Einzigartige und bedrohte Systeme, (2) Extremwetterereignisse, (3) die Verteilung von Folgen, (4) global aggregierte Folgen und (5) großräumige singuläre Ereignisse. In diesem Bericht liefern die RFCs Informationen, die in Bezug auf Artikel 2 von UNFCCC relevant sind. {Box 2.4}

Ohne zusätzliche Minderungsbemühungen, die über heute bestehende hinausgehen, und trotz Anpassung wird die Erwärmung zum Ende des 21. Jahrhunderts zu hohen bis sehr hohen Risiken für schwerwiegende, verbreitete und irreversible globale Folgen führen (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.10). In den meisten Szenarien ohne zusätzliche Minderungsbemühungen (jene mit atmosphärischen Konzentrationen von > 1000 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100), wird die Erwärmung *eher wahrscheinlich als nicht* 4 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau bis 2100 überschreiten (Tabelle SPM.1). Die Risiken, die mit Temperaturen von 4 °C oder darüber verbundenen sind, beinhalten ein beträchtliches Artensterben, globale und regionale Ernährungsunsicherheit, sich daraus ergebende Einschränkungen alltäglicher Aktivitäten von Menschen und in einigen Fällen ein begrenztes Anpassungspotenzial (*hohes Vertrauen*). Einige Risiken des Klimawandels, wie die Risiken für einzigartige und bedrohte Systeme, und Risiken, die mit Extremwetterereignissen verbunden sind, sind bei Temperaturen von 1 °C bis 2 °C über dem vorindustriellen Niveau moderat bis hoch. {2.3, Abbildung 2.5, 3.2, 3.4, Box 2.4, Tabelle SPM.1}

Wesentliche Einschnitte in den Treibhausgasemissionen über die nächsten Jahrzehnte können die Risiken des Klimawandels erheblich senken, indem die Erwärmung in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus begrenzt wird. Kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmen im Wesentlichen die mittlere globale Oberflächenerwärmung bis zum späten 21. Jahrhundert und darüber hinaus. Die Begrenzung der Risiken, die mit den „Gründen zur Besorgnis“ verbunden sind, würde eine Begrenzung der kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhalten. Eine solche Begrenzung würde erfordern, dass die globalen CO<sub>2</sub>-Nettoemissionen letztendlich auf Null zurückgehen, und würde die jährlichen Emissionen der nächsten Jahrzehnte beschränken (Abbildung SPM.10) (*hohes Vertrauen*). Einige Risiken durch Klimaschäden sind jedoch trotz Minderung und Anpassung unvermeidbar. {2.2.5, 3.2, 3.4}

Minderung bedingt ein gewisses Maß an positiven Nebeneffekten sowie Risiken, allerdings beinhalten diese Risiken nicht dieselbe Möglichkeit schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler Folgen wie die Risiken durch den Klimawandel. Die Trägheit sowohl im Wirtschafts- als auch Klimasystem sowie die Möglichkeit irreversibler Folgen durch den Klimawandel erhöhen die Vorteile kurzfristiger Minderungsbemühungen (*hohes Vertrauen*). Verzögerte zusätzliche Minderung oder Einschränkungen technologischer Möglichkeiten erhöhen die langfristigen Minderungskosten, um Risiken, die mit dem Klimawandel verbunden sind, auf einem bestimmten Niveau zu halten (Tabelle SPM.2). {3.2, 3.4}



**Abbildung SPM.10** | Die Beziehung zwischen Risiken durch den Klimawandel, Temperaturänderung, kumulativen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen und Veränderungen der jährlichen Treibhausgas (THG)-Emissionen bis 2050. Die Begrenzung der Risiken hinsichtlich aller „Gründe zur Besorgnis“ (a) würde eine Begrenzung der kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen implizieren (b), was die jährlichen THG-Emissionen über die nächsten Jahrzehnte beschränken würde (c). **Tafel a** zeigt die fünf „Gründe zur Besorgnis“ (Box 2.4). **Tafel b** verknüpft Temperaturänderungen mit den kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen (in Gt CO<sub>2</sub>) seit 1870. Diese basieren auf Simulationen des Gekoppelten Modellvergleichsprojektes Phase 5 (CMIP5) (rosa Fläche) und auf einem einfachen Klimamodell (Median der Klimareaktion in 2100) für Basisszenarien und fünf Kategorien an Minderungsszenarien (sechs Ellipsen). Einzelheiten sind in Abbildung SPM.5 angegeben. **Tafel c** zeigt die Beziehung zwischen den kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen (in Gt CO<sub>2</sub>) der Szenariokategorien und der damit verbundenen Änderung der jährlichen THG-Emissionen bis 2050, ausgedrückt in prozentualer Veränderung (in Prozent Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr), bezogen auf 2010. Die Ellipsen entsprechen denselben Szenariokategorien wie in Tafel b und wurden mit einer vergleichbaren Methode erstellt (siehe Einzelheiten in Abbildung SPM.5). {Abbildung 3.1}

### SPM 3.3 Eigenschaften von Anpassungspfaden

Anpassung kann die Risiken von Folgen des Klimawandels verringern, allerdings ist ihre Wirksamkeit begrenzt, insbesondere bei größerem Ausmaß und höherer Geschwindigkeit des Klimawandels. Die Wahl einer längerfristigen Perspektive – im Kontext nachhaltiger Entwicklung – erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass eher zeitnahe Anpassungsmaßnahmen auch zukünftige Handlungsoptionen und Vorsorge verbessern werden. {3.3}

**Tabelle SPM.1** | Wichtigste Eigenschaften der für WGIII im AR5 erfassten und bewerteten Szenarien. Für alle Parameter ist das 10. bis 90. Perzentil der Szenarien angegeben<sup>a</sup> (Tabelle 3.1)

CO <sub>2</sub> -Äq-Konzentrationen in 2100 (ppm CO <sub>2</sub> -Äq) <sup>f</sup> Kategorie-kennzeichnung (Konzentrationsbereich)	Unterkategorien	Relative Einordnung der RCP <sup>d</sup>	Änderung der CO <sub>2</sub> -Äq-Emissionen gegenüber 2010 (%) <sup>c</sup>		Wahrscheinlichkeit dafür, im Verlauf des 21. Jahrhunderts unterhalb eines bestimmten Temperaturniveaus zu bleiben (bezogen auf 1850–1900) <sup>d,e</sup>			
			2050	2100	1,5°C	2°C	3°C	4°C
<430	Nur eine begrenzte Anzahl individueller Modellstudien hat das Niveau unter 430 ppm CO <sub>2</sub> -Äq untersucht <sup>i</sup>							
450 (430 bis 480)	Gesamtbereich <sup>a,9</sup>	RCP2.6	-72 bis -41	-118 bis -78	Eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Wahrscheinlich
500 (480 bis 530)	Kein Überschreiten von 530 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-57 bis -42	-107 bis -73	Unwahrscheinlich	Eher wahrscheinlich als nicht		
	Überschreiten von 530 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-55 bis -25	-114 bis -90		Etwas ebenso wahrscheinlich wie nicht		
550 (530 bis 580)	Kein Überschreiten von 580 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-47 bis -19	-81 bis -59		Eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich <sup>i</sup>		
	Überschreiten von 580 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-16 bis 7	-183 bis -86				
(580 bis 650)	Gesamtbereich	RCP4.5	-38 bis 24	-134 bis -50	Unwahrscheinlich	Eher wahrscheinlich als nicht	Wahrscheinlich	
(650 bis 720)	Gesamtbereich		-11 bis 17	-54 bis -21		Unwahrscheinlich		
(720 bis 1000) <sup>b</sup>	Gesamtbereich	RCP6.0	18 bis 54	-7 bis 72	Unwahrscheinlich <sup>h</sup>	Eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich	Wahrscheinlich	
>1000 <sup>b</sup>	Gesamtbereich	RCP8.5	52 bis 95	74 bis 178	Unwahrscheinlich <sup>h</sup>	Unwahrscheinlich		Eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich

Anmerkungen:

<sup>a</sup> Der ‚Gesamtbereich‘ für die 430 bis 480 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Szenarien entspricht der Bandbreite des 10.–90. Perzentils der in Tabelle 6.3 des Berichtes der Arbeitsgruppe III dargestellten Unterkategorie dieser Szenarien.

<sup>b</sup> Basisszenarien fallen in die >1000 und 720 bis 1000 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Kategorien. Letztere Kategorie schließt auch Minderungsszenarien ein. Die Basisszenarien dieser Kategorie erreichen im Jahr 2100 zu Temperaturänderungen von 2,5 bis 5,8 °C über dem Durchschnitt der Jahre 1850–1900. Zusammen mit den Basisszenarien der Kategorie >1000 ppm CO<sub>2</sub>-Äq führt dies zu einer Gesamtbandbreite der Temperaturänderung für das Jahr 2100 von 2,5 bis 7,8 °C (Bandbreite basierend auf dem Median der Klimareaktion: 3,7 bis 4,8 °C) für Basisszenarien aus beiden Konzentrationskategorien.

<sup>c</sup> Die globalen Emissionen im Jahr 2010 liegen um 31 % über den Emissionen des Jahres 1990 (in Übereinstimmung mit den in diesem Bericht vorgelegten historischen THG-Emissionsschätzungen). CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen beinhalten die Gruppe der Kyoto-Gase (Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) sowie F-Gase).

<sup>d</sup> Diese Bewertung beinhaltet eine große Anzahl von Szenarien, die in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlicht wurden und ist daher nicht auf die Repräsentativen Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways, RCP) beschränkt. Um die CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentrationen und klimatischen Auswirkungen dieser Szenarien zu bewerten, wurde das „Modell zur Abschätzung des durch Treibhausgase verursachten Klimawandels“ (Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change - MAGICC) in einem wahrscheinlichkeitstheoretischen Modus verwendet. Für einen Vergleich zwischen den Ergebnissen des MAGICC-Modells und den Ergebnissen der in der WGI verwendeten Modelle siehe WGI 12.4.1.2, 12.4.8 und WGIII 6.3.2.6.

<sup>e</sup> Die Bewertungen in dieser Tabelle basieren auf den Wahrscheinlichkeiten, die für sämtliche Szenarien der WGIII im AR5 unter Verwendung von MAGICC errechnet wurden und der Bewertung der Unsicherheit in nicht von Klimamodellen abgedeckten Temperaturprojektionen aus WGI. Diese Aussagen sind also mit den Aussagen der WGI konsistent, die auf CMIP5-Läufen der RCP und den ermittelten Unsicherheiten beruhen. Daher repräsentieren die Wahrscheinlichkeitsaussagen unterschiedliche Belegketten aus beiden Arbeitsgruppen. Diese Methode von WGI wurde auch auf Szenarien mit mittleren Konzentrationsniveaus angewendet, für die keine CMIP5-Läufe verfügbar sind. Die Wahrscheinlichkeitsaussagen sind lediglich indikativ (WGIII 6.3) und folgen weitgehend den in der WGI SPM verwendeten Begriffen für Temperaturprojektionen: wahrscheinlich 66–100 %, eher wahrscheinlich als nicht > 50–100 %, etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht 33–66 % und unwahrscheinlich 0–33 %. Darüber hinaus wird der Ausdruck eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich 0–< 50 % verwendet.

<sup>f</sup> Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentration (siehe Glossar) ist auf der Basis des gesamten Antriebs aus einem einfachen Kohlenstoffkreislauf-/Klimamodell, MAGICC, berechnet. Die CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentration im Jahr 2011 wird auf 430 ppm (Unsicherheitsbereich 340 bis 520 ppm) geschätzt. Dies beruht auf der Bewertung des gesamten anthropogenen Strahlungsantriebs für 2011 im Verhältnis zu 1750 in WGI, d. h. 2,3 W/m<sup>2</sup>, Unsicherheitsbereich 1,1 bis 3,3 W/m<sup>2</sup>.

<sup>g</sup> Die überwiegende Mehrheit der Szenarien dieser Kategorie überschreitet die Kategoriengrenze einer CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentration von 480 ppm.

<sup>h</sup> Für Szenarien in dieser Kategorie bleibt kein CMIP5-Lauf und keine MAGICC-Realisierung unterhalb des entsprechenden Temperaturniveaus. Dennoch erfolgt eine Bewertung mit *unwahrscheinlich*, um Unsicherheiten, die möglicherweise nicht durch die derzeitigen Klimamodelle reflektiert werden, darzustellen.

<sup>i</sup> Szenarien in der 580 bis 650 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Kategorie beinhalten sowohl Überschreitungsszenarien als auch Szenarien, die keine höheren Konzentrationen als das oberste Niveau der Kategorie aufweisen (z. B. RCP4.5). Letzteren Szenarien wird im Allgemeinen eine Wahrscheinlichkeit von *eher unwahrscheinlich* als *wahrscheinlich* zugeteilt, unterhalb des Temperaturniveaus von 2 °C zu bleiben, während die erstgenannten diesbezüglich meist als *unwahrscheinlich* bewertet werden.

<sup>j</sup> In diesen Szenarien liegen die globalen CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen im Jahr 2050 um 70 bis 95 % unter den Emissionen von 2010 und im Jahr 2100 um 110 bis 120 % unter den Emissionen von 2010.

Anpassung kann jetzt und in Zukunft zum Wohlergehen von Bevölkerungen, der Vermögenssicherung und der Erhaltung von Ökosystemgütern, -funktionen und -dienstleistungen beitragen. Anpassung ist orts- und kontextspezifisch (*hohes Vertrauen*). Ein erster Schritt in Richtung Anpassung an den zukünftigen Klimawandel besteht in der Verringerung von Verwundbarkeit und Exposition gegenüber derzeitigen Klimaschwankungen (*hohes Vertrauen*). Die Einbindung von Anpassung in Planungsprozesse, einschließlich Politikgestaltung, und Entscheidungsfindung kann Synergien mit Entwicklung und Katastrophenvorsorge fördern. Die Stärkung der Anpassungsfähigkeit ist entscheidend für die effektive Auswahl und Umsetzung von Anpassungsoptionen (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). {3.3}

Anpassungsplanung und -umsetzung können durch ein komplementäres Vorgehen auf allen Ebenen, von Einzelpersonen bis hin zu Regierungen, gefördert werden (*hohes Vertrauen*). Nationale Regierungen können die Anpassungsbemühungen lokaler und subnationaler Regierungen koordinieren, indem sie beispielsweise verwundbare Gruppen schützen, die wirtschaftliche Diversifikation unterstützen, Informationen zur Verfügung stellen, politische und gesetzliche Rahmenbedingungen schaffen und finanzielle Unterstützung bieten (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Lokale Regierungen und der Privatsektor werden aufgrund ihrer Rolle bei der Ausweitung von Anpassung in Gemeinden, Haushalten und der Zivilgesellschaft und beim Management von Risikoinformation und Finanzierung zunehmend als entscheidend für den Fortschritt von Anpassung erkannt (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {3.3}

Anpassungsplanung und -umsetzung auf allen Entscheidungsebenen hängen von gesellschaftlichen Werten, Zielen und Risikowahrnehmung ab (*hohes Vertrauen*). Die Anerkennung unterschiedlicher Interessen, Umstände, soziokultureller Zusammenhänge und Erwartungen kann Entscheidungsfindungsprozesse begünstigen. Indigene, lokale und traditionelle Wissenssysteme und Praktiken, einschließlich der ganzheitlichen Sicht indigener Völker auf Gesellschaft und Umwelt, sind eine wesentliche Ressource für die Anpassung an den Klimawandel, aber diese wurden bei den bestehenden Anpassungsbemühungen nicht konsequent genutzt. Die Einbindung solcher Wissensformen in bestehende Praktiken erhöht die Wirksamkeit der Anpassung. {3.3}

Die Wechselwirkung von Einschränkungen kann die Planung und die Umsetzung von Anpassung erschweren (*hohes Vertrauen*). Übliche Einschränkungen für die Umsetzung entstehen aus begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen, begrenzter Einbindung bzw. Koordinierung von politischer Steuerung, Unsicherheiten hinsichtlich projizierter Folgen, unterschiedlicher Wahrnehmung von Risiken, konkurrierenden Werten, dem Fehlen von Führungspersönlichkeiten und Verfechtern der Anpassung sowie begrenzten Instrumenten zur Überwachung der Wirksamkeit der Anpassung. Weitere Einschränkungen sind unzureichende Forschung, Überwachung und Beobachtung und deren längerfristige Finanzierung. {3.3}

Höhere Geschwindigkeiten und ein größeres Ausmaß des Klimawandels erhöhen die Wahrscheinlichkeit, Anpassungsgrenzen zu überschreiten (*hohes Vertrauen*). Grenzen der Anpassung ergeben sich aus der Wechselwirkung zwischen dem Klimawandel und biophysikalischen und/oder sozioökonomischen Einschränkungen. Darüber hinaus können schlechte Planung oder Umsetzung, die Überbetonung kurzfristiger Ergebnisse oder unzureichende Berücksichtigung von Konsequenzen zu Fehlanpassung führen. Dies erhöht die zukünftige Verwundbarkeit und Exposition der Zielgruppe bzw. die Verwundbarkeit anderer Menschen, Orte oder Sektoren (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Wird die Komplexität von Anpassung als sozialem Prozess unterschätzt, kann dies unrealistische Erwartungen hinsichtlich der Erreichung von beabsichtigten Anpassungsergebnissen hervorrufen. {3.3}

Zwischen Minderung und Anpassung sowie zwischen alternativen Anpassungsmaßnahmen bestehen signifikante positive Nebeneffekte, Synergien und Zielkonflikte; Wechselwirkungen treten sowohl innerhalb von Regionen als auch regionenübergreifend auf (*sehr hohes Vertrauen*). Zunehmende Anstrengungen bezüglich Minderung und Anpassung an den Klimawandel bringen steigende Komplexität von Wechselwirkungen mit sich, insbesondere an den Schnittpunkten von Wasser, Energie, Landnutzung und Biodiversität. Dabei bleiben allerdings die Instrumente zum Verständnis und für den Umgang mit diesen Wechselwirkungen begrenzt. Beispiele für Maßnahmen mit positiven Nebeneffekten sind (i) verbesserte Energieeffizienz und sauberere Energiequellen, was zu verringerten Emissionen gesundheitsschädlicher und klimaverändernder Luftschadstoffe führt; (ii) verringerter Energie- und Wasserverbrauch in städtischen Räumen durch eine Begrünung von Städten und Wasserwiederaufbereitung; (iii) nachhaltige Land- und Forstwirtschaft; und (iv) Schutz von Ökosystemen für die Kohlenstoffspeicherung und andere Ökosystemdienstleistungen. {3.3}

Transformationen in wirtschaftlichen, sozialen, technologischen und politischen Entscheidungen und Handlungen können die Anpassung verbessern und eine nachhaltige Entwicklung fördern (*hohes Vertrauen*). Auf nationaler Ebene gilt Transformation dann als am wirksamsten, wenn sie die eigenen Visionen und Ansätze eines Landes zum Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung im Einklang mit seinen landesspezifischen Gegebenheiten und Prioritäten widerspiegelt. Die Beschränkung

von Anpassungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel auf schrittweise Veränderungen bestehender Systeme und Strukturen, ohne transformative Veränderung zu berücksichtigen, kann zu steigenden Kosten und Verlusten sowie verpassten Chancen führen. Die Planung und Umsetzung von transformativer Anpassung könnte gestärkte, veränderte oder angeglichen Paradigmen zum Ausdruck bringen und kann neue und höhere Anforderungen an die Strukturen politischer Steuerung richten, um unterschiedliche Ziele und Visionen für die Zukunft abzustimmen und möglichen Auswirkungen auf Gleichstellung und Ethik zu begegnen. Anpassungspfade werden durch iteratives Lernen, Beratungsprozesse und Innovation verbessert. {3.3}

### SPM 3.4 Eigenschaften von Minderungspfaden

**Es gibt mehrere Minderungspfade, die die Erwärmung *wahrscheinlich* unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau halten. Diese Pfade würden erhebliche Emissionsminderungen über die nächsten Jahrzehnte und Emissionen nahe Null bis zum Ende des Jahrhunderts von CO<sub>2</sub> und anderen langlebigen Treibhausgasen erfordern. Die Durchführung solcher Minderungen bedeutet erhebliche technologische, wirtschaftliche, soziale und institutionelle Herausforderungen, die noch zunehmen, falls zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen verzögert werden und Schlüsseltechnologien nicht verfügbar sind. Eine Begrenzung der Erwärmung auf niedrigere oder höhere Niveaus ist mit ähnlichen Herausforderungen verbunden, jedoch über unterschiedliche Zeitskalen hinweg. {3.4}**

Ohne zusätzliche Anstrengungen zur Verringerung der THG-Emissionen, die über heute bestehende hinausgehen, ist ein weiterer Anstieg der globalen Emissionen aufgrund des Wachstums der Weltbevölkerung und der wirtschaftlichen Aktivitäten zu erwarten. Anstiege in der mittleren globalen Oberflächentemperatur in 2100 in Basisszenarien – jenen ohne zusätzliche Minderung – reichen von 3,7 °C bis 4,8 °C über dem Durchschnitt von 1850–1900 für den Median der Klimareaktion. Sie reichen von 2,5 °C bis 7,8 °C, wenn die Klimaunsicherheit (Bereich des 5. bis 95. Perzentils) einbezogen wird (*hohes Vertrauen*). {3.4}

Emissionsszenarien, die zu CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen im Jahr 2100 von etwa 450 ppm oder weniger führen, beschränken die Erwärmung über das 21. Jahrhundert *wahrscheinlich* auf weniger als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau<sup>15</sup>. Diese Szenarien zeichnen sich durch eine Verringerung der globalen anthropogenen THG-Emissionen um 40 bis 70 % bis 2050 gegenüber 2010<sup>16</sup> sowie Emissionsniveaus nahe Null oder darunter in 2100 aus. Minderungsszenarien, die Konzentrationsniveaus von etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bis zum Jahr 2100 erreichen, begrenzen *eher wahrscheinlich als nicht* die Temperaturänderung auf unter 2 °C, sofern sie nicht vorübergehend Konzentrationsniveaus von ungefähr 530 ppm CO<sub>2</sub>-Äq vor dem Jahr 2100 überschreiten. In einem solchen Fall wäre es *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*, dass sie dieses Ziel erreichen. In diesen 500 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Szenarien sind die globalen Emissionsniveaus im Jahr 2050 um 25 % bis 55 % niedriger als im Jahr 2010. Szenarien mit höheren Emissionen im Jahr 2050 zeichnen sich durch eine größere Abhängigkeit von Technologien zur Entfernung von Kohlendioxid (Carbon Dioxide Removal, CDR) ab der Mitte des Jahrhunderts aus (und umgekehrt). Trajektorien, die die Erwärmung *wahrscheinlich* auf 3 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen, verringern Emissionen langsamer als jene, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen. Eine begrenzte Anzahl von Studien liefert Szenarien, die die Erwärmung *eher wahrscheinlich als nicht* auf 1,5 °C bis zum Jahr 2100 begrenzen; diese Szenarien sind durch Konzentrationsniveaus unterhalb von 430 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bis zum Jahr 2100 und eine Emissionsreduktion bis zum Jahr 2050 um 70 % bis 95 % gegenüber 2010 gekennzeichnet. Für einen umfassenden Überblick über die Eigenschaften von Emissionsszenarien, deren CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen und ihre Wahrscheinlichkeit, die Erwärmung unterhalb bestimmter Temperaturniveaus zu halten, siehe Abbildung SPM.11 und Tabelle SPM.1. {3.4}

Minderungsszenarien, die etwa 450 ppm CO<sub>2</sub>-Äq im Jahr 2100 erreichen (entsprechend einer *wahrscheinlichen* Chance, die Erwärmung unterhalb von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten), beinhalten typischerweise ein temporäres Überschreiten<sup>17</sup> der atmosphärischen Konzentrationen, ebenso wie viele Szenarien, die etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bis etwa 550 ppm CO<sub>2</sub>-Äq in 2100 erreichen (Tabelle SPM.1). Abhängig vom Grad der Überschreitung stützen sich Überschreitungs-

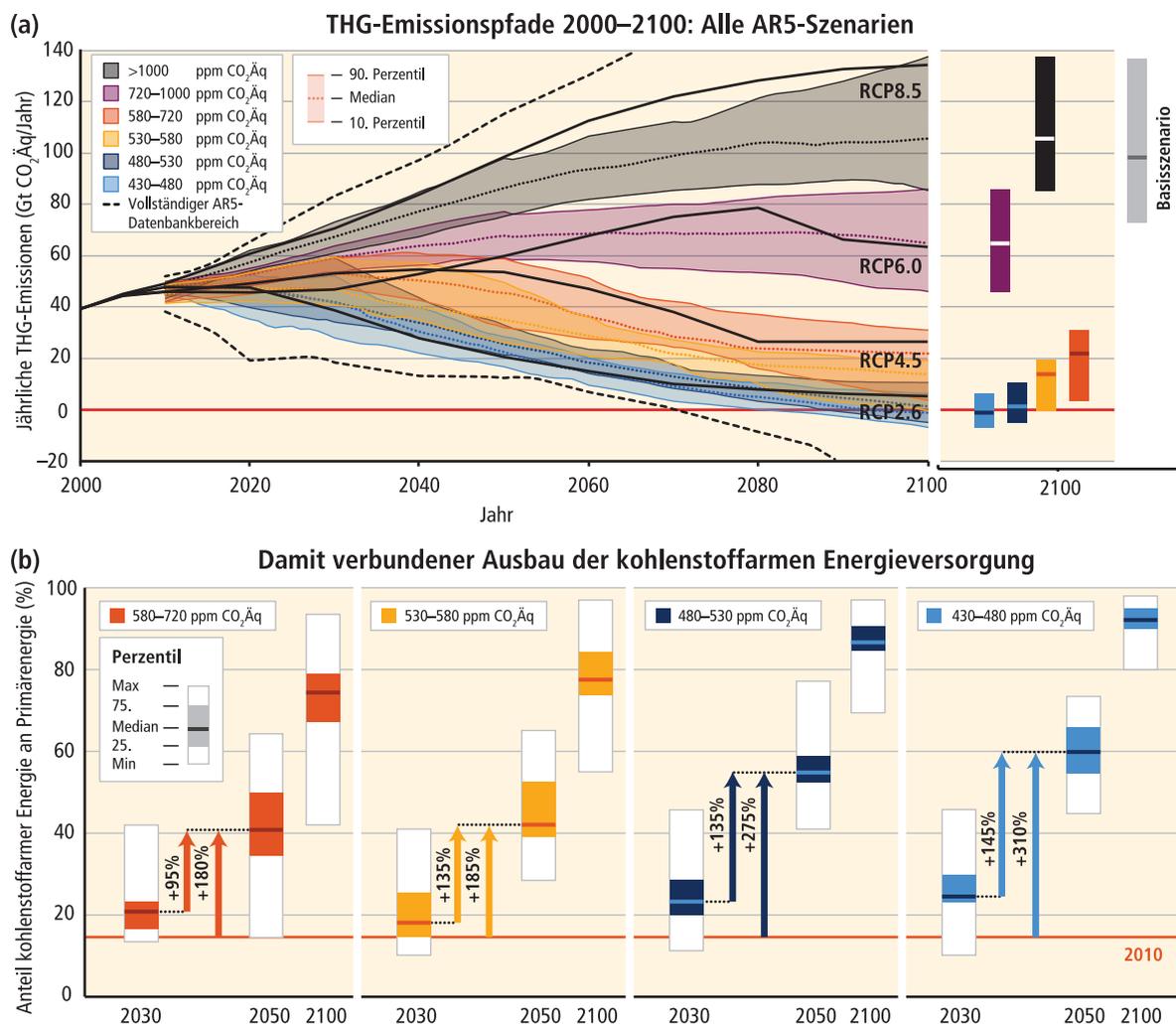
<sup>15</sup> Zum Vergleich: Die CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentration im Jahr 2011 wird auf 430 ppm (Unsicherheitsbereich 340 bis 520 ppm) geschätzt.

<sup>16</sup> Diese Bandbreite unterscheidet sich von der im AR4 angegebenen Bandbreite für eine vergleichbare Konzentrationskategorie (50 % bis 85 % geringer als 2000 für CO<sub>2</sub> allein). Gründe für diese Differenz sind u. a., dass dieser Bericht eine wesentlich größere Anzahl von Szenarien als der AR4 bewertet hat und dass alle THGs betrachtet werden. Zudem beinhaltet ein großer Teil der neuen Szenarien Technologien zur Entfernung von Kohlendioxid (CDR) (siehe unten). Weitere Faktoren sind die Verwendung von Konzentrationsniveaus statt Stabilisierungsniveaus für das Jahr 2100 und die Verschiebung des Referenzjahres von 2000 auf 2010.

<sup>17</sup> In ‚Konzentrations-Überschreitungs-Szenarien‘ erreichen die Konzentrationen ihren Höhepunkt während des Jahrhunderts und gehen danach zurück. CDR-Methoden können Nebenwirkungen und langfristige Konsequenzen auf globaler Ebene mit sich bringen.

szenarien typischerweise auf die Verfügbarkeit und den verbreiteten Einsatz von Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS) und Aufforstung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts. Ob und in welchem Umfang diese und andere CDR-Technologien und -Methoden verfügbar sind, ist ungewiss, und CDR-Technologien sind – in unterschiedlichem Maß – mit Herausforderungen und Risiken verbunden<sup>18</sup>. CDR ist auch in vielen Szenarien ohne Überschreitung verbreitet, um verbleibende Emissionen aus Sektoren zu kompensieren, für die Minderung teuer ist (*hohes Vertrauen*). {3.4, Box 3.3}

Die Emissionsminderung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Substanzen kann ein wichtiger Bestandteil von Minderungsstrategien sein. Alle derzeitigen THG-Emissionen und weitere klimawirksame Substanzen beeinflussen die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Klimawandels über die nächsten Jahrzehnte, obwohl die langfristige Erwärmung hauptsächlich durch CO<sub>2</sub>-Emissionen angetrieben wird. Emissionen von Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibern werden oft als 'CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen' ausgedrückt. Allerdings hängt die Wahl der Metrik zur Berechnung dieser Emissionen – und damit verbunden die Implikationen für Gewichtung und Zeitpunkt der Verringerung der unterschiedlichen Klimatreiber – von der jeweiligen Anwendung und vom politischen Kontext ab und enthält Werturteile. {3.4, Box 3.2}

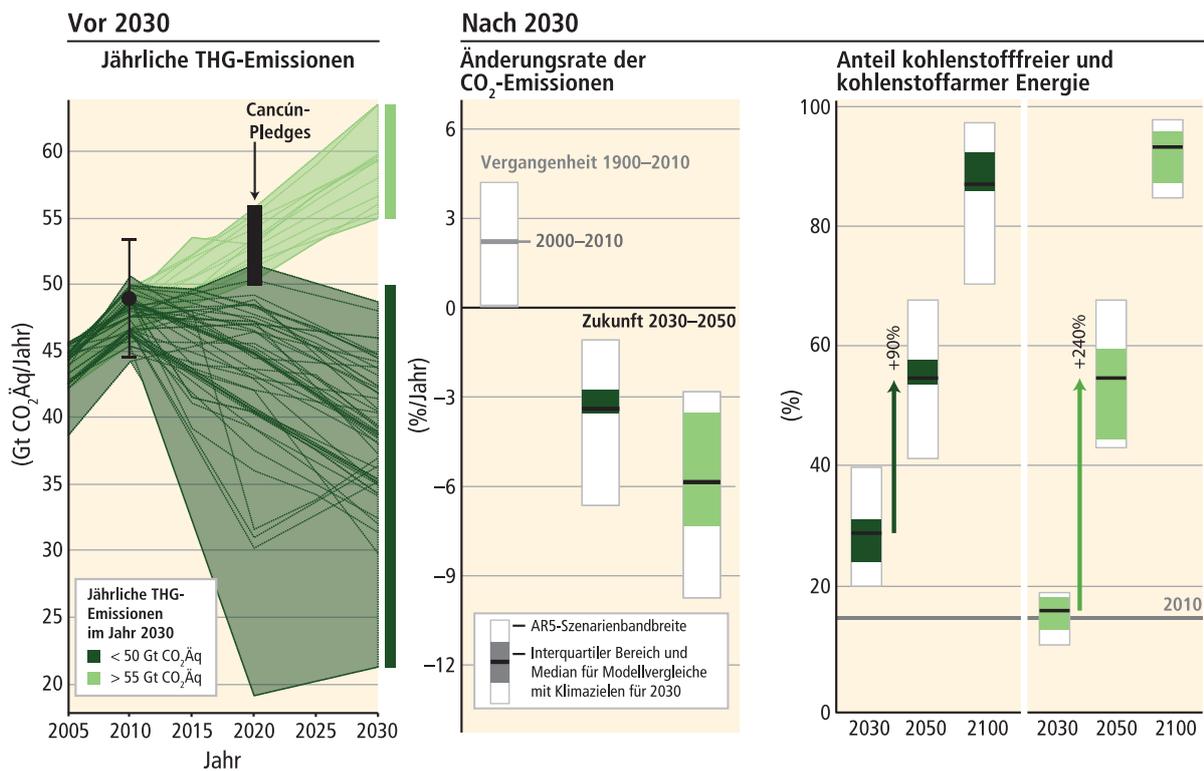


**Abbildung SPM.11** | Globale Treibhausgasemissionen (Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr, Gt CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr) in Basis- und Minderungsszenarien für unterschiedliche langfristige Konzentrationsniveaus (a) und damit verbundener notwendiger Ausbau kohlenstoffarmer Energie (in % der Primärenergie) für 2030, 2050 und 2100, verglichen mit den Niveaus für 2010 in Minderungsszenarien (b). {Abbildung 3.2}

<sup>18</sup> Das Potenzial für CDR-Methoden weist auf globaler Ebene biogeochemische und technologische Grenzen auf. Das gegenwärtige Wissen reicht nicht aus, um die Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen zu quantifizieren, die im Laufe eines Jahrhunderts durch CDR teilweise kompensiert werden könnte. CDR-Methoden können Nebenwirkungen und langfristige Konsequenzen auf globaler Ebene mit sich bringen.

Eine Verzögerung zusätzlicher Minderung bis zum Jahr 2030 wird die Herausforderungen, die mit der Begrenzung der Erwärmung über das 21. Jahrhundert auf unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau verbunden sind, beträchtlich erhöhen. Dies würde wesentlich höhere Emissionsminderungsraten zwischen 2030 und 2050 erfordern, einen erheblich schnelleren Ausbau kohlenstoffarmer Energie in diesem Zeitraum, eine langfristig größere Abhängigkeit von CDR, sowie größere vorübergehende und langfristige wirtschaftliche Folgen. Die geschätzten globalen Emissionsniveaus im Jahr 2030, basierend auf den Cancún-Pledges, stehen nicht im Einklang mit kosteneffizienten Minderungspfaden, die mindestens *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* die Temperaturänderung auf 2 °C im Verhältnis zum vorindustriellen Niveau begrenzen, sie schließen jedoch die Option, dieses Ziel zu erreichen, nicht aus (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.12, Tabelle SPM.2). {3.4}

Schätzungen der aggregierten wirtschaftlichen Minderungskosten schwanken je nach Vorgehensweise und Annahmen stark, erhöhen sich jedoch mit der Stringenz der Minderung. Szenarien, in denen alle Länder der Erde sofort mit einer Minderung beginnen und in denen von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis und der Verfügbarkeit aller Schlüsseltechnologien ausgegangen wird, wurden als kosteneffiziente Bezugsgröße für die Schätzung makroökonomischer Minderungskosten verwendet (Abbildung SPM.13). Unter diesen Annahmen führen Minderungsszenarien, die die Erwärmung *wahrscheinlich* auf unter 2 °C im 21. Jahrhundert gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen, zu globalen Konsumverlusten – die Vorteile eines geminderten Klimawandels sowie positive und negative Nebeneffekte einer Minderung nicht eingeschlossen – von 1 bis 4 % (Median: 1,7 %) im Jahr 2030, 2 % bis 6 % (Median: 3,4 %) im Jahr 2050, und 3 % bis 11 % (Median: 4,8 %) im Jahr 2100 im Verhältnis zum Konsum in Basisszenarien, welcher im Laufe des Jahrhunderts um 300 % bis hin zu über 900 % steigt (Abbildung SPM.13). Diese Zahlen entsprechen einer auf das Jahr gerechneten Verringerung des Konsumwachstums um 0,04



**Abbildung SPM.12 |** Die Auswirkungen unterschiedlicher Treibhausgas (THG)-Emissionsniveaus im Jahr 2030 auf die Geschwindigkeit der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen und den Ausbau kohlenstoffarmer Energie in Minderungsszenarien, die mindestens *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* die Erwärmung über das 21. Jahrhundert unterhalb von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau halten (CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen von 430 bis 530 ppm im Jahr 2100). Die Szenarien sind entsprechend unterschiedlicher Emissionsniveaus im Jahr 2030 gruppiert (in unterschiedlichen Grüntönen). Die linke Tafel zeigt die Verläufe von THG-Emissionen (Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr, Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr), die zu diesen Niveaus im Jahr 2030 führen. Der schwarze Punkt mit Antennen zeigt die historischen THG-Emissionsniveaus und die damit verbundenen Unsicherheiten im Jahr 2010, wie in Abbildung SPM.2 dargestellt. Der schwarze Balken zeigt die geschätzte Unsicherheitsbandbreite der mit den Cancún-Pledges verbundenen THG-Emissionen. Die mittlere Tafel stellt die durchschnittlichen jährlichen Verringerungsraten für CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zeitraum von 2030 bis 2050 dar. Der Median und die interquartile Bandbreite aller Szenarien aus aktuellen Intermodellvergleichen mit expliziten Zwischenzielen für 2030 werden darin mit der Gesamtbandbreite von Szenarien der Szenariendatenbank von WGIII für den AR5 verglichen. Jährliche Raten historischer Emissionsänderungen (fortlaufend über einen Zeitraum von 20 Jahren) und die durchschnittlichen jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionsänderungen zwischen 2000 und 2010 sind ebenfalls angegeben. Die Pfeile in der rechten Tafel zeigen die Größenordnung des Ausbaus kohlenstofffreier und kohlenstoffarmer Energieversorgung zwischen 2030 und 2050 in Abhängigkeit von unterschiedlichen THG-Emissionsniveaus im Jahr 2030. Kohlenstofffreie und -arme Energieversorgung beinhaltet Erneuerbare Energien, Atomenergie, fossile Energie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS) sowie Bioenergie mit CCS (BECCS). [Anmerkung: Es sind nur Szenarien abgebildet, die das vollständige, unbeschränkte Portfolio an Minderungstechnologien der zugrundeliegenden Modelle (Standard-Technologieannahme) einsetzen. Ausgenommen sind Szenarien mit hohen negativen globalen Nettoemissionen (> 20 Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr), Szenarien mit der Annahme eines exogenen Kohlenstoffpreises sowie Szenarien mit Emissionen für 2010, die signifikant außerhalb der historischen Bandbreite liegen.] {Abbildung 3.3}

bis 0,14 (Median: 0,06) Prozentpunkte im Laufe des Jahrhunderts im Verhältnis zum Referenzwert der jährlichen Konsumsteigerung zwischen 1,6 % und 3 % pro Jahr (*hohes Vertrauen*). {3.4}

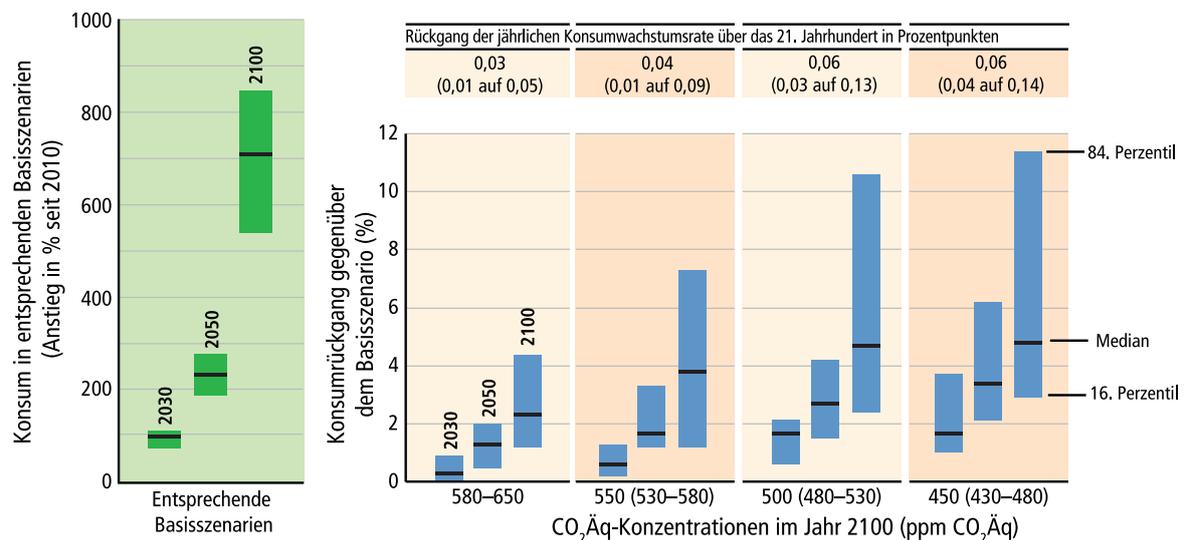
Bei Fehlen oder begrenzter Verfügbarkeit von Minderungstechnologien (wie Bioenergie, CCS und deren Kombination BECCS, Atomenergie, Wind-/Solarenergie), können sich die Minderungskosten abhängig von der betrachteten Technologie wesentlich erhöhen. Eine Verzögerung zusätzlicher Minderung erhöht mittel- bis langfristig die Minderungskosten. Viele Modelle können die *wahrscheinliche* Erwärmung nicht auf unter 2 °C über das 21. Jahrhundert gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen, wenn zusätzliche Minderung erheblich verzögert würde. Viele Modelle können die *wahrscheinliche* Erwärmung nicht auf unter 2 °C begrenzen, wenn Bioenergie, CCS und deren Kombination (BECCS) begrenzt sind (*hohes Vertrauen*) (Tabelle SPM.2). {3.4}

Minderungsszenarien, die zu etwa 450 oder 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 gelangen, zeigen verringerte Kosten für das Erreichen von Zielen in den Bereichen Luftreinhaltung und Energiesicherheit, mit signifikanten positiven Nebeneffekten für die Gesundheit des Menschen, Folgen für Ökosysteme sowie die Ressourcenschonung und die Resilienz des Energiesystems. {4.4.2.2}

Minderungsmaßnahmen könnten den Vermögenswert fossiler Brennstoffvorräte senken und die Erträge für Exporteure von fossilen Brennstoffen verringern, jedoch bestehen Unterschiede zwischen Regionen und Brennstoffen (*hohes Vertrauen*). Die meisten Minderungsszenarien sind mit verringerten Erträgen aus dem Kohle- und Ölhandel für große Exporteure verbunden (*hohes Vertrauen*). Die Verfügbarkeit von CCS würde die negativen Nebeneffekte von Minderung auf den Vermögenswert fossiler Brennstoffvorräte verringern (*mittleres Vertrauen*). {4.4.2.2}

Die Beeinflussung der Sonneneinstrahlung durch Solar Radiation Management (SRM) beinhaltet groß angelegte Methoden, mit denen versucht wird, die Menge der absorbierten Sonnenenergie im Klimasystem zu verringern. SRM ist nicht getestet und in keinem der Minderungsszenarien enthalten. Der Einsatz von SRM würde zahlreiche Unsicherheiten, Nebeneffekte, Risiken und Defizite mit sich bringen und hat besondere politische und ethische Konsequenzen. SRM würde die Versauerung der Ozeane nicht verringern. Es besteht *hohes Vertrauen*, dass im Falle eines Abbruchs eines SRM-Einsatzes die Erdoberflächentemperaturen sehr schnell ansteigen würden und sich auf Ökosysteme, die anfällig für rasche Änderungsraten sind, auswirken würden. {Box 3.3}

### Globale Minderungskosten und Konsumwachstum in Basiszenarien



**Abbildung SPM.13** | Globale Minderungskosten in kosteneffizienten Szenarien für unterschiedliche atmosphärische Konzentrationsniveaus im Jahr 2100. Kosteneffiziente Szenarien gehen von einer sofortigen Minderung in allen Ländern sowie von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis aus und sehen keine zusätzlichen Technologie-Einschränkungen im Verhältnis zu den Standard-Technologie-Annahmen der Modelle vor. Konsumverluste sind bezogen auf eine Referenzentwicklung ohne Klimapolitik (linke Tafel) angegeben. Die obere Tabelle zeigt in Prozentpunkten die auf das Jahr gerechnete Verringerung des Konsumwachstums bezogen auf das Konsumwachstum der Referenzentwicklung von 1,6 bis 3 % pro Jahr (wenn z. B. der Rückgang aufgrund von Minderung 0,06 Prozentpunkte pro Jahr beträgt und das Referenzwachstum 2,0 % pro Jahr, beläuft sich die Wachstumsrate mit Minderung auf 1,94 % pro Jahr). Die in dieser Tabelle dargestellten Kostenschätzungen berücksichtigen weder die Vorteile eines geminderten Klimawandels noch die positiven und negativen Nebeneffekte von Minderung. Schätzungen am oberen Ende dieser Kostenbandbreite stammen aus Modellen, die verhältnismäßig unflexibel bei der Verwirklichung der langfristig für diese Ziele erforderlichen einschneidenden Emissionsminderungen sind und/oder Annahmen über Marktunvollkommenheiten beinhalten, die zu Kostensteigerungen führen würden. {Abbildung 3.4}

**Tabelle SPM.2** | Anstieg der globalen Minderungskosten aufgrund von begrenzter Verfügbarkeit bestimmter Technologien oder von Verzögerungen zusätzlicher Minderungsmaßnahmen<sup>a</sup> im Verhältnis zu kosteneffizienten Szenarien<sup>b</sup>. Der Kostenanstieg ist als Median der Schätzung und als Bereich des 16. bis 84. Perzentils der Szenarien (in Klammern) angegeben<sup>c</sup>. Ferner ist der Probenumfang jedes Szenariensatzes auf den farbigen Symbolen dargestellt. Die Farben der Symbole selbst geben den Anteil der Modelle aus systematischen Modellvergleichen an, die das angestrebte Konzentrationsniveau erfolgreich erreichen konnten. (Tabelle 3.2)

Anstieg der Minderungskosten in Szenarien mit begrenzter Technologie-Verfügbarkeit <sup>d</sup>					Anstieg der Minderungskosten aufgrund verzögerter zusätzlicher Minderung bis 2030	
[Anstieg der gesamten diskontierten <sup>e</sup> Minderungskosten (2015–2100) in % im Verhältnis zu Standard-Technologie-Annahmen]					[Anstieg der Minderungskosten in % im Verhältnis zu einer sofortigen Minderung]	
Konzentrationen im Jahr 2100 (ppm CO <sub>2</sub> Äq)	Kein CCS	Atomausstieg	Begrenzte Solar-/Windenergie	Begrenzte Bioenergie	mittelfristige Kosten (2030-2050)	langfristige Kosten (2050-2100)
450 (430 bis 480)	138% (29 bis 297%)  4	7% (4 bis 18%)  8	6% (2 bis 29%)  8	64% (44 bis 78%)  8	44% (2 bis 78%)  29	37% (16 bis 82%)  29
500 (480 bis 530)	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar		
550 (530 bis 580)	39% (18 bis 78%)  11	13% (2 bis 23%)  10	8% (5 bis 15%)  10	18% (4 bis 66%)  12	15% (3 bis 32%)	16% (5 bis 24%)
580 bis 650	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar		

**Legende der Symbole - Anteil der Modelle, die erfolgreich Szenarien produzieren konnten (Ziffern geben die Anzahl erfolgreicher Modelle an)**

 : alle Modelle erfolgreich	 : zwischen 50 und 80 % der Modelle erfolgreich
 : zwischen 80 und 100 % der Modelle erfolgreich	 : weniger als 50 % der Modelle erfolgreich

Anmerkungen

<sup>a</sup> Szenarien mit verzögerter Minderung sind mit Treibhausgasemissionen von mehr als 55 Gt CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2030 verbunden, und der Anstieg der Minderungskosten wird im Verhältnis zu kosteneffizienten Minderungsszenarien für dasselbe langfristige Konzentrationsniveau ermittelt.

<sup>b</sup> Kosteneffiziente Szenarien gehen von einer sofortigen Minderung in allen Ländern sowie von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis aus und sehen keine zusätzlichen Technologie-Einschränkungen im Verhältnis zu den Standard-Technologie-Annahmen der Modelle vor.

<sup>c</sup> Die Bandbreite wird durch die in der Mitte liegenden Szenarien, die das 16. bis 84. Perzentil des Szenariensatzes umspannen, bestimmt. Es wurden nur Szenarien mit einem Zeithorizont bis 2100 berücksichtigt. Einige Modelle, die in den Kostenbandbreiten für Konzentrationsniveaus oberhalb von 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 enthalten sind, konnten unter Annahme einer begrenzten Verfügbarkeit an Technologien und/oder einer verzögerten zusätzlichen Minderung keine entsprechenden Szenarien für Konzentrationsniveaus unterhalb von 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 entwickeln.

<sup>d</sup> Kein CCS: Kohlendioxidabscheidung und -speicherung ist in diesen Szenarien nicht enthalten. Atomausstieg: Keine zusätzlichen Atomanlagen über die im Bau befindlichen hinaus und Betrieb der bestehenden Anlagen bis zum Ende ihrer Laufzeit. Begrenzte Solar-/Windenergie: Höchstens 20 % der globalen Elektrizitätserzeugung aus Solar- und Windkraft für jedes Jahr in diesen Szenarien. Begrenzte Bioenergie: Höchstens 100 EJ pro Jahr moderne Bioenergie-Versorgung weltweit (die für Wärme, Strom, Kombinationen und Industrie genutzte moderne Bioenergie belief sich 2008 auf ca. 18 EJ pro Jahr). EJ = Exajoule = 10<sup>18</sup> Joule.

<sup>e</sup> Prozentualer Anstieg des gegenwärtigen Nettobetragtes von Konsumverlusten in Prozent des Referenzkonsums (für Szenarien aus Allgemeinen Gleichgewichtsmodellen) sowie Vermeidungskosten in Prozent des Referenz-Bruttoinlandsproduktes (BIP, für Szenarien aus Partialgleichgewichtsmodellen) für den Zeitraum 2015–2100, diskontiert mit 5 % pro Jahr.

## SPM 4. Anpassung und Minderung

Viele Anpassungs- und Minderungsoptionen können helfen, den Klimawandel zu bewältigen, jedoch ist keine einzelne Maßnahme allein ausreichend. Die wirksame Umsetzung hängt von Vorgehensweisen und Kooperation auf allen Ebenen ab und kann durch integrierte Maßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel unterstützt werden, die Anpassung und Minderung mit anderen gesellschaftlichen Zielen verknüpfen. {4}

### SPM 4.1 Gemeinsame begünstigende Umstände und Grenzen für Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel

Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel werden durch gemeinsame begünstigende Umstände gefördert. Hierzu zählen effektive Institutionen und politische Steuerung und Koordination, Innovation und Investitionen in umweltfreundliche Technologien und Infrastruktur, nachhaltige Existenzgrundlagen sowie Verhaltens- und Lebensstilentscheidungen. {4.1}

Die Trägheit vieler Aspekte des sozioökonomischen Systems begrenzt Anpassungs- und Minderungsoptionen (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Innovation und Investitionen in umweltfreundliche Infrastruktur und Technologien können THG-Emissionen verringern und die Resilienz gegenüber dem Klimawandel verbessern (*sehr hohes Vertrauen*). {4.1}

Die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel, THG-Emissionen und die Fähigkeit zu Anpassung und Minderung werden stark von Existenzgrundlagen, Lebensstilen, Verhalten und Kultur beeinflusst (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Auch die gesellschaftliche Akzeptanz und/oder Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen wird von dem Umfang beeinflusst, in dem sie Anreize für regional geeignete Lebensstil- oder Verhaltensänderungen schaffen oder von diesen abhängen. {4.1}

Für viele Regionen und Sektoren gehören verbesserte Minderungs- und Anpassungskapazitäten zu den Grundvoraussetzungen für den Umgang mit den Risiken des Klimawandels (*hohes Vertrauen*). Die Verbesserung von Institutionen, sowie von Koordination und Kooperation zwischen politischen Entscheidungsebenen kann dazu beitragen, regionale Einschränkungen zu überwinden, die mit Minderung, Anpassung und der Katastrophenvorsorge verbunden sind (*sehr hohes Vertrauen*). {4.1}

### SPM 4.2 Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

Anpassungsoptionen bestehen in allen Sektoren. Jedoch unterscheiden sich je nach Sektor und Region das Umfeld der Umsetzung und das Potenzial zur Verringerung klimabezogener Risiken. Einige Anpassungsmaßnahmen sind mit signifikanten positiven Nebeneffekten, Synergien und Zielkonflikten verbunden. Zunehmender Klimawandel wird die Anforderungen an viele Anpassungsmöglichkeiten erhöhen. {4.2}

Erfahrungen mit Anpassung werden über Regionen hinweg in den öffentlichen und privaten Sektoren und innerhalb von Gemeinden gesammelt. Der Wert gesellschaftlicher (einschließlich lokaler und indigener), institutioneller und ökosystembasierter Maßnahmen und das Ausmaß von Anpassungseinschränkungen werden zunehmend wahrgenommen. Anpassung wird in einige Planungsprozesse eingebettet, mit noch geringerer Umsetzung von Maßnahmen (*hohes Vertrauen*). {1.6, 4.2, 4.4.2.1}

Es wird erwartet, dass sich der Anpassungsbedarf sowie die damit verbundenen Herausforderungen mit dem Klimawandel erhöhen (*sehr hohes Vertrauen*). Anpassungsoptionen bestehen in allen Sektoren und Regionen, wobei unterschiedliche Potenziale und Herangehensweisen existieren, die von Maßnahmen in ihrem Umfeld zur Verringerung von Verwundbarkeit, Katastrophenrisikomanagement oder proaktiver Anpassungsplanung abhängen (Tabelle SPM.3). Wirksame Strategien und Maßnahmen berücksichtigen das Potenzial für positive Nebeneffekte und Chancen im Rahmen breiter angelegter strategischer Ziele und Entwicklungspläne. {4.2}

**Tabelle SPM.3** | Ansätze für den Umgang mit Risiken des Klimawandels durch Anpassung. Diese Ansätze sollten als überlappend und nicht als getrennt voneinander betrachtet werden, und sie werden häufig gleichzeitig verfolgt. Die angeführten Beispiele folgen keiner bestimmten Reihenfolge und können für mehr als eine Kategorie relevant sein. *{Tabelle 4.2}*

Sich überschneidende Ansätze	Kategorie	Beispiele
<b>Verringerung von Verwundbarkeit &amp; Exposition</b> durch Entwicklung, Planung und praktische Maßnahmen, einschließlich vieler Low-Regret-Maßnahmen Anpassung einschließlich schrittweiser und transformativer Umstellungen	Entwicklung	Verbesserter Zugang zu Bildung, Ernährung, Gesundheitseinrichtungen, Energie, sicheren Wohn- und Siedlungsstrukturen und sozialen Sicherungssystemen; Verringerung von Geschlechterdiskriminierung und sozialer Ausgrenzung anderer Art.
	Armutslinderung	Verbesserter Zugang zu und Kontrolle von lokalen Ressourcen; Grundbesitzverhältnisse; Katastrophenvorsorge; soziale Sicherungsnetze und sozialer Schutz; Versicherungssysteme.
	Sicherung von Existenzgrundlagen	Diversifikation von Einkommen, Vermögen und Lebensunterhalt; verbesserte Infrastruktur; Zugang zu Technologie- und Entscheidungsgremien; verstärkte Beteiligung an Entscheidungen; veränderte Anbau-, Viehhaltungs- und Aquakultur-Verfahren, belastbare soziale Netzwerke.
	Management von Katastrophenrisiko	Frühwarnsysteme; systematische Erfassung von Gefährdungen und Verwundbarkeiten; Diversifikation von Wasserressourcen; verbesserte Entwässerung; Schutzräume gegen Überschwemmungen und Stürme; Bauvorschriften und -verfahren; Niederschlagswasser- und Abwassermanagement; Verbesserungen von Transport- und Verkehrsinfrastruktur.
	Ökosystemmanagement	Erhalt von Feuchtgebieten und städtischen Grünflächen; Küstenbewaldung; Management von Wassereinzugsgebieten und Staubecken; Verringerung sonstiger Stressoren für Ökosysteme und der Fragmentierung natürlicher Lebensräume; Erhalt genetischer Vielfalt; Beeinflussung von Störungsregimen; Management natürlicher Ressourcen auf Gemeindeebene.
	Raum- oder Landnutzungsplanung	Bereitstellung geeigneter Wohnbedingungen, Infrastruktur und Dienstleistungen; Erschließungsmanagement in hochwassergefährdeten und anderen Gebieten mit hohem Risiko; Stadtplanungs- und Modernisierungsprogramme; Gesetze zur Raumordnung; Nutzungsrechte; Schutzgebiete.
	Strukturell/physisch	<b>Großtechnische und bauliche Optionen:</b> Uferdämme und Küstenschutzmaßnahmen; Hochwasserdeiche; Wasserspeicher; verbesserte Entwässerung; Schutzräume gegen Überschwemmung und Stürme; Bauvorschriften und -verfahren; Niederschlagswasser- und Abwassermanagement; Verbesserung der Transport- und Verkehrsinfrastruktur; schwimmende Häuser; Anpassungen von Kraftwerken und Stromnetzen. <b>Technologische Optionen:</b> Neue Nutzpflanzen- und Tierzüchtungen; indigenes, traditionelles und lokales Wissen, Technologien und Methoden; effiziente Bewässerung; wassersparende Technologien; Entsalzung; bodenschonende Landwirtschaft; Einrichtungen zur Lagerung und Konservierung von Nahrungsmitteln; Systematische Erfassung und Überwachung von Gefährdungen und Verwundbarkeiten; Frühwarnsysteme; Gebäudedämmung, mechanische und passive Kühlung; Technologieentwicklung, -transfer und -verbreitung. <b>Ökosystembasierte Optionen:</b> Renaturierung; Bodenschutz, Aufforstung und Wiederaufforstung; Schutz und Neupflanzung von Mangroven; Grüne Infrastruktur (z. B. Schattenbäume, Gründächer); Begrenzung der Überfischung; Mitbestimmung in der Fischerei; unterstützte Artenmigration und -ausbreitung; ökologische Korridore, Saatgut- und Genbanken und andere <i>Ex-situ</i> -Erhaltungsmaßnahmen; Management natürlicher Ressourcen auf Gemeindeebene. <b>Dienstleistungen:</b> Soziale Sicherheitsnetze und sozialer Schutz; Lebensmittelbanken und Verteilung von Nahrungsmittelüberschüssen, städtische Dienstleistungen einschließlich Wasserversorgung und Abwasserentsorgung; Impfprogramme; öffentliche Gesundheits-Grundversorgung; verbesserte Notfallmedizinische Leistungen.
		<b>Wirtschaftliche Optionen:</b> Finanzielle Anreize; Versicherungen; Katastrophenschutzfonds, Zahlungen für Ökosystemdienstleistungen, Bepreisung von Wasser als Anreiz zur allgemeinen Versorgung und zur sparsamen Verwendung; Mikrofinanzierung; Sicherheitsrücklagen für den Katastrophenfall; Bargeldtransfer; öffentlich-private Partnerschaften. <b>Gesetze und Vorschriften:</b> Raumordnungsgesetze; Baunormen und -verfahren; Nutzungsrechte; Wasservorschriften und -abkommen; Gesetze zur Katastrophenvorsorge; Gesetze zur Förderung von Versicherungsabschlüssen; Schaffung klar definierter Eigentumsrechte und sicherer Grundbesitzverhältnisse; Schutzgebiete; Fischfangquoten; Patentpools und Technologietransfer. <b>Politische Maßnahmen und Programme auf nationaler und Regierungsebene:</b> Nationale und regionale Anpassungspläne, einschließlich Mainstreaming (Integration in bestehende Politikbereiche); subnationale und lokale Anpassungspläne; wirtschaftliche Diversifikation; urbane Aufwertungsprogramme; städtische Wasserwirtschaftsprogramme; Katastrophenschutzplanung und -vorsorge; integriertes Wasserressourcenmanagement; integriertes Küstenzonenmanagement; ökosystembasiertes Management; gemeindebasierte Anpassung.
		<b>Bildungsbezogene Optionen:</b> Sensibilisierung und Integration in die Bildung; Geschlechtergleichstellung in der Bildung; Erwachsenenbildung; Bereitstellung von indigenem, traditionellem und lokalem Wissen; Erforschung partizipativen Vorgehens und soziales Lernen, Plattformen für Wissensaustausch und Lernen. <b>Informatorische Optionen:</b> Systematische Erfassung von Gefährdungen und Verwundbarkeiten; Frühwarn- und Reaktionssysteme; systematische Überwachung und Fernerkundung; Klimadienstleistungen; Nutzung indigener Klimabeobachtungen; partizipative Entwicklung von Szenarien; integrierte Bewertung. <b>Verhaltensorptionen:</b> Vorbereitung der Haushalte und Evakuierungsplanung; Migration; Boden- und Wasserschutz; Freilegung von Regenwasserkanälen; Diversifikation von Existenzgrundlagen; veränderte Anbau-, Viehhaltungs- und Aquakultur-Verfahren; belastbare soziale Netzwerke.
	Bereiche der Veränderung	<b>Praktisch:</b> Soziale und technische Neuerungen; Verhaltensänderungen oder institutionelle und betriebswirtschaftliche Änderungen, die zu wesentlichen Ergebnisverschiebungen führen. <b>Politisch:</b> Politische, soziale, kulturelle und ökologische Entscheidungen und Handlungen im Einklang mit der Verringerung von Verwundbarkeit und Risiken und der Unterstützung von Anpassung, Minderung und nachhaltiger Entwicklung. <b>Persönlich:</b> Anschauungen, Überzeugungen, Werte und Weltanschauungen des Einzelnen und von Gesellschaften, die Reaktionen auf den Klimawandel beeinflussen.

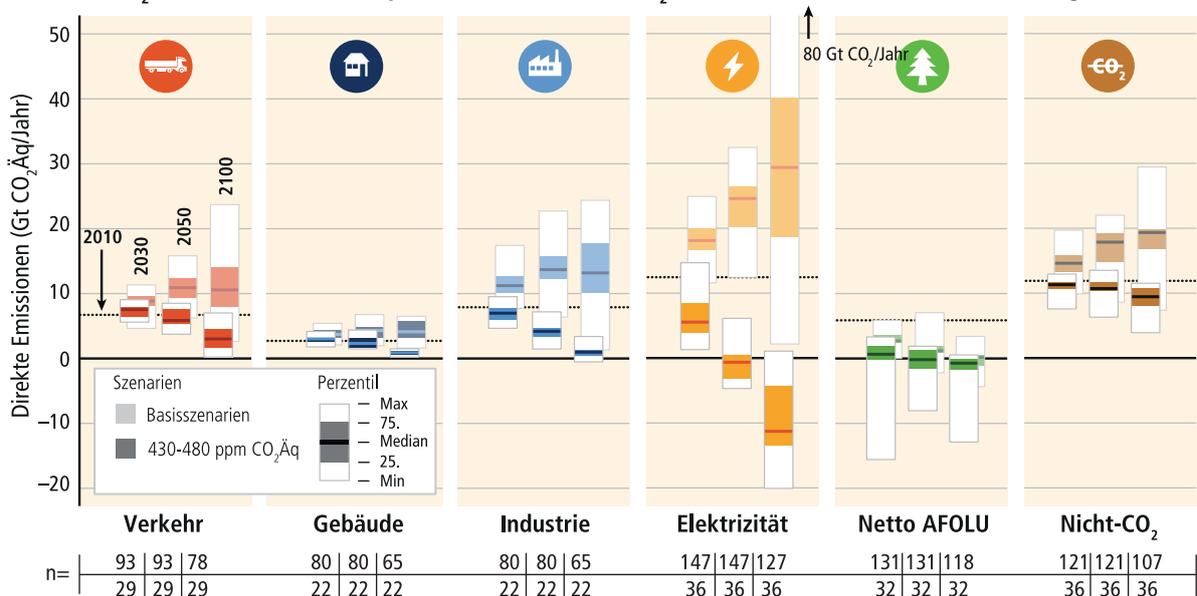
SPM 4.3 Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels

**Minderungsoptionen bestehen in jedem wichtigen Sektor. Minderung kann kosteneffizienter sein, wenn ein integrierter Ansatz verfolgt wird, der Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasintensität von Endverbrauchssektoren, zur Dekarbonisierung der Energieversorgung, zur Verringerung von Nettoemissionen und zur Stärkung von Kohlenstoffsenken in landbasierten Sektoren kombiniert. {4.3}**

Gut gestaltete systemische und sektorenübergreifende Minderungsstrategien sind kosteneffizienter in der Emissionsminderung als ein Fokus auf einzelne Technologien und Sektoren, wobei die Bemühungen in einem Sektor den Minderungsbedarf in anderen beeinflussen (*mittleres Vertrauen*). Minderungsmaßnahmen überschneiden sich mit anderen gesellschaftlichen Zielen, was die Möglichkeit positiver oder negativer Nebeneffekte schafft. Wenn diesen Überschneidungen überlegt begegnet wird, können sie die Grundlage für Klimaschutzmaßnahmen stärken. {4.3}

Abbildung SPM.14 zeigt Emissionsbereiche für unterschiedliche Sektoren und Gase in Basisszenarien und Minderungsszenarien, die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen auf niedrige Niveaus begrenzen (ca. 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq, *wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellen Niveaus). Zu den Schlüsselmaßnahmen, um solche Minderungsziele zu erreichen, zählen die Dekarbonisierung (d. h. Verringerung der Kohlenstoffintensität) der Stromerzeugung (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*), sowie Effizienzsteigerungen und Verhaltensänderungen, um den Energiebedarf gegenüber Basisszenarien zu verringern, ohne die wirtschaftliche Entwicklung einzuschränken (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). In Szenarien, die Konzentrationen von 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 erreichen, wird ein Rückgang der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieversorgungssektor über das nächste Jahrzehnt projiziert, und sie sind durch Verringerungen um 90 % oder mehr unter das Niveau von 2010 in den Jahren zwischen 2040 und 2070 gekennzeichnet. In den meisten Stabilisierungsszenarien mit niedrigen Konzentrationen (etwa 450 bis etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq, Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellen Niveaus *mindestens etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*), steigt der Anteil kohlenstoffarmer

Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Hauptsektoren und Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen für Basis- und Minderungsszenarien



**Abbildung SPM.14** | Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen nach Sektor und gesamte Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase (Kyotogase) über Sektoren hinweg in Basisszenarien (blasse Balken) und Minderungsszenarien (farbige Balken), die Konzentrationen von etwa 450 (430 bis 480) ppm CO<sub>2</sub>Äq in 2100 erreichen (*wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellem Niveau). Minderung in den Endverbrauchssektoren führt auch zu Rückgängen indirekter Emissionen im vorgelagerten Energieversorgungssektor. Direkte Emissionen der Endverbrauchssektoren beinhalten daher nicht das Emissionsminderungspotenzial auf der Versorgerseite, z. B. aufgrund eines verringerten Strombedarfs. Die Zahlen am unteren Rand der Grafiken beziehen sich auf die Anzahl von Szenarien, die in den jeweiligen Bandbreiten enthalten sind (obere Zeile: Basisszenarien, untere Zeile: Minderungsszenarien), welche sich je nach Sektor und Zeit aufgrund unterschiedlicher sektoraler Auflösungen und Zeithorizonte der Modelle unterscheidet. Emissionsbereiche für Minderungsszenarien schließen das vollständige Portfolio an Minderungsoptionen ein; viele Modelle können Konzentrationen von 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis 2100 ohne Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS) nicht erreichen. Negative Emissionen im Stromsektor sind auf die Anwendung von Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS) zurückzuführen. „Netto“-Emissionen aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (AFOLU) berücksichtigen Aufforstungs-, Wiederaufforstungs- sowie Entwaldungsmaßnahmen. {4.3, Abbildung 4.1}

Stromversorgung (bestehend aus Erneuerbaren Energien (EE), Atomenergie und Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS), einschließlich Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS)) vom derzeitigen Anteil von ungefähr 30 % auf mehr als 80 % bis zum Jahr 2050, und der Ausstieg aus der Stromerzeugung mittels fossiler Brennstoffe ohne CCS ist bis 2100 fast vollständig vollzogen. {4.3}

Zeitnahe Verringerungen des Energiebedarfs stellen ein wichtiges Element kosteneffizienter Minderungsstrategien dar, erlauben eine größere Flexibilität zur Verringerung der Kohlenstoffintensität im Energieversorgungssektor, bieten eine Absicherung gegen damit einhergehende Versorgungsrisiken, vermeiden einen Lock-In-Effekt im Hinblick auf kohlenstoffintensive Infrastrukturen und sind mit bedeutenden positiven Nebeneffekten verbunden. In der Forstwirtschaft sind die kosteneffizientesten Minderungsoptionen Aufforstung, nachhaltige Forstwirtschaft und Verringerung der Entwaldung, wobei es regional große Unterschiede hinsichtlich ihrer relativen Bedeutung gibt. In der Landwirtschaft sind geeignete Bewirtschaftung von Anbau- und Weideflächen sowie die Rekultivierung organischer Böden (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*) zu nennen. {4.3, Abbildungen 4.1, 4.2, Tabelle 4.3}

Verhalten, Lebensstil und Kultur haben beträchtlichen Einfluss auf die Energienutzung und damit verbundene Emissionen, mit einem hohen Minderungspotenzial in einigen Sektoren, insbesondere als Ergänzung zu Technologie- und Strukturwandel (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Emissionen können durch Änderungen von Konsummustern, die Umsetzung von Energiesparmaßnahmen, Ernährungsumstellungen und die Verringerung von Nahrungsmittelverschwendung erheblich gesenkt werden. {4.1, 4.3}

### SPM 4.4 Politische Ansätze für Anpassung und Minderung, Technologie und Finanzierung

**Wirksame Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel werden von politischen Maßnahmen auf mehreren Ebenen abhängen: international, regional, national und subnational. Auf sämtlichen Ebenen können Maßnahmen, die die Entwicklung, die Verbreitung und den Transfer von Technologien sowie die Finanzierung von Reaktionen auf den Klimawandel unterstützen, die Wirksamkeit von Politikinstrumenten ergänzen und verbessern, die Anpassung und Minderung direkt voranbringen. {4.4}**

Internationale Zusammenarbeit ist entscheidend für wirksame Minderung, obwohl Minderung auch lokale positive Nebeneffekte haben kann. Anpassung zielt primär auf Ergebnisse von lokaler bis nationaler Tragweite ab, ihre Wirksamkeit kann jedoch durch Koordination über sämtliche Entscheidungsebenen hinweg, einschließlich internationaler Kooperation, verbessert werden: {3.1, 4.4.1}

- Das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) ist das wichtigste multilaterale Forum, das sich mit nahezu universeller Beteiligung auf den Umgang mit dem Klimawandel konzentriert. Andere Institutionen, die auf unterschiedlichen Governance-Ebenen organisiert sind, haben zu einer Diversifizierung der internationalen Zusammenarbeit in Bezug auf Klimawandel geführt. {4.4.1}
- Das Kyoto-Protokoll bietet Erfahrungen, die für den Fortschritt im Hinblick auf das oberste Ziel der UNFCCC hilfreich sein können, insbesondere im Hinblick auf Beteiligung, Umsetzung, Flexibilitätsmechanismen und Umweltwirksamkeit (*mittelstarke Belege, geringe Übereinstimmung*). {4.4.1}
- Regionale, nationale und subnationale klimapolitische Strategien zu verknüpfen, eröffnet mögliche Vorteile für den Klimaschutz (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Geringere Minderungskosten, verringerte Leckage durch Emissionsverlagerungen und erhöhte Marktliquidität gehören zu den potenziellen Vorteilen. {4.4.1}
- Internationale Kooperation zur Unterstützung von Anpassungsplanung und -umsetzung hat in der Vergangenheit weniger Aufmerksamkeit erfahren als Minderung, nimmt jedoch zu und hat die Erstellung von Anpassungsstrategien, -plänen und -maßnahmen auf nationaler, subnationaler und lokaler Ebene unterstützt (*hohes Vertrauen*). {4.4.1}

Seit dem AR4 hat die Zahl nationaler und subnationaler Pläne und Strategien sowohl für Anpassung als auch für Minderung beträchtlich zugenommen. Der Fokus lag dabei zunehmend auf Politikmaßnahmen, die mehrere Ziele integrieren, positive Nebeneffekte steigern und negative Nebeneffekte verringern sollen (*hohes Vertrauen*): {4.4.2.1, 4.4.2.2}

- Nationale Regierungen spielen eine entscheidende Rolle in der Planung und Umsetzung von Anpassung (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*) durch die Koordinierung von Handlungen sowie die Bereitstellung von Rahmenbedingungen und Unterstützung. Obwohl lokale Regierungen und der Privatsektor unterschiedliche Funktionen haben, die sich regional unterscheiden, werden sie zunehmend als entscheidend für den Anpassungsfortschritt anerkannt aufgrund ihrer Rolle beim Ausbau von Anpassungsmaßnahmen in Gemeinden, Haushalten und in der Zivilgesellschaft sowie beim Management von Risikoinformation und Finanzierung (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {4.4.2.1}
- Institutionelle Dimensionen der politischen Steuerung und Koordination von Anpassung, einschließlich der Integration von Anpassung in Planungs- und Entscheidungsprozesse, spielen eine entscheidende Rolle dabei, den Übergang von der Anpassungsplanung zur Umsetzung voranzubringen (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Beispiele institutioneller Herangehensweisen an Anpassung, die mehrere Akteure einbeziehen, sind wirtschaftliche Optionen (z. B. Versicherungen, öffentlich-private Partnerschaften), Gesetze und Vorschriften (z. B. Gesetze zur Raumordnung), sowie politische Maßnahmen und Programme auf nationaler und Regierungsebene (z. B. wirtschaftliche Diversifikation). {4.2, 4.4.2.1, Tabelle SPM.3}
- Grundsätzlich können Mechanismen, die einen Kohlenstoffpreis festlegen, einschließlich „cap-and-trade“-Systeme und CO<sub>2</sub>-Steuern, Minderung auf kosteneffiziente Weise erreichen. Allerdings wurden sie mit unterschiedlichem Erfolg umgesetzt, was teilweise auf nationale Umstände, aber auch auf ihre Gestaltung zurückzuführen ist. Der kurzfristige Effekt von „cap-and-trade“-Systemen war aufgrund von lockeren Obergrenzen oder Obergrenzen, die sich nicht als limitierend erwiesen haben, begrenzt (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). In einigen Ländern haben steuerbasierte Strategien, die spezifisch auf die Verringerung von THG-Emissionen ausgerichtet waren – neben Technologie- und anderen Maßnahmen – dazu beigetragen, die Kopplung von THG-Emissionen und BIP aufzuweichen (*hohes Vertrauen*). Darüber hinaus haben in vielen Ländern Mineralölsteuern (auch wenn diese nicht notwendigerweise zum Zwecke der Minderung eingeführt wurden) Auswirkungen, die sektoralen CO<sub>2</sub>-Steuern ähneln. {4.4.2.2}
- Regulatorische Ansätze und Informationsmaßnahmen werden in großem Umfang angewandt und sind häufig ökologisch wirksam (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Beispiele regulatorischer Ansätze sind Energieeffizienzstandards; Beispiele für Informationsprogramme sind Kennzeichnungsprogramme, die Verbrauchern helfen können, besser informierte Entscheidungen zu treffen. {4.4.2.2}
- Sektorspezifische Strategien zur Minderung wurden in größerem Umfang angewandt als gesamtwirtschaftliche (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Sektorspezifische Strategien sind möglicherweise besser geeignet, um sektorspezifischen Hemmnissen oder Marktversagen zu begegnen und können in Paketen sich ergänzender Maßnahmen gebündelt werden. Obwohl sie theoretisch kosteneffizienter sind, könnten administrative und politische Hemmnisse die Umsetzung gesamtwirtschaftlicher Strategien erschweren. Wechselwirkungen zwischen oder innerhalb von Minderungsmaßnahmen können Synergieeffekte hervorbringen oder keinen zusätzlichen emissionsmindernden Effekt haben. {4.4.2.2}
- Wirtschaftliche Instrumente in Form von Subventionen können über Sektoren hinweg angewendet werden und beinhalten eine Vielzahl politischer Gestaltungsmöglichkeiten, wie Steuerrabatte oder -befreiungen, Zuschüsse, Darlehen und Kreditlinien. Eine zunehmende Anzahl und Bandbreite von EE-Programmen, einschließlich von Subventionen – durch viele Faktoren motiviert – hat das beschleunigte Wachstum von EE-Technologien in den letzten Jahren angetrieben. Gleichzeitig kann die Kürzung von Subventionen für THG-bezogene Aktivitäten in verschiedenen Sektoren eine Verringerung von Emissionen bewirken, je nach gesellschaftlichem und wirtschaftlichem Kontext (*hohes Vertrauen*). {4.4.2.2}

Positive und negative Nebeneffekte von Minderung könnten das Erreichen anderer Ziele beeinflussen, wie jener, die mit Gesundheit des Menschen, Ernährungssicherung, Biodiversität, lokaler Umweltqualität, Energiezugang, Existenzgrundlagen und gerechter nachhaltiger Entwicklung verbunden sind. Das Potenzial für positive Nebeneffekte von Energieendnutzungsmaßnahmen wiegt das Potenzial für negative Nebeneffekte auf, wobei es Belege dafür gibt, dass dies nicht für alle Energieversorgungs- und Landwirtschafts-, Forstwirtschafts- und andere Landnutzungsmaßnahmen (AFOLU-Maßnahmen) zutrifft. Manche Minderungsmaßnahmen erhöhen die Preise für einige Energiedienstleistungen und könnten es Gesellschaften erschweren, den Zugang zu modernen Energiedienstleistungen auf unterversorgte Bevölkerungsgruppen auszuweiten (*geringes Vertrauen*). Diese potenziellen negativen Nebeneffekte auf den Energiezugang können durch die Einführung ergänzender politischer Maßnahmen wie Einkommensteuerrabatten oder anderen Leistungstransfermechanismen vermieden werden (*mittleres Vertrauen*). Ob Nebeneffekte auftreten oder nicht, und in welchem Ausmaß sich diese materialisieren, wird fall- und lagespezifisch sein und von den Umständen vor Ort sowie vom Maßstab, Umfang und der Geschwindigkeit der Implementierung abhängen. Viele positive und negative Nebeneffekte sind bislang nicht ausreichend quantifiziert. {4.3, 4.4.2.2, Box 3.4}

Technologiepolitik (Entwicklung, Verbreitung und Transfer) ergänzt andere Minderungsmaßnahmen auf allen Ebenen, von international bis subnational; auch viele Anpassungsbemühungen hängen entscheidend von der Verbreitung und dem Transfer von Technologien und Management-Verfahren ab (*hohes Vertrauen*). Es gibt Maßnahmen, um Marktversagen in Forschung und Entwicklung zu begegnen, jedoch kann die effektive Nutzung von Technologien auch von den Kapazitäten abhängen, Technologien zu übernehmen, die für die lokalen Gegebenheiten geeignet sind. {4.4.3}

Substanzielle Verringerungen von Emissionen würden große Änderungen der Investitionsmuster erfordern (*hohes Vertrauen*). In Minderungsszenarien mit einer Stabilisierung der Konzentrationen (ohne Überschreitung) im Bereich von 430 bis 530 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bis 2100<sup>19</sup> wird ein Anstieg der jährlichen Investitionen in kohlenstoffarme Stromversorgung und Energieeffizienz in Schlüsselsektoren (Transport, Industrie und Gebäude) um mehrere hundert Milliarden Dollar pro Jahr vor 2030 in den Szenarien projiziert. In einem geeigneten förderlichen Umfeld kann der private Sektor gemeinsam mit dem öffentlichen Sektor eine wichtige Rolle bei der Finanzierung von Minderung und Anpassung einnehmen (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {4.4.4}

Sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern sind finanzielle Ressourcen für Anpassung weniger schnell verfügbar geworden als für Minderung. Begrenzte Belege deuten darauf hin, dass zwischen dem globalen Bedarf an Anpassung und den für Anpassung verfügbaren Finanzmitteln eine Lücke besteht (*mittleres Vertrauen*). Globale Anpassungskosten, -finanzierung und -investitionen müssen besser untersucht werden. Potenzielle Synergien zwischen der internationalen Finanzierung des Managements von Katastrophenrisiko und von Anpassung wurden noch nicht voll verwirklicht (*hohes Vertrauen*). {4.4.4}

### SPM 4.5 Zielkonflikte, Synergien und Wechselwirkungen mit nachhaltiger Entwicklung

**Der Klimawandel gefährdet nachhaltige Entwicklung. Gleichwohl bestehen viele Möglichkeiten, Minderung, Anpassung und die Verfolgung anderer gesellschaftlicher Ziele durch integrierte Maßnahmen miteinander zu verknüpfen (*hohes Vertrauen*). Der Erfolg ihrer Umsetzung hängt von zweckdienlichen Instrumenten, geeigneten Strukturen der politischen Steuerung und Koordination sowie von verbesserten Kapazitäten ab, auf den Klimawandel zu reagieren (*mittleres Vertrauen*). {3.5, 4.5}**

Der Klimawandel verstärkt andere Bedrohungen für gesellschaftliche und natürliche Systeme, mit zusätzlichen Belastungen insbesondere für die Armen (*hohes Vertrauen*). Die Abstimmung von Klimapolitik und nachhaltiger Entwicklung erfordert sowohl die Beachtung von Anpassung als auch von Minderung (*hohes Vertrauen*). Eine Verzögerung globaler Minderungsmaßnahmen kann die Optionen für klimaresiliente Pfade und Anpassung in der Zukunft reduzieren. Möglichkeiten, Vorteile aus positiven Synergien zwischen Anpassung und Minderung zu ziehen, können mit der Zeit abnehmen, insbesondere, wenn die Grenzen der Anpassung überschritten werden. Zunehmende Bemühungen um Minderung und Anpassung an den Klimawandel bedeuten eine zunehmende Komplexität von Wechselwirkungen, wie Verbindungen zwischen Gesundheit des Menschen, Wasser, Energie, Landnutzung und Biodiversität (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {3.1, 3.5, 4.5}

Es können nun Strategien und Maßnahmen verfolgt werden, die den Übergang in Richtung klimaresilienter Pfade für eine nachhaltige Entwicklung fördern, während sie gleichzeitig dabei helfen, Existenzgrundlagen, das gesellschaftliche und wirtschaftliche Wohlergehen und ein wirksames Umweltmanagement zu verbessern. In einigen Fällen kann wirtschaftliche Diversifikation ein wichtiger Bestandteil solcher Strategien sein. Die Wirksamkeit integrierter Maßnahmen kann durch zweckdienliche Instrumente, geeignete Strukturen der politischen Steuerung und Koordination sowie angemessene institutionelle und personelle Kapazitäten erhöht werden (*mittleres Vertrauen*). Integrierte Ansätze im Umgang mit dem Klimawandel sind insbesondere relevant für die Energieplanung und -umsetzung, für die Wechselwirkungen zwischen Wasser, Ernährung, Energie und biologischer Kohlenstoffsequestrierung sowie für die Stadtplanung. Letztere bietet beträchtliche Möglichkeiten für verbesserte Resilienz, verringerte Emissionen und eine nachhaltigere Entwicklung (*mittleres Vertrauen*). {3.5, 4.4, 4.5}

<sup>19</sup> Dieser Bereich umfasst Szenarien, die 430 bis 480 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bis 2100 erreichen (*wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellem Niveau) sowie Szenarien, die 480 bis 530 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bis 2100 erreichen (ohne Überschreitung; Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellem Niveau *eher wahrscheinlich als nicht*).

# **Klimaänderung 2014**

## **Synthesebericht**



A large blue rounded rectangle is positioned in the top-left corner of the page.

# Einführung

## Einführung

Der Synthesebericht (SYR) zum Fünften Sachstandsbericht des IPCC (AR5) bietet einen Überblick über den Stand der Wissenschaft hinsichtlich des Klimawandels, wobei er neue Ergebnisse seit der Veröffentlichung des Vierten Sachstandsberichts des IPCC (AR4) im Jahr 2007 in den Vordergrund stellt. Der Synthesebericht synthetisiert die Hauptaussagen des AR5, basierend auf den Beiträgen von Arbeitsgruppe I (*Naturwissenschaftliche Grundlagen*), Arbeitsgruppe II (*Folgen, Anpassung und Verwundbarkeit*) und Arbeitsgruppe III (*Minderung des Klimawandels*), sowie zwei zusätzlichen IPCC-Berichten (*Sonderbericht über Erneuerbare Energiequellen und die Minderung des Klimawandels* und *Sonderbericht zum Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel*).

Der AR5 SYR ist in vier Themen unterteilt. Thema 1 (Beobachtete Änderungen und deren Ursachen) befasst sich mit beobachtungsbasierten Belegen für ein sich änderndes Klima, den Folgen dieser Veränderung und den Beiträgen des Menschen hierzu. Thema 2 (Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen) bewertet Projektionen des zukünftigen Klimawandels und die daraus resultierenden projizierten Folgen

und Risiken. Thema 3 (Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und nachhaltigen Entwicklung) betrachtet Anpassung und Minderung als komplementäre Strategien zur Verringerung und Bewältigung der Risiken des Klimawandels. Thema 4 (Anpassung und Minderung) beschreibt individuelle Anpassungs- und Minderungsoptionen sowie politische Ansätze. Es befasst sich auch mit integrierten Maßnahmen, die Minderung und Anpassung mit anderen gesellschaftlichen Zielen verknüpfen.

Die Herausforderungen, Risiken und Unsicherheiten zu verstehen und zu bewältigen, sind wichtige Themen dieses Berichtes. Siehe Box 1 (Risiken und Management einer unsicheren Zukunft) und Box 2 (Kommunikation des Gewissheitsgrades von Bewertungsergebnissen).

Dieser Bericht enthält Informationen, die relevant sind im Hinblick auf Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC).

### Box Einführung.1 | Risiko und Management einer unsicheren Zukunft

Durch den Klimawandel sind Menschen, Gesellschaften, Wirtschaftssektoren und Ökosysteme Risiken ausgesetzt. Risiko ist das Potenzial für Folgen, wenn etwas von Wert auf dem Spiel steht und das Ergebnis aufgrund der Vielfalt der Werte ungewiss ist. *{WGII SPM Grundlagen-Box SPM.2, WGIII 2.1, SYR Glossar}*

Risiken aus den Folgen des Klimawandels können sich aus der Interaktion zwischen Gefährdung (ausgelöst durch ein mit dem Klimawandel verbundenes Ereignis oder einen Trend), Verwundbarkeit (Anfälligkeit) und Exposition (Menschen, Vermögensgegenstände oder Ökosysteme, die einem Risiko ausgesetzt sind) ergeben. Gefährdungen beinhalten Prozesse, die von kurzzeitigen Ereignissen wie schweren Stürmen bis zu langsamen Trends reichen, wie mehrere Jahrzehnte dauernde Dürren oder den Anstieg des Meeresspiegels über mehrere Jahrhunderte. Verwundbarkeit und Exposition sind gleichermaßen abhängig von einer Vielzahl sozialer und wirtschaftlicher Prozesse, wobei mögliche Zunahmen bzw. Abnahmen von Entwicklungspfaden abhängen. Risiken und positive Nebeneffekte ergeben sich auch aus Vorgehensweisen, die darauf gerichtet sind, den Klimawandel zu mindern bzw. sich diesem anzupassen. (1.5)

Risiko wird häufig als Wahrscheinlichkeit des Auftretens gefährlicher Ereignisse oder Trends multipliziert mit den Folgen bei Eintreten dieser Ereignisse oder Trends dargestellt. Ein hohes Risiko kann sich daher nicht nur durch Auswirkungen mit hoher Wahrscheinlichkeit ergeben, sondern auch durch Auswirkungen mit geringer Wahrscheinlichkeit, jedoch mit schwerwiegenden Folgen. Daher ist es wichtig, die vollständige Bandbreite möglicher Ergebnisse zu bewerten, von Ergebnissen mit geringer Wahrscheinlichkeit bis zu sehr wahrscheinlichen Ergebnissen. So ist es beispielsweise unwahrscheinlich, dass der mittlere globale Meeresspiegel in diesem Jahrhundert um mehr als einen Meter steigt, die Folgen eines höheren Anstiegs könnten jedoch so schwerwiegend sein, dass diese Möglichkeit zu einem signifikanten Teil der Risikobewertung wird. Entsprechend sind Ergebnisse mit geringem Vertrauen aber schweren Folgen ebenfalls politisch relevant; beispielsweise rechtfertigt die Möglichkeit, dass die Reaktion des Amazonaswaldes die Auswirkungen des Klimawandels erheblich verstärken könnte, eine Betrachtung trotz unserer gegenwärtig unzureichenden Fähigkeit, den Ausgang zu projizieren. (2.4, Tabelle 2.3) *{WGI Tabelle 13.5, WGII SPM A-3, 4.4, Box 4-3, WGIII Box 3-9, SYR Glossar}*

Risiko kann entweder qualitativ oder quantitativ verstanden werden. Es kann mithilfe einer Vielzahl formeller und informeller, häufig iterativer, Instrumente und Ansätze verringert und bewältigt werden. Hilfreiche Ansätze zur Bewältigung von Risiken erfordern nicht notwendigerweise eine akkurate Quantifizierung von Risikograden. Ansätze, die unterschiedliche qualitative Werte, Ziele und Prioritäten auf der Grundlage ethischer, psychologischer, kultureller und gesellschaftlicher Faktoren berücksichtigen, könnten die Wirksamkeit von Risikomanagement erhöhen. *{WGII 1.1.2, 2.4, 2.5, 19.3, WGIII 2.4, 2.5, 3.4}*

## Box Einführung.2 | Kommunikation des Gewissheitsgrades von Bewertungsergebnissen

Ein integraler Bestandteil der IPCC-Berichte ist die Darstellung von Stärken und Unsicherheiten im wissenschaftlichen Verständnis, das den Bewertungsergebnissen zugrunde liegt. Unsicherheit kann viele Ursachen haben. Unsicherheiten in der Vergangenheit und Gegenwart sind das Ergebnis von begrenzt verfügbaren Messungen, insbesondere für seltene Ereignisse, und der Herausforderung, Ursachen in komplexen bzw. mehrschichtigen Prozessen zu bewerten, die physikalische und biologische Systeme sowie solche des Menschen umfassen können. Für die Zukunft ändert sich mit dem Klimawandel die Wahrscheinlichkeit diverser Ergebnisse. Viele Prozesse und Mechanismen sind hinlänglich bekannt, andere jedoch nicht. Komplexe Interaktionen zwischen einer Vielzahl klimatischer und nicht-klimatischer Einflüsse, die sich im Laufe der Zeit verändern, führen zu anhaltenden Unsicherheiten, die wiederum zu möglichen Überraschungen führen. Im Vergleich zu früheren IPCC-Berichten bewertet der AR5 eine wesentliche größere Wissensbasis naturwissenschaftlicher, technischer und sozioökonomischer Literatur. {WGI 1.4, WGII SPM A-3, 1.1.2, WGIII 2.3}

Die IPCC Guidance Note on Uncertainty<sup>a</sup> definiert einen gemeinsamen Ansatz zur Bewertung und Kommunikation des Gewissheitsgrades in Aussagen des Bewertungsprozesses. Jede Aussage beruht auf einer Bewertung der zugrunde liegenden Belege und Übereinstimmung. In vielen Fällen ist durch die Synthese von Belegen und Übereinstimmung die Zuordnung eines Vertrauensgrads möglich, insbesondere für Aussagen mit höherer Übereinstimmung und mehreren unabhängigen Belegketten. Der Gewissheitsgrad in jeder Hauptaussage beruht auf Art, Menge, Qualität und Stimmigkeit der Belege (z. B. Datenlage, mechanistischem Verständnis, Theorie, Modellen, Einschätzungen von Expertinnen und Experten) sowie dem Grad der Übereinstimmung. Die zusammenfassenden Begriffe für Belege lauten: begrenzt, mittelstark bzw. belastbar. Für die Übereinstimmung sind sie gering, mittel bzw. hoch. Das Vertrauensniveau wird unter Verwendung von fünf Stufen – sehr gering, gering, mittel, hoch und sehr hoch – und kursiv gedruckt dargestellt, z. B. *mittleres Vertrauen*. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmtes Ergebnis bereits aufgetreten ist oder in Zukunft auftreten wird, kann mit den folgenden Begriffen quantitativ beschrieben werden: praktisch sicher, 99–100 % Wahrscheinlichkeit; äußerst wahrscheinlich, 95–100 %, sehr wahrscheinlich, 90–100 %; wahrscheinlich, 66–100 %; eher wahrscheinlich als nicht, >50–100 %; etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht, 33–66 %; unwahrscheinlich, 0–33 %; sehr unwahrscheinlich, 0–10 %; äußerst unwahrscheinlich, 0–5 % und besonders unwahrscheinlich, 0–1 %. Zusätzliche Begriffe (äußerst wahrscheinlich, 95–100 %; eher wahrscheinlich als nicht >50–100 %; eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich 0–<50 % und äußerst unwahrscheinlich 0–5 %) werden gegebenenfalls auch verwendet. Die bewertete Wahrscheinlichkeit ist kursiv gedruckt, z. B. *sehr wahrscheinlich*. Sofern nicht anderweitig angegeben, ist für Aussagen mit einer Angabe zur Wahrscheinlichkeit ein *hohes* bzw. *sehr hohes Vertrauen* anzunehmen. Wo angemessen, sind Aussagen auch als Tatsachenangaben ohne die Verwendung von Unsicherheitsmerkmalen formuliert. {WGI SPM B, WGII Hintergrund Box SPM.3, WGIII 2.1}

<sup>a</sup> Mastrandrea, M.D., C.B. Field, T.F. Stocker, O. Edenhofer, K.L. Ebi, D.J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K.J. Mach, P.R. Matschoss, G.-K. Plattner, G.W. Yohe und F.W. Zwiers, 2010: Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Genf, Schweiz, 4 Seiten.



# 1

## Beobachtete Änderungen und deren Ursachen

# Thema 1: Beobachtete Änderungen und deren Ursachen

**Der Einfluss des Menschen auf das Klimasystem ist klar und die jüngsten anthropogenen Emissionen von Treibhausgasen sind die höchsten in der Geschichte. Die jüngsten Klimaänderungen hatten weitverbreitete Folgen für natürliche Systeme und solche des Menschen.**

Thema 1 befasst sich mit den beobachtungsbasierten Belegen eines sich ändernden Klimas, den Folgen dieser Veränderung und den Beiträgen des Menschen hierzu. Es diskutiert beobachtete Änderungen des Klimas (1.1) sowie externe Einflüsse auf das Klima (Antriebe) und differenziert dabei nach jenen Antrieben, die anthropogenen Ursprungs sind sowie deren Beitrag nach Wirtschaftssektoren und Treibhausgasen (THG) (1.2). Abschnitt 1.3 ordnet die beobachteten Klimaänderungen ihren Ursachen zu und ordnet die Folgen für natürliche Systeme und solche des Menschen den Klimaänderungen zu. Dabei wird bestimmt, zu welchem Grad diese Folgen auf den Klimawandel zurückgeführt werden können. Die sich ändernde Wahrscheinlichkeit von Extremereignissen und ihren Ursachen werden in Abschnitt 1.4 diskutiert, gefolgt von einer Darstellung von Exposition und Vulnerabilität in einem Risikokontext (1.5) und einem Abschnitt zu Erfahrungen mit Anpassung und Minderung (1.6).

## 1.1 Beobachtete Änderungen im Klimasystem

**Die Erwärmung des Klimasystems ist eindeutig und viele der seit den 1950er Jahren beobachteten Veränderungen waren vorher über Jahrzehnte bis Jahrtausende nie aufgetreten. Die Atmosphäre und der Ozean haben sich erwärmt, die Schnee- und Eismengen sind zurückgegangen und der Meeresspiegel ist angestiegen.**

### 1.1.1 Atmosphäre

**Jedes der letzten drei Jahrzehnte war an der Erdoberfläche sukzessive wärmer als alle vorangegangenen Jahrzehnte seit 1850.** Der Zeitraum 1983–2012 war *sehr wahrscheinlich* die wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 800 Jahre auf der Nordhalbkugel, wo eine solche Bewertung möglich ist (*hohes Vertrauen*) und *wahrscheinlich* die wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 1400 Jahre (*mittleres Vertrauen*). {WGI SPM B.1, 2.4.3, 5.3.5}

Die global gemittelten kombinierten Land- und Ozean-Oberflächen-temperaturdaten, berechnet als linearer Trend, zeigen eine Erwärmung von 0,85 °C [0,65 bis 1,06]<sup>20</sup> über den Zeitraum 1880 bis 2012, für den mehrere unabhängig erstellte Datensätze vorliegen. Der gesamte Anstieg zwischen dem Mittel der Periode 1850–1900 und der Periode 2003–2012 beträgt 0,78 [0,72 bis 0,85] °C, basierend auf dem längsten verfügbaren Datensatz. Im Verlauf des längsten Zeitraumes, für welchen die Berechnung von regionalen Trends ausreichend vollständig ist (1901 bis 2012) hat sich fast die gesamte Erdoberfläche erwärmt. (Abbildung 1.1). {WGI SPM B.1, 2.4.3}

Zusätzlich zur belastbaren Erwärmung über mehrere Jahrzehnte zeigt die mittlere globale Oberflächentemperatur erhebliche Schwankungen im Bereich von Jahren und Jahrzehnten (Abbildung 1.1). Aufgrund dieser natürlichen Variabilität sind Trends, die auf kurzen Zeitreihen beruhen, sehr abhängig von ihren Anfangs- und Enddaten und geben im Allgemeinen nicht den langfristigen Klima-Trend wieder. Beispielsweise ist die Geschwindigkeit der Erwärmung über die letzten 15 Jahre (1998–2012; 0,05 [–0,05 bis 0,15] °C pro Jahrzehnt), die mit einem starken El Niño beginnt, kleiner als die seit 1951 berechnete Geschwin-

digkeit (1951–2012; 0,12 [0,08 bis 0,14] °C pro Jahrzehnt; siehe Box 1.1). {WGI SPM B.1, 2.4.3}

Basierend auf mehreren unabhängigen Analysen von Messungen ist es *praktisch sicher*, dass sich seit Mitte des 20. Jahrhunderts die Troposphäre erwärmt und die untere Stratosphäre abgekühlt hat. Es besteht ein *mittleres Vertrauen* in die Geschwindigkeit der Veränderung und deren vertikale Struktur in der außertropischen Troposphäre der Nordhemisphäre. {WGI SPM B.1, 2.4.4}

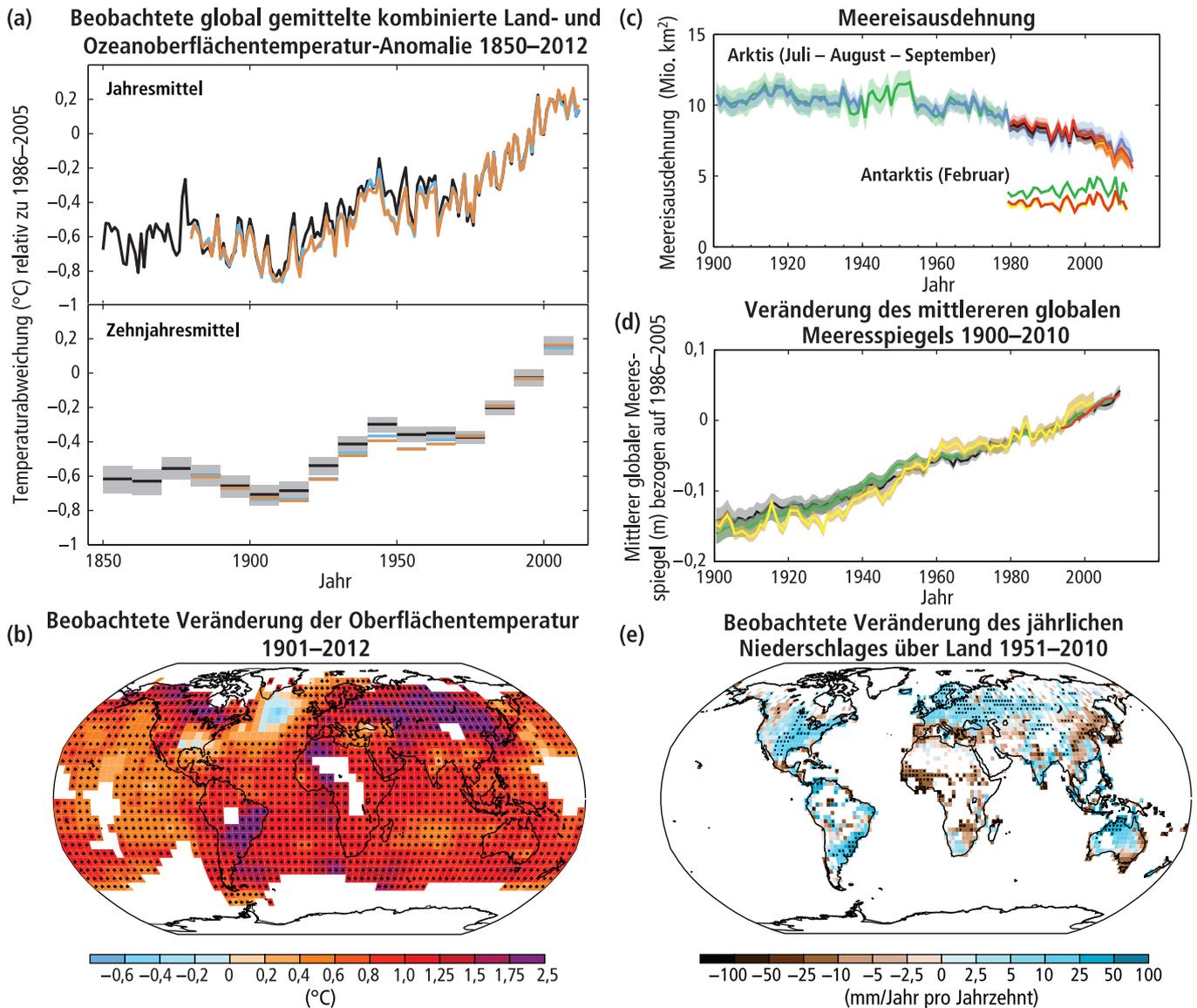
Das *Vertrauen* in die Niederschlagsänderungen, gemittelt über die globalen Landflächen seit 1901, ist vor 1951 *gering* und danach *mittel*. Gemittelt über die Landflächen der mittleren Breiten der Nordhemisphäre haben Niederschläge seit 1901 *wahrscheinlich* zugenommen (*mittleres Vertrauen* vor und *hohes Vertrauen* nach 1951). Für die flächengemittelten langfristigen positiven oder negativen Trends in anderen Breitengraden ist das *Vertrauen gering*. (Abbildung 1.1). {WGI SPM B.1, Abbildung SPM.2, 2.5.1}

### 1.1.2 Ozean

**Die Erwärmung des Ozeans dominiert den Zuwachs der im Klimasystem gespeicherten Energie und macht mehr als 90 % der zwischen 1971 und 2010 akkumulierten Energie aus (*hohes Vertrauen*), während lediglich 1 % in der Atmosphäre gespeichert wurde (Abbildung 1.2).** Global betrachtet ist die Erwärmung des Ozeans nahe der Oberfläche am größten, und die obersten 75 m sind im Zeitraum von 1971 bis 2010 um 0,11 [0,09 bis 0,13] °C pro Jahrzehnt wärmer geworden. Es ist *praktisch sicher*, dass sich der obere Ozean (0–700 m) zwischen 1971 und 2010 erwärmt hat, und *wahrscheinlich*, dass er sich zwischen den 1870er Jahren und 1971 erwärmt hat. Es ist *wahrscheinlich*, dass sich der Ozean von 700 bis 2000 m Tiefe zwischen 1957 und 2009 und von 3000 m bis zum Meeresgrund im Zeitraum 1992 bis 2005 erwärmt hat (Abbildung 1.2). {WGI SPM B.2, 3.2, Box 3.1}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass seit den 1950er Jahren Regionen mit hohem Salzgehalt an der Meeresoberfläche, in denen Verdunstung überwiegt, salziger geworden sind, während Regionen mit niedrigem Salzge-

<sup>20</sup> Intervalle in eckigen Klammern geben einen 90-prozentigen Unsicherheitsbereich an, sofern nicht anders angegeben. Der 90 %-Unsicherheitsbereich entspricht der Erwartung, dass der geschätzte Wert mit 90-prozentiger Wahrscheinlichkeit in diesem Bereich liegt. Unsicherheitsbereiche sind nicht notwendigerweise symmetrisch zur entsprechenden besten Schätzung. Eine bestmögliche Schätzung dieses Wertes ist ebenfalls angegeben, sofern verfügbar.

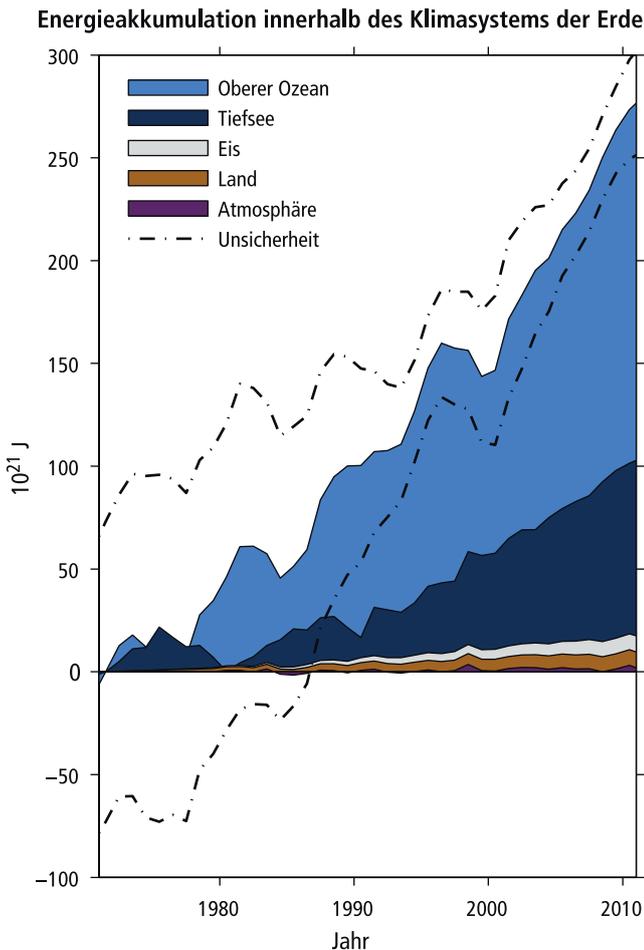


**Abbildung 1.1** | Verschiedene beobachtete Indikatoren eines sich ändernden globalen Klimasystems. **(a)** Beobachtete global gemittelte Anomalien der Land- und Meeresoberflächentemperatur (bezogen auf das Mittel des Zeitraums 1886 bis 2005, als Jahres- bzw. Zehnjahresmittel), einschließlich einer Schätzung der Unsicherheit der Zehnjahresmittel für einen Datensatz (graue Schattierung). {WGI Abbildung SPM.1, Abbildung 2.20; eine Auflistung von Datensätzen und weiteren technischen Einzelheiten ist in der Technischen Zusammenfassung von WGI im Zusatzmaterial WGI TS.SM.1.1 enthalten} **(b)** Karte der beobachteten Temperaturveränderung von 1901 bis 2012, abgeleitet von Temperaturtrends, die durch lineare Regression aus einem Datensatz ermittelt wurden (orangefarbene Linie in Tafel a). Trends wurden dort berechnet, wo die Datenverfügbarkeit eine robuste Schätzung erlaubt (z. B. nur für Gitterzellen mit Zeitreihen, die zu mehr als 70 % vollständig sind, und mit einer Datenverfügbarkeit von mehr als 20 % für die ersten und letzten 10 % des Zeitraums), andere Flächen sind weiß. Gitterzellen, für die der Trend signifikant ist – auf einem Niveau von 10 % – sind durch ein + Zeichen gekennzeichnet. {WGI Abbildung SPM.1, Abbildung 2.21, Abbildung TS.2; eine Auflistung von Datensätzen und weiteren technischen Einzelheiten ist in der Technischen Zusammenfassung der Arbeitsgruppe I im Zusatzmaterial WGI TS SM.1.2 enthalten.} **(c)** Arktische (Durchschnitt Juli bis September) und antarktische (Februar) Meereisausdehnung. {WGI Abbildung SPM.3, Abbildung 4.3, Abbildung 4.SM.2; eine Auflistung von Datensätzen und weiteren technischen Einzelheiten ist in der Technischen Zusammenfassung der Arbeitsgruppe I im Zusatzmaterial WGI TS SM.3.2 enthalten.} **(d)** Mittlerer globaler Meeresspiegelanstieg gegenüber dem Mittel von 1886–2005 im längsten fortlaufenden Datensatz. Dabei wurden alle Datensätze so angeordnet, dass sie den gleichen Wert für 1993 aufweisen, dem ersten Jahr mit Satelliten-Altmetrie-Daten. Alle Zeitreihen (farbige Linien kennzeichnen unterschiedliche Datensätze) zeigen jährliche Werte. Sofern bewertet, sind Unsicherheiten farbig schattiert dargestellt. {WGI Abbildung SPM.3, Abbildung 3.13; eine Auflistung von Datensätzen und weiteren technischen Einzelheiten ist in der Technischen Zusammenfassung von WGI im Zusatzmaterial WGI TS.SM.3.4 enthalten.} **(e)** Karte der beobachteten Niederschlagsveränderung von 1951 bis 2010; Trends in der jährlichen Niederschlagsmenge sind unter Verwendung derselben Kriterien wie in Tafel b berechnet {WGI Abbildung SPM.2, TS TFE.1, Abbildung 2, Abbildung 2.29. Eine Auflistung von Datensätzen und weiteren technischen Einzelheiten ist in der Technischen Zusammenfassung von WGI im Zusatzmaterial WGI TS.SM.2.1 enthalten.}.

halt, in denen Niederschläge überwiegen, weniger salzig geworden sind. Diese regionalen Trends des Salzgehaltes der Ozeane sind ein indirekter Beleg dafür, dass sich Verdunstung und Niederschlag über den Ozeanen verändert haben und damit für Veränderungen im globalen Wasserkreislauf (*mittleres Vertrauen*). Es gibt keine beobachtungsbasierten Belege für einen langfristigen Trend in der Atlantischen Meridionalen Umwälzbewegung (AMOC). {WGI SPM B.2, 2.5, 3.3, 3.4.3, 3.5, 3.6.3}

Seit Beginn der industriellen Zeit hat die Aufnahme von CO<sub>2</sub> durch den Ozean zu einer Versauerung des Ozeans geführt; der pH-Wert des Mee-

resoberflächenwassers hat um 0,1 abgenommen (*hohes Vertrauen*). Dies entspricht einem Anstieg des Säuregehalts, gemessen als Wasserstoffionenkonzentration, um 26 %. Es besteht *mittleres Vertrauen*, dass parallel zur Erwärmung die Sauerstoffkonzentrationen in Küstengewässern und in der Thermokline im offenen Ozean in vielen Ozeanregionen seit den 1960er Jahren abgenommen haben; dabei haben sich die tropischen Sauerstoffminimumzonen in den letzten Jahrzehnten *wahrscheinlich* ausgeweitet. {WGI SPM B.5, TS2.8.5, 3.8.1, 3.8.2, 3.8.3, 3.8.5, Abbildung 3.20}



**Abbildung 1.2** | Energieakkumulation innerhalb des Klimasystems der Erde. Schätzungen sind in  $10^{21}$  J und bezogen auf 1971 sowie von 1971 bis 2010 angegeben, sofern nicht anders angegeben. Die Komponenten umfassen den oberen Ozean (oberhalb von 700 m), den tiefen Ozean (unterhalb von 700 m; ab 1992 einschließlich Schätzungen für unterhalb von 2000 m), Eisabschmelzung (für Gletscher und Eiskappen; die Schätzungen für den Grönländischen und Antarktischen Eisschild beginnen 1992, die Schätzung der arktischen Meereisausdehnung geht von 1979 bis 2008), kontinentale (Land-) Erwärmung und atmosphärische Erwärmung (Schätzung beginnend mit 1979). Die Unsicherheit ist als Fehler aus allen fünf Komponenten mit 90 %-Vertrauensbereichen abgeschätzt. {WGI Box 3.1, Abbildung 1}

### 1.1.3 Kryosphäre

Während der letzten beiden Jahrzehnte haben die Eisschilde in Grönland und in der Antarktis an Masse verloren (*hohes Vertrauen*). Die Gletscher sind fast überall in der Welt weiter abgeschmolzen (*hohes Vertrauen*). Die Schneebedeckung in Nordhemisphäre im Frühjahr hat weiter an Ausdehnung verloren (*hohes Vertrauen*). Es besteht *hohes Vertrauen*, dass sich der Trend der antarktischen Meereisausdehnung regional stark unterscheidet, wobei eine Zunahme der Gesamtausdehnung *sehr wahrscheinlich* ist. {WGI SPM B.3, 4.2–4.7}

Die Gletscher haben an Masse verloren und zu einem Anstieg des Meeresspiegels während des 20. Jahrhunderts beigetragen. Die Geschwindigkeit des Masseverlustes des grönländischen Eisschildes hat sich *sehr wahrscheinlich* im Zeitraum 1992 bis 2011 beträchtlich erhöht, so dass der Masseverlust zwischen 2002 und 2011 größer war als zwischen 1992 und 2011. Die Geschwindigkeit des Eismasseverlustes des Antarktischen Eisschildes, hauptsächlich von der nördlichen antarktischen Halbinsel und dem Amundsensee-Sektor in der Westantarktis, ist

ebenfalls *wahrscheinlich* höher im Zeitraum 2002 bis 2011. {WGI SPM B.3, SPM B.4, 4.3.3, 4.4.2, 4.4.3}

Die mittlere jährliche Ausdehnung des arktischen Meereises hat im Zeitraum von 1979 (als Satellitenbeobachtungen begonnen) bis 2012 abgenommen. Die Geschwindigkeit des Rückgangs lag *sehr wahrscheinlich* im Bereich von 3,5 bis 4,1 % pro Jahrzehnt. Die arktische Meereisausdehnung hat in jeder Saison abgenommen und in jedem sukzessiven Jahrzehnt seit 1979, wobei die Abnahme der über zehn Jahre gemittelten Ausdehnung im Sommer am stärksten war (*hohes Vertrauen*). Die Abnahme des sommerlichen Meereisminimums lag *sehr wahrscheinlich* im Bereich von 9,4 bis 13,6 % pro Jahrzehnt (Bereich von 0,73 bis 1,07 Mio. km<sup>2</sup> pro Jahrzehnt) (siehe Abbildung 1.1). Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass die jährlich gemittelte Ausdehnung des antarktischen Meereises zwischen 1979 und 2012 im Bereich von 1,2 bis 1,8 % pro Jahrzehnt zugenommen hat (Bereich von 0,13 bis 0,20 Mio. km<sup>2</sup> pro Jahrzehnt). Das *Vertrauen* ist jedoch *hoch*, dass es starke regionale Unterschiede in der Antarktis gibt, mit einer Zunahme der Ausdehnung in einigen Regionen und einer Abnahme in anderen. {WGI SPM B.5, 4.2.2, 4.2.3}

Das *Vertrauen* ist *sehr hoch*, dass die Ausdehnung der Schneebedeckung der Nordhemisphäre seit der Mitte des 20. Jahrhunderts um 1,6 [0,8 bis 2,4] % pro Jahrzehnt für März und April sowie um 11,7 % pro Jahrzehnt für Juni im Zeitraum 1967 bis 2012 abgenommen hat. Das *Vertrauen* ist *hoch*, dass die Permafrost-Temperaturen in den meisten Regionen der Nordhemisphäre seit den frühen 1980er Jahren angestiegen sind, mit einem Rückgang der Dicke und Flächenausdehnung in einigen Regionen. Der Anstieg der Permafrost-Temperaturen ist eine Reaktion auf die gestiegene Oberflächentemperatur und die veränderte Schneebedeckung. {WGI SPM B.3, 4.5, 4.7.2}

### 1.1.4 Meeresspiegel

Im Zeitraum 1901–2010 ist der mittlere globale Meeresspiegel um 0,19 [0,17 bis 0,21] m gestiegen (Abbildung 1.1). Die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs seit Mitte des 19. Jahrhunderts war größer als die mittlere Geschwindigkeit in den vorangegangenen zwei Jahrtausenden (*hohes Vertrauen*). {WGI SPM B.4, 3.7.2, 5.6.3, 13.2}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit des global gemittelten Meeresspiegelanstiegs 1,7 [1,5 bis 1,9] mm pro Jahr zwischen 1901 und 2010 und 3,2 [2,8 bis 3,6] mm pro Jahr zwischen 1993 und 2010 betrug. Gezeitenpegelmessungen und Satelliten-Höhenmessdaten zeigen übereinstimmend eine höhere Geschwindigkeit im letztgenannten Zeitraum. Es ist *wahrscheinlich*, dass zwischen 1920 und 1950 ähnlich hohe Geschwindigkeiten aufgetreten sind. {WGI SPM B.4, 3.7, 13.2}

Seit den frühen 1970er Jahren erklären der Gletscher-Massenverlust und die thermische Ausdehnung des Ozeans durch die Erwärmung zusammen ungefähr 75 % des beobachteten mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs (*hohes Vertrauen*). Über den Zeitraum 1993–2010 entspricht der mittlere globale Meeresspiegelanstieg mit *hohem Vertrauen* der Summe der beobachteten Beiträge durch thermische Ausdehnung der Ozeane aufgrund der Erwärmung sowie durch die Veränderungen der Gletscher, des Grönländischen Eisschildes, des Antarktischen Eisschildes und der Wasserspeicherung an Land. {WGI SPM B.4, 13.3.6}

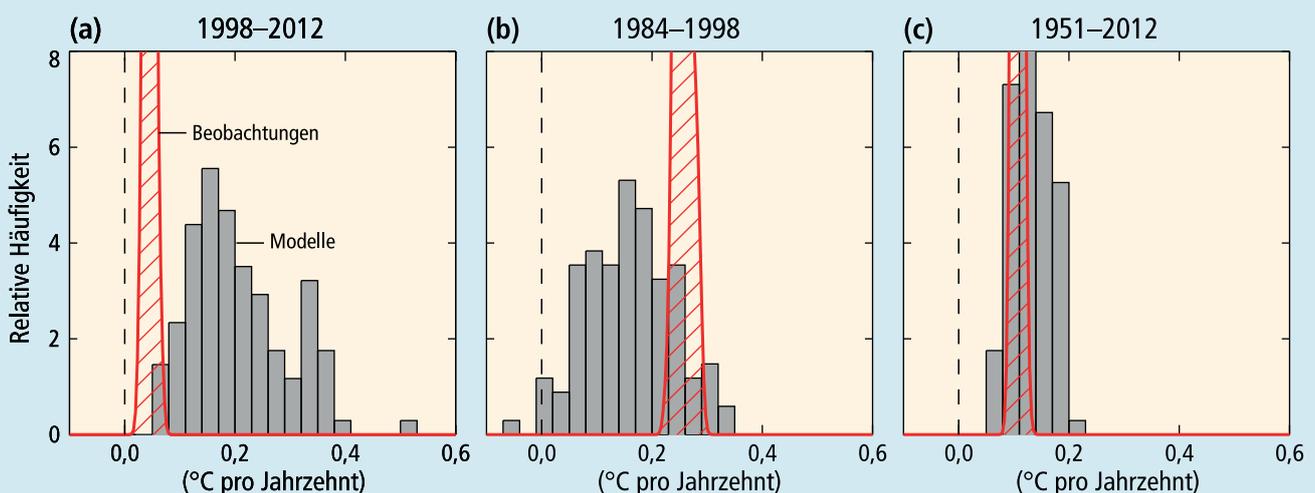
### Box 1.1 | Jüngste Temperaturtrends und ihre Auswirkungen

Die beobachtete Reduktion des Erwärmungstrends an der Erdoberfläche im Zeitraum 1998 bis 2012 im Vergleich zum Zeitraum 1951 bis 2012 wird in ungefähr gleichem Maß durch einen reduzierten Trend im Strahlungsantrieb und einen kühlenden Beitrag der natürlichen internen Variabilität verursacht, die eine mögliche Umverteilung von Wärme im Ozean einschließt (*mittleres Vertrauen*). Die Geschwindigkeit der Erwärmung der beobachteten mittleren globalen Oberflächentemperatur im Zeitraum 1998 bis 2012 wird auf etwa ein Drittel bis die Hälfte des Trends im Zeitraum 1951 bis 2012 geschätzt (Box 1.1, Abbildungen 1a und 1c). Trotz dieser Verringerung des Trends der Oberflächenerwärmung hat das Klimasystem *sehr wahrscheinlich* weiterhin seit 1998 Wärme aufgenommen (Abbildung 1.2) und der Meeresspiegel ist weiter angestiegen (Abbildung 1.1). {WGI SPM D.1, Box 9.2}

Der Strahlungsantrieb des Klimasystems ist während der 2000er Jahre weiter gestiegen, ebenso wie die atmosphärische Konzentration von CO<sub>2</sub>, die hierzu den größten Beitrag leistet. Aufgrund von abkühlenden Effekten durch Vulkanausbrüche und der abkühlenden Phase des Sonnenzyklus im Zeitraum 2000 bis 2009 hat sich der Strahlungsantrieb jedoch zwischen 1998 und 2011, verglichen mit 1984 bis 1998 sowie 1951 bis 2011, langsamer erhöht. Es besteht jedoch *geringes Vertrauen* in die Quantifizierung der Rolle des Trends im Strahlungsantrieb als Ursache der Verlangsamung der Oberflächenerwärmung. {WGI 8.5.2, Box 9.2}

Für den Zeitraum von 1998 bis 2012 zeigen 111 der 114 verfügbaren Klimamodellsimulationen einen Trend der Oberflächenerwärmung, der über demjenigen der Beobachtungen liegt (Box 1.1, Abbildung 1a). Es besteht *mittleres Vertrauen*, dass dieser Unterschied zwischen Modellen und Beobachtungen überwiegend auf natürliche interne Klimavariabilität zurückzuführen ist, die den langfristigen Trend extern angetriebener Erwärmung manchmal verstärken und ihm manchmal entgegenwirken (vgl. Box 1.1, Abbildungen 1a und 1b; für den Zeitraum von 1984 bis 1998 zeigen die meisten Modellsimulationen einen geringeren Erwärmungstrend als beobachtet). Natürliche interne Variabilität mindert daher die Relevanz kurzfristiger Trends für den langfristigen Klimawandel. Die Abweichung zwischen Modellen und Beobachtungen kann auch Anteile durch Unzulänglichkeiten der von den Modellen verwendeten Strahlungsantriebe durch die Sonne, Vulkane und Aerosole enthalten, sowie – in einigen Modellen – aus einer Überschätzung der Reaktion auf steigende Treibhausgasantriebe und andere anthropogene Antriebe (letztere überwiegend durch Auswirkungen von Aerosolen). {WGI 2.4.3, Box 9.2, 9.4.1, 10.3.1.1}

Für den längeren Zeitraum von 1951 bis 2012 stimmen die simulierten Erwärmungstrends mit dem beobachteten Trend überein (*sehr hohes Vertrauen*) (Box 1.1, Abbildung 1c). Darüber hinaus ergeben unabhängige Schätzungen des Strahlungsantriebs, der Oberflächenerwärmung und der beobachteten Wärmespeicherung (letztere verfügbar seit 1970) zusammengenommen ein Wärmebudget für die Erde, welches der abgeschätzten *wahrscheinlichen* Bandbreite der Gleichgewichts-Klimasensitivität entspricht (1,5–4,5 °C)<sup>21</sup>. Die Aufzeichnungen des beobachteten Klimawandels haben also eine Charakterisierung der grundlegenden Eigenschaften des Klimasystems ermöglicht, die Auswirkungen auf die zukünftige Erwärmung haben, einschließlich der Gleichgewichts-Klimasensitivität und der vorübergehenden Reaktion des Klimas (siehe Thema 2). {WGI Box 9.2, 10.8.1, 10.8.2, Box 12.2, Box 13.1}



**Box 1.1 Abbildung 1 |** Trends der mittleren globalen Oberflächentemperatur für die Zeiträume 1998 bis 2012 (a), 1984 bis 1998 (b) und 1951 bis 2012 (c) aus Beobachtungen (rot) und den 114 verfügbaren Simulationen mit Klimamodellen der heutigen Generation (graue Balken). Die Höhe jedes grauen Balkens gibt an, wie oft ein Trend einer bestimmten Höhe (in °C pro Jahrzehnt) in den 114 Simulationen auftritt. Die Breite der rot schraffierten Fläche gibt die statistische Unsicherheit an, die sich bei der Bildung eines globalen Mittels aus einzelnen Stationsdaten ergibt. Diese beobachtungsbasierte Unsicherheit unterscheidet sich von derjenigen, die im Text von Abschnitt 1.1.1 angegeben ist und zusätzlich eine Schätzung der natürlichen internen Variabilität beinhaltet. Im Gegensatz dazu ist hier das Ausmaß der natürlichen internen Variabilität durch die Bandbreite der Modellsammlung wiedergegeben. {basierend auf WGI Box 9.2, Abbildung 1}

<sup>21</sup> Die Verbindung zwischen dem Wärmebudget und der Gleichgewichts-Klimasensitivität, d. h. der langfristigen Oberflächenerwärmung bei einer angenommenen Verdoppelung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, ergibt sich dadurch, dass eine wärmere Oberfläche eine verstärkte Abstrahlung in den Weltraum verursacht, was einem Anstieg des Wärmegehalts der Erde entgegenwirkt. Das Ausmaß, in dem die Abstrahlung in den Weltraum bei einem vorgegebenen Anstieg der Oberflächentemperatur ansteigt, hängt von denselben Rückkopplungsprozessen (z. B. Wolkenrückkopplung, Wasserdampfdruckkopplung) ab, die auch die Gleichgewichts-Klimasensitivität bestimmen.

Die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstiegs kann aufgrund von Fluktuationen in der Ozeanzirkulation über weite Regionen und über Zeiträume von mehreren Jahrzehnten deutlich höher oder geringer als der mittlere globale Meeresspiegelanstieg sein. Seit 1993 sind die regionalen Anstiegsgeschwindigkeiten für den Westpazifik bis zu dreimal höher als das globale Mittel, während diejenigen für einen großen Teil des östlichen Pazifiks nahe Null oder negativ sind. {WGI 3.7.3, FAQ 13.1}

Es besteht *sehr hohes Vertrauen*, dass der maximale mittlere globale Meeresspiegel während der letzten Zwischeneiszeit (vor 129 000 bis 116 000 Jahren) über mehrere tausend Jahre mindestens 5 m höher lag als heute und *hohes Vertrauen*, dass er nicht mehr als 10 m höher lag als heute. Während der letzten Zwischeneiszeit trug der Grönländische Eisschild *sehr wahrscheinlich* zwischen 1,4 und 4,3 m zum höheren mittleren globalen Meeresspiegel bei, was mit *mittlerem Vertrauen* einen zusätzlichen Beitrag des Antarktischen Eisschildes voraussetzt. Diese Änderung des Meeresspiegels trat im Zusammenhang mit einem Antrieb durch Änderungen der Erdumlaufbahn auf sowie mit Oberflächentemperaturen in hohen Breiten, die, gemittelt über mehrere tausend Jahre, mindestens 2 °C wärmer waren als heute (*hohes Vertrauen*). {WGI SPM B.4, 5.3.4, 5.6.2, 13.2.1}

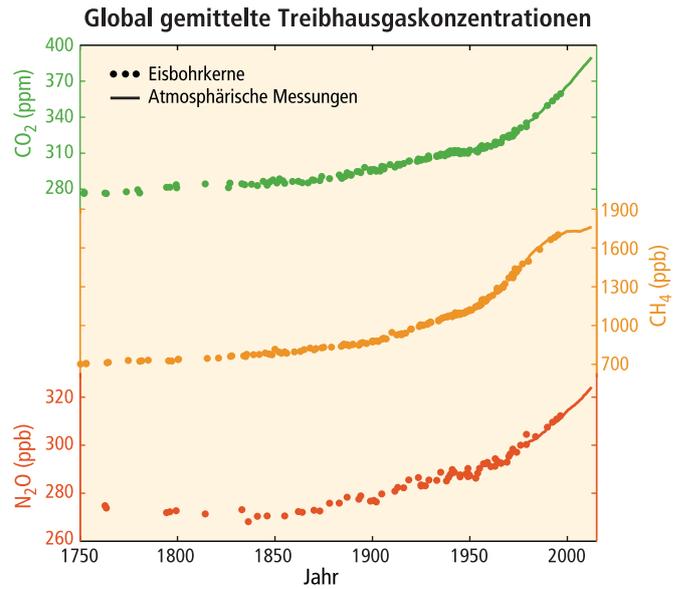
## 1.2 Vergangene und jüngste Treiber des Klimawandels

**Die anthropogenen Treibhausgasemissionen sind seit der vorindustriellen Zeit angestiegen, hauptsächlich angetrieben durch Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum. Die Emissionen zwischen 2000 und 2010 waren die höchsten der Geschichte. Die historischen Emissionen haben die atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid, Methan und Lachgas auf Niveaus getrieben, wie sie seit mindestens 800 000 Jahren noch nie vorgekommen sind, was zu einer Energieaufnahme durch das Klimasystem geführt hat.**

Natürliche und anthropogene Stoffe und Prozesse, die die Energiebilanz der Erde verändern, sind physikalische Treiber des Klimawandels. Der Strahlungsantrieb quantifiziert die von diesen Treibern verursachte Störung der Energie des Erdsystems. Strahlungsantriebe größer als Null führen zu einer oberflächennahen Erwärmung und Strahlungsantriebe kleiner als Null führen zu einer Abkühlung. Der Strahlungsantrieb wird auf Basis von In-situ- und Fernerkundungs-Beobachtungen, den Eigenschaften von Treibhausgasen und Aerosolen sowie Berechnungen mit numerischen Modellen bestimmt. Der Strahlungsantrieb über den Zeitraum 1750–2011 ist in Abbildung 1.4 in groben Gruppierungen gezeigt. Die Gruppe „sonstige Anthropogene“ umfasst im Wesentlichen Abkühlungseffekte durch Aerosolveränderungen, kleinere Beiträge durch Ozonveränderungen und Veränderungen der Albedo aufgrund von Landnutzungsänderungen sowie weitere untergeordnete Beiträge. {WGI SPM C, 8.1, 8.5.1}

### 1.2.1 Natürliche und anthropogene Strahlungsantriebe

Die atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen sind auf einem Niveau, wie es seit mindestens 800 000 Jahren noch nie vorgekommen ist. Die Konzentrationen von Kohlendioxid

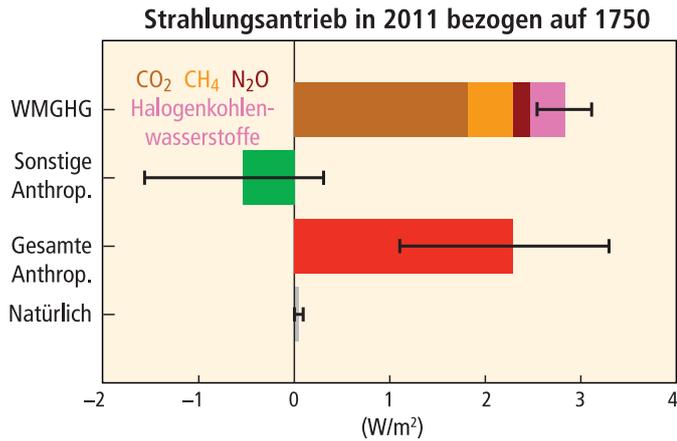


**Abbildung 1.3** | Beobachtete Veränderungen der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen. Atmosphärische Konzentrationen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>, grün), Methan (CH<sub>4</sub>, orange) und Lachgas (N<sub>2</sub>O, rot). Daten aus Eisbohrkernen (Punkte) und direkten atmosphärischen Messungen (Linien) sind überlagert. {WGI 2.2, 6.2, 6.3, Abbildung 6.11}

(CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) sind alle seit 1750 stark gestiegen (40 %, 150 % bzw. 20 %) (Abbildung 1.3). Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen steigen mit der höchsten beobachteten zehnjährigen Änderungsrate (2,0 ± 0,1 ppm pro Jahr) für 2002–2011. Nach fast einem Jahrzehnt stabiler CH<sub>4</sub>-Konzentrationen seit den späten 1990er Jahren haben atmosphärische Messungen erneute Anstiege seit 2007 gezeigt. Die N<sub>2</sub>O-Konzentrationen haben sich während der letzten drei Jahrzehnte stetig mit einer Rate von 0,73 ± 0,03 ppb pro Jahr erhöht. {WGI SPM B5, 2.2.1, 6.1.2, 6.1.3, 6.3}

Der gesamte anthropogene Strahlungsantrieb für 1750–2011 ergibt einen erwärmenden Effekt von 2,3 [1,1 bis 3,3] W/m<sup>2</sup> (Abbildung 1.4), und ist seit 1970 schneller angestiegen als in den vorhergehenden Jahrzehnten. Kohlendioxid stellt den größten Beitrag zum Strahlungsantrieb über den Zeitraum 1750 bis 2011 und dessen Trend seit 1970. Der berechnete gesamte anthropogene Strahlungsantrieb für das Jahr 2011 liegt erheblich höher (43 %) als der im Vierten Sachstandsbericht (AR4) des IPCC für das Jahr 2005 berechnete Wert. Dies ist auf eine Kombination aus dem anhaltenden Anstieg der meisten THG-Konzentrationen und einer verbesserten Abschätzung des Strahlungsantriebs von Aerosolen zurückzuführen. {WGI SPM C, 8.5.1}

Der Strahlungsantrieb durch Aerosole, der auch Wolken-Anpassungen enthält, ist besser verstanden und zeigt einen schwächeren Abkühlungseffekt als im AR4. Der Strahlungsantrieb durch Aerosole über den Zeitraum 1750–2011 wird auf -0,9 [-1,9 bis -0,1] W/m<sup>2</sup> geschätzt (*mittleres Vertrauen*). Der Strahlungsantrieb durch Aerosole hat zwei konkurrierende Komponenten: einen dominanten Abkühlungseffekt durch die meisten Aerosole und ihre Wolken-Anpassungen sowie einen erwärmenden Beitrag durch die Absorption von Sonneneinstrahlung durch Rußpartikel, welcher einen Teil der Abkühlung aufhebt. Das *Vertrauen* ist *hoch*, dass der mittlere globale gesamte Aerosol-Strahlungsantrieb einen wesentlichen Teil des Strahlungsantriebes durch gut durch-



**Abbildung 1.4 | Strahlungsantrieb des Klimawandels während der industriellen Ära (1750–2011).** Die Balken zeigen den Strahlungsantrieb durch gut durchmischte Treibhausgase (well mixed greenhouse gases, WMGHG), sonstige anthropogene Antriebe, die Summe der anthropogenen Antriebe sowie natürliche Antriebe. Die Fehlerbalken geben den Unsicherheitsbereich von 5 bis 95 % an. Andere anthropogene Antriebe beinhalten Änderungen von Aerosolen, Änderungen der Oberflächenreflektivität durch Landnutzung sowie Ozonveränderungen. Natürliche Antriebe beinhalten solare und vulkanische Effekte. Der gesamte anthropogene Strahlungsantrieb für 2011, bezogen auf 1750, beträgt  $2,3 \text{ W/m}^2$  (Unsicherheitsbereich  $1,1$  bis  $3,3 \text{ W/m}^2$ ). Dies entspricht einer  $\text{CO}_2$ -Äquivalente-Konzentration (siehe Glossar) von  $430 \text{ ppm}$  (Unsicherheitsbereich  $340$  bis  $520 \text{ ppm}$ ). {Daten aus WGI 7.5 und Tabelle 8.6}

mischte Treibhausgase kompensiert hat. Aerosole tragen weiterhin die größte Unsicherheit zu Schätzungen des gesamten Strahlungsantriebs bei. {WGI SPM C, 7.5, 8.3, 8.5.1}

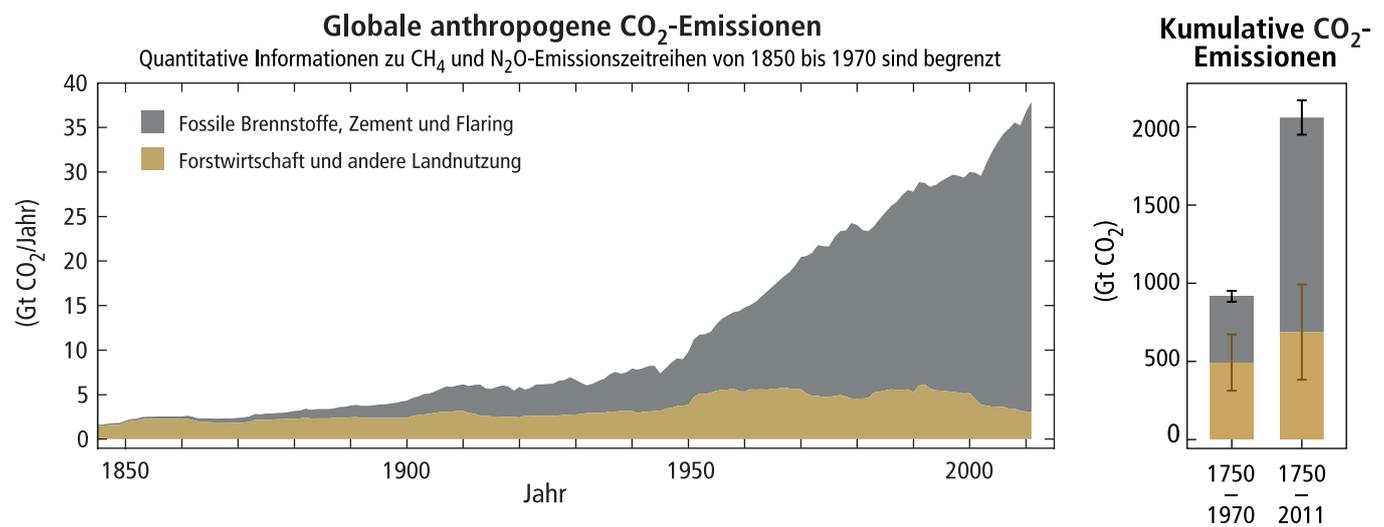
**Veränderungen der Sonneneinstrahlung und vulkanische Aerosole verursachen einen natürlichen Strahlungsantrieb (Abbildung 1.4).** Nach großen Vulkanausbrüchen kann der Strahlungsan-

trieb durch stratosphärische vulkanische Aerosole während einiger Jahre einen stark abkühlenden Effekt auf das Klimasystem haben. Der Beitrag von Veränderungen in der gesamten Sonneneinstrahlung wird auf nur 2 % des gesamten Strahlungsantriebs in 2011 relativ zu 1750 errechnet. {WGI SPM C, Abbildung SPM.5, 8.4}

### 1.2.2 Aktivitäten des Menschen, die Emissionstreiber beeinflussen

**Etwa die Hälfte der kumulativen anthropogenen  $\text{CO}_2$ -Emissionen zwischen 1750 und 2011 erfolgte in den letzten 40 Jahren (hohes Vertrauen).** Kumulative anthropogene  $\text{CO}_2$ -Emissionen von  $2.040 \pm 310 \text{ Gt CO}_2$  wurden der Atmosphäre zwischen 1750 und 2011 zugeführt. Seit 1970 haben sich die kumulativen  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, der Zementproduktion und dem Abfackeln (flaring) verdreifacht und die kumulativen  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus Forstwirtschaft und andere Landnutzung (FOLU)<sup>22</sup> sind um etwa 40 % gestiegen (Abbildung 1.5)<sup>23</sup>. Im Jahr 2011 betragen die jährlichen  $\text{CO}_2$ -Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, der Zementproduktion und dem Abfackeln  $34,8 \pm 2,9 \text{ Gt CO}_2$  pro Jahr. Für 2002–2011 betragen die durchschnittlichen jährlichen Emissionen aus FOLU  $3,3 \pm 2,9 \text{ Gt CO}_2$  pro Jahr. {WGI 6.3.1, 6.3.2, WGI SPM.3}

**Etwa 40 % dieser anthropogenen  $\text{CO}_2$ -Emissionen sind seit 1750 in der Atmosphäre verblieben ( $880 \pm 35 \text{ Gt CO}_2$ ).** Der Rest wurde durch Senken aus der Atmosphäre entfernt und in Reservoirs des natürlichen Kohlenstoffkreislaufs gespeichert. Die verbleibenden kumulativen  $\text{CO}_2$ -Emissionen wurden durch Senken aufgenommen – zu etwa gleichen Teilen durch die ozeanische Aufnahme sowie durch Vegetation und Böden. Der Ozean hat etwa 30 % des ausgestoßenen

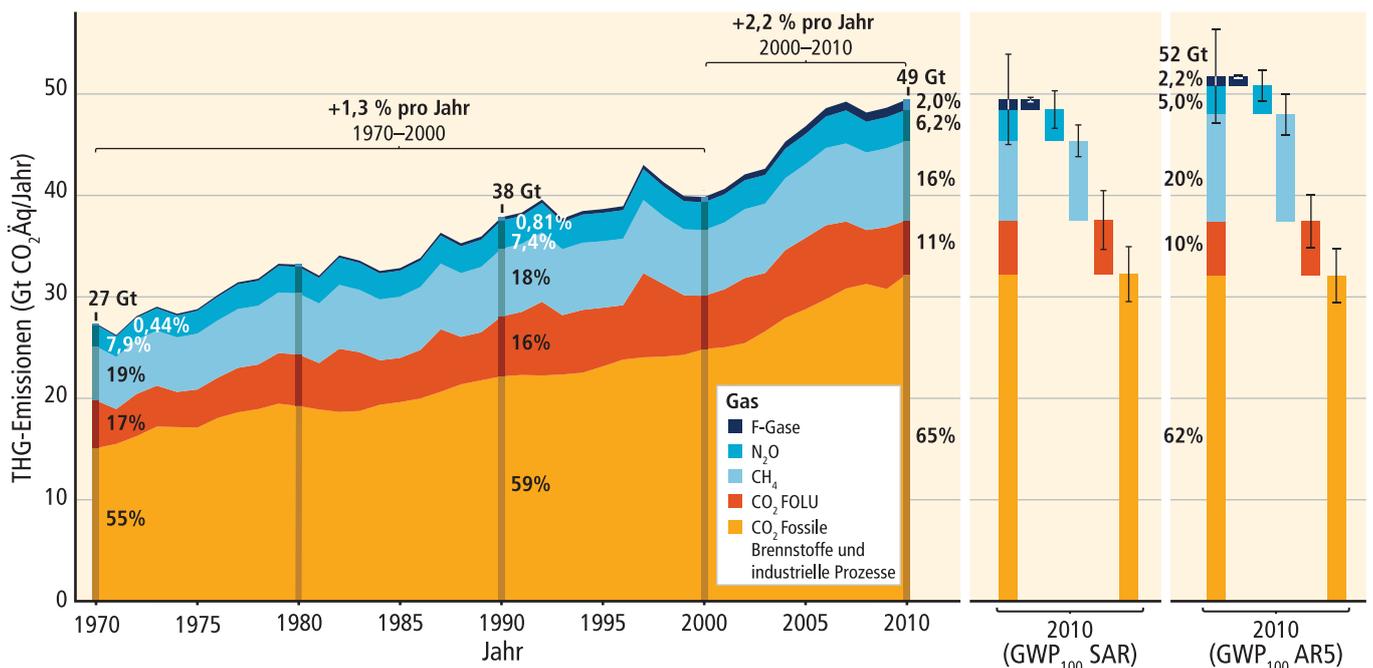


**Abbildung 1.5 | Jährliche globale anthropogene Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ )-Emissionen (Gigatonnen  $\text{CO}_2$  pro Jahr, Gt  $\text{CO}_2$ /Jahr) aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, Zementproduktion und Abfackeln (flaring) sowie Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (FOLU), 1750–2011.** Kumulative Emissionen von  $\text{CO}_2$  aus diesen Quellen und deren Unsicherheiten sind als Balken bzw. Antenne auf der rechten Seite dargestellt. Die globalen Effekte der Anreicherung von  $\text{CH}_4$  und  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen sind in Abbildung 1.3 angegeben. Treibhausgasemissionsdaten von 1970 bis 2010 sind in Abbildung 1.6 aufgeführt. {modifiziert aus WGI Abbildung TS.4 und WGI SPM Abbildung TS.2}

<sup>22</sup> Forstwirtschaft und andere Landnutzung (FOLU) – auch als LULUCF (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) bezeichnet – bezeichnet die Teilmenge der AFOLU (Landnutzung, Forstwirtschaft und andere Landnutzung)-Emissionen und -Entnahmen von Treibhausgasen, welche direkt aus durch den Menschen induzierten LULUCF-Aktivitäten resultieren, unter Ausschluss landwirtschaftlicher Emissionen (siehe WGI AR5-Glossar).

<sup>23</sup> Zahlen aus WGI 6.3, umgerechnet in Einheiten von Gt  $\text{CO}_2$ . Geringe Unterschiede in den kumulativen Emissionen aus WGI SPM.3, TS.2.1 sind auf unterschiedliche Rundungsansätze, unterschiedliche Endjahre und die Verwendung unterschiedlicher Datensätze für Emissionen aus FOLU zurückzuführen. Die Schätzungen liegen aber angesichts ihrer Unsicherheiten extrem nah beieinander.

## Gesamte jährliche anthropogene THG-Emissionen nach Gruppen von Gasen 1970–2010



**Abbildung 1.6 |** Gesamte jährliche anthropogene Treibhausgas (THG)-Emissionen (Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr, Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr) für den Zeitraum 1970 bis 2010 aufgeschlüsselt nach Gasen: CO<sub>2</sub> aus der Nutzung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen; CO<sub>2</sub> aus Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (FOLU); Methan (CH<sub>4</sub>); Lachgas (N<sub>2</sub>O); im Kyoto-Protokoll erfasste fluorierte Gase (F-Gase). Die rechte Seite zeigt die Emissionen im Jahr 2010 unter Verwendung alternativer Gewichtungen für die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen, basierend auf Werten aus dem Zweiten Sachstandsbericht (SAR) und den AR5-Werten. Soweit nicht anders angegeben, beinhalten CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen in diesem Bericht die Gruppe der Kyoto-Gase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O sowie F-Gase), berechnet auf der Grundlage von Werten des Globalen Erwärmungspotenzials bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren (Global Warming Potential – GWP<sub>100</sub>) aus dem SAR (siehe Glossar). Die Verwendung der aktuellsten GWP<sub>100</sub>-Werte aus dem AR5 (rechte Balken) würde durch den gestiegenen Beitrag von Methan zwar zu höheren jährlichen Gesamt-THG-Emissionen führen (52 Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr), ändert den langfristigen Trend jedoch nicht signifikant. Die Wahl einer anderen Metrik würde die Beiträge unterschiedlicher Gase verändern (siehe Box 3.2). Die Werte aus dem Jahr 2010 sind noch einmal nach ihren Bestandteilen mit den entsprechenden Unsicherheiten (90 % Vertrauensbereichen), die durch Fehlerbalken gekennzeichnet sind, aufgeschlüsselt. Globale CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe sind innerhalb eines Unsicherheitsbereiches von 8 % bekannt (90 %-Vertrauensbereich). Mit den CO<sub>2</sub>-Emissionen aus FOLU sind erhebliche Unsicherheiten (in der Größenordnung von ± 50 %) verbunden. Die Unsicherheit für globale Emissionen von CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und der F-Gase wurde auf 20 %, 60 % bzw. 20 % geschätzt. 2010 war das jüngste Jahr, für welches Emissionsstatistiken für alle Gase sowie eine Abschätzung der Unsicherheiten zum Datenstichtag für diesen Bericht im Wesentlichen abgeschlossen waren. Die Unsicherheitsschätzungen berücksichtigen nur Unsicherheiten in den Emissionen, nicht in den GWP (wie in WGI 8.7 angegeben). {WGIII Abbildung SPM.1}

anthropogenen CO<sub>2</sub> aufgenommen, was eine Versauerung der Ozeane verursacht hat. {WGI 3.8.1, 6.3.1}

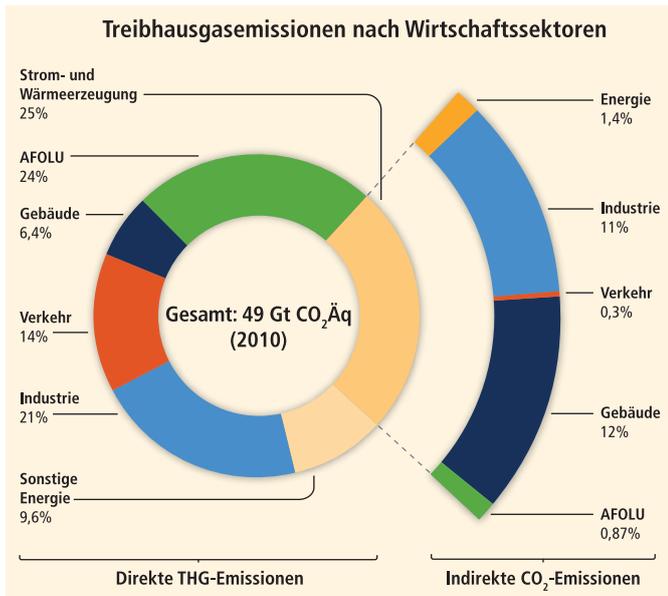
Die gesamten anthropogenen THG-Emissionen sind von 1970 bis 2010 weiter gestiegen, mit größeren absoluten Anstiegen zwischen 2000 und 2010 (*hohes Vertrauen*). Trotz einer wachsenden Anzahl von Minderungsmaßnahmen stiegen die jährlichen THG-Emissionen zwischen 2000 und 2010 durchschnittlich um 1,0 Gt CO<sub>2</sub>Äq (2,2 %) pro Jahr, verglichen mit 0,4 Gt CO<sub>2</sub>Äq (1,3 %) pro Jahr zwischen 1970 und 2000 (Abbildung 1.6)<sup>24</sup>. Die gesamten anthropogenen THG-Emissionen zwischen 2000 und 2010 waren die höchsten der Menschheitsgeschichte und erreichten 49 (± 4,5) Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Jahr 2010. Die weltweite Wirtschaftskrise 2007/2008 hat die Emissionen nur vorübergehend verringert. {WGIII SPM.3, 1.3, 5.2, 13.3, 15.2.2, Box TS.5, Abbildung 15.1}

CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen haben ca. 78 % zum gesamten Anstieg der THG-Emissionen zwischen 1970 und 2010 beigetragen, und für den Zeitraum 2000–2010 war der prozentuale Anteil vergleichbar hoch (*hohes Vertrauen*). Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus fossilen Brennstoffen erreichten 32 (± 2,7) Gt CO<sub>2</sub> pro Jahr im Jahr 2010 und stiegen zwischen 2010 und 2011 weiter um ca. 3 %, sowie um ca. 1 % bis 2 % zwischen 2011 und 2012. Mit einem Anteil von 76 % an den gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2010 bleibt CO<sub>2</sub> das bedeutendste anthropogene Treibhausgas. Von den gesamten Emissionen stammten 16 % aus CH<sub>4</sub>, 6,2 % aus N<sub>2</sub>O und 2,0 % aus fluorierten Gasen (F-Gasen) (Abbildung 1.6)<sup>25</sup>. Seit 1970 sind jährlich ca. 25 % der anthropogenen THG in Form von Nicht-CO<sub>2</sub>-Gasen emittiert worden<sup>26</sup>. {WGIII SPM.3, 1.2, 5.2}

<sup>24</sup> CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen sind ein üblicher Maßstab für den Vergleich von Emissionen unterschiedlicher THG. Wenn in diesem Synthesebericht historische Emissionen in Gt CO<sub>2</sub>Äq angegeben sind, sind sie durch Globale Erwärmungspotenziale mit einem Zeithorizont von 100 Jahren (GWP<sub>100</sub>) aus dem Zweiten Sachstandsbericht des IPCC berechnet, sofern nicht anders angegeben. Für die Einheit wird die Abkürzung Gt CO<sub>2</sub>Äq verwendet. {Box 3.2, Glossar}

<sup>25</sup> Bei Verwendung der jüngsten Werte des Globalen Erwärmungspotenzials über 100 Jahre (GWP<sub>100</sub>) aus dem AR5 {WGI 8.7} anstelle der GWP<sub>100</sub>-Werte aus dem Zweiten Sachstandsbericht des IPCC wären die gesamten globalen THG-Emissionen etwas höher (52 Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr) und die Anteile der Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen würden bei 20 % für CH<sub>4</sub>, 5 % für N<sub>2</sub>O und 2,2 % für F-Gase liegen.

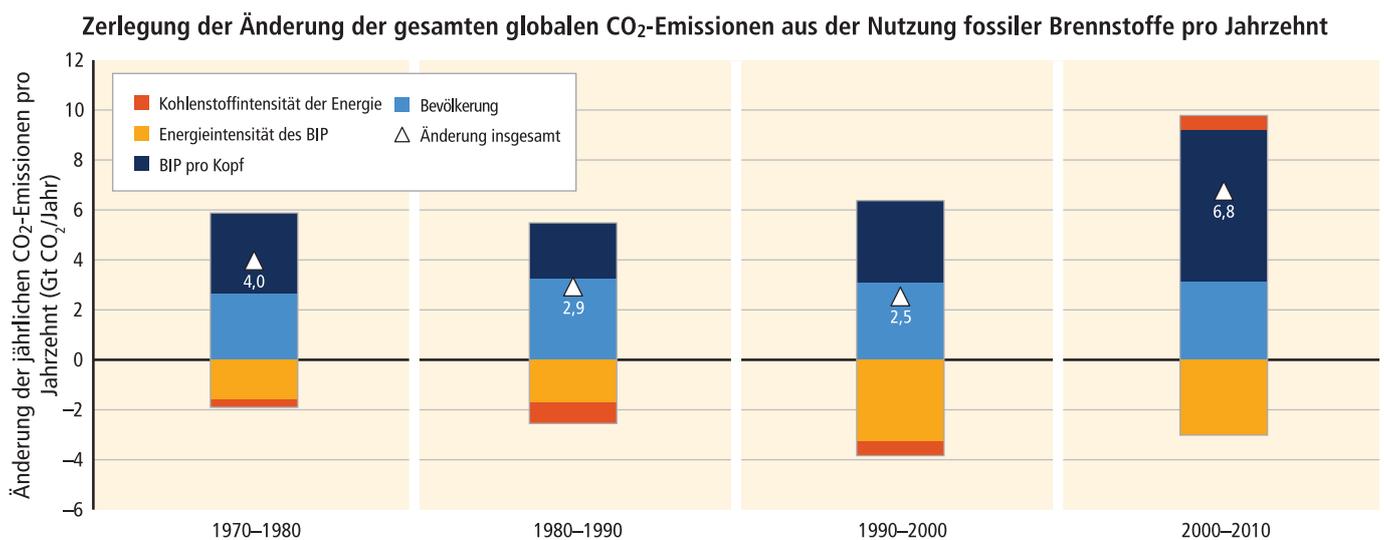
<sup>26</sup> Für diesen Bericht wurden die Daten zu den Nicht-CO<sub>2</sub>-THG, einschließlich F-Gase, der EDGAR-Datenbank {Emissions Database for Global Atmospheric Research, WGIII Anhang II.9} entnommen, die die Substanzen aus dem ersten Verpflichtungszeitraum des Kyoto-Protokolls abdeckt.



Die gesamten jährlichen anthropogenen THG-Emissionen sind zwischen 2000 und 2010 um ca. 10 Gt CO<sub>2</sub>Äq gestiegen. Dieser Anstieg ist direkt die Sektoren Energie (47 %), Industrie (30 %), Verkehr (11 %) und Gebäude (3 %) zurückzuführen (*mittleres Vertrauen*). Die Berücksichtigung indirekter Emissionen erhöht die Beiträge der Sektoren Gebäude und Industrie (*hohes Vertrauen*). Seit dem Jahr 2000 sind die THG-Emissionen in allen Sektoren angestiegen, mit Ausnahme des Sektors Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (AFOLU). Im Jahr 2010 wurden 35 % der THG-Emissionen vom Energiesektor freigesetzt, 24 % (Nettoemissionen) von AFOLU, 21 % vom Industriesektor, 14 % vom Sektor Verkehr und 6,4 % vom Sektor Gebäude. Wenn Emissionen aus Elektrizitäts- und Wärmezeugung den Sektoren zugeordnet werden, welche die Endenergie nutzen (d. h. als indirekte Emissionen), steigt der Anteil der Sektoren Industrie und Gebäude an den globalen THG-Emissionen auf 31 % bzw. 19 % (Abbildung 1.7). {WGIII SPM.3, 7.3, 8.1, 9.2, 10.3, 11.2} Siehe auch Box 3.2 zu Beiträgen aus verschiedenen Sektoren, basierend auf anderen Metriken als dem Globalen Erwärmungspotenzial über 100 Jahre (GWP<sub>100</sub>).

**Abbildung 1.7** | Gesamte anthropogene Treibhausgas (THG)-Emissionen (Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr, Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr) nach Wirtschaftssektoren in 2010. Der Kreis zeigt den Anteil direkter THG-Emissionen (in % der gesamten anthropogenen THG-Emissionen) von fünf Wirtschaftssektoren im Jahr 2010. Die Vergrößerung zeigt, wie die Anteile der indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen (in % der gesamten anthropogenen THG-Emissionen) aus Elektrizitäts- und Wärmezeugung den Sektoren zugeordnet werden, die die Endenergie nutzen. 'Sonstige Energie' bezieht sich wie in Anhang II von WGIII definiert auf alle THG-Emissionsquellen im Energiesektor, mit Ausnahme von Elektrizitäts- und Wärmezeugung [WGIII Anhang II.9.1]. Die Emissionsdaten aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (AFOLU) beinhalten landbasierte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Waldbränden, Torfbränden und Torfzerfall, die dem in Kapitel 11 des WGIII-Berichts beschriebenen Netto-CO<sub>2</sub>-Fluss aus dem Untersektor Forstwirtschaft und andere Landnutzung (FOLU) ungefähr entsprechen. Emissionen wurden auf der Grundlage von einem Globalen Erwärmungspotenzial über 100 Jahre (GWP<sub>100</sub>) aus dem Zweiten Sachstandsbericht (SAR) in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. Sektordefinitionen sind in WGIII, Anhang II.9 aufgeführt. {WGIII Abbildung SPM.2}

Auf globaler Ebene bleiben Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum die wichtigsten Treiber für den Anstieg von CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe. Der Beitrag des Bevölkerungswachstums zwischen 2000 und 2010 blieb ungefähr auf dem Niveau der vorangegangenen drei Jahrzehnte, während der Beitrag des Wirtschaftswachstums steil angestiegen ist (*hohes Vertrauen*). Zwischen 2000 und 2010 haben sich beide Treiber schneller entwickelt als die Emissionsminderungen aus Verbesserungen der Energieintensität des Bruttoinlandsproduktes (BIP) (Abbildung 1.8). Eine im Verhältnis zu anderen Energiequellen gestiegene Kohlenutzung hat den langanhaltenden Trend einer schrittweisen Dekarbonisierung (d. h. eine Verringerung der Kohlenstoffintensität von Energie) der weltweiten Energieversorgung umgekehrt. {WGIII SPM.3, TS.2.2, 1.3, 5.3, 7.2, 7.3, 14.3}



**Abbildung 1.8** | Zerlegung der Änderungen der gesamten jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe pro Jahrzehnt nach vier bestimmenden Faktoren: Bevölkerung, Einkommen (Bruttoinlandsprodukt, BIP) pro Kopf, Energieintensität des BIP und Kohlenstoffintensität der Energie. Die Balkenabschnitte zeigen die mit jedem einzelnen Faktor verbundenen Änderungen bei gleichzeitiger Konstanz aller übrigen Faktoren. Die gesamten Emissionsänderungen sind durch ein Dreieck gekennzeichnet. Änderungen der Emissionen über jedes Jahrzehnt hinweg sind in Gigatonnen (Gt) CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr bemessen; Einkommen wurden unter Verwendung von Kaufkraftparitäten in einheitliche Einheiten umgerechnet. {WGIII SPM.3}

1

### 1.3 Zuordnung von Klimaänderungen und Auswirkungen

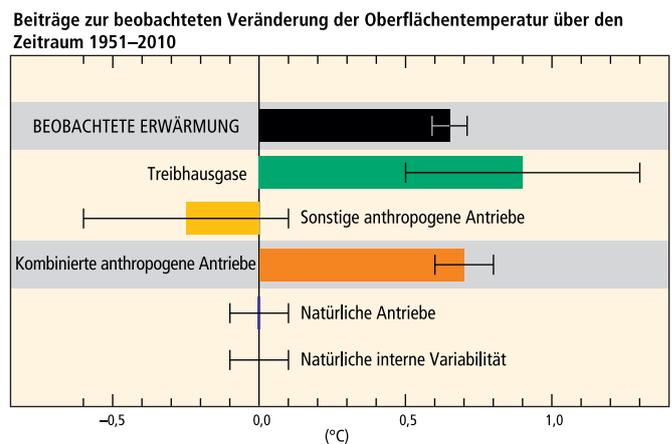
Die Belege für den Einfluss des Menschen auf das Klimasystem haben seit dem AR4 zugenommen. Einflüsse des Menschen wurden in der Erwärmung der Atmosphäre und des Ozeans, in den Veränderungen des globalen Wasserkreislaufs, im Rückgang von Schnee und Eis und im Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels nachgewiesen, und es ist *äußerst wahrscheinlich*, dass sie die Hauptursache der beobachteten Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts sind. In den letzten Jahrzehnten haben Klimaänderungen Auswirkungen auf natürliche Systeme und solche des Menschen auf allen Kontinenten und in den Ozeanen verursacht. Diese Folgen sind auf den beobachteten Klimawandel zurückzuführen, unabhängig von dessen Ursache; sie zeigen die Empfindlichkeit natürlicher Systeme und solcher des Menschen gegenüber dem sich ändernden Klima.

Die Ursachen beobachteter Veränderungen im Klimasystem sowie in jeglichen natürlichen Systemen und solchen des Menschen, die vom Klima betroffen sind, werden mithilfe eines einheitlichen Methodensatzes festgestellt. Der Nachweis befasst sich dabei mit der Frage, ob sich das Klima bzw. ein vom Klima betroffenes natürliches System oder eines des Menschen im statistischen Sinn tatsächlich verändert hat, während bei der Zuordnung die relativen Beiträge mehrerer ursächlicher Faktoren zu einer beobachteten Veränderung oder einem Ereignis bewertet werden, unter Bestimmung des statistischen Vertrauens<sup>27</sup>. Die Zuordnung des Klimawandels zu Ursachen quantifiziert die Zusammenhänge zwischen dem beobachteten Klimawandel und Aktivitäten des Menschen sowie anderen – natürlichen – Klimatreibern. Im Gegensatz dazu berücksichtigt die Zuordnung beobachteter Auswirkungen zum Klimawandel die Zusammenhänge zwischen beobachteten Veränderungen in natürlichen Systemen oder solchen des Menschen und dem beobachteten Klimawandel, ungeachtet seiner Ursachen. Ergebnisse aus Studien, die den Klimawandel seinen Ursachen zuordnen, schätzen das Ausmaß der Erwärmung in Reaktion auf Veränderungen des Strahlungsantriebes ab und unterstützen damit auch Projektionen des zukünftigen Klimawandels (Thema 2). Ergebnisse aus Studien, die Auswirkungen dem Klimawandel zuordnen, geben starke Hinweise auf die Sensibilität natürlicher Systeme oder solcher des Menschen gegenüber dem zukünftigen Klimawandel. {WGI 10.8, WGII SPM A-1, WGI/III/SYR Glossare}

#### 1.3.1 Zuordnung von Klimaänderungen zu natürlichen Einflüssen und solcher des Menschen auf das Klimasystem

Es ist *äußerst wahrscheinlich*, dass mehr als die Hälfte des beobachteten Anstiegs der mittleren globalen Oberflächentemperatur von 1951–2010 durch den anthropogenen Anstieg der

THG-Konzentrationen zusammen mit anderen anthropogenen Antrieben verursacht wurde (Abbildung 1.9). Die beste Schätzung des vom Menschen verursachten Beitrages zur Erwärmung entspricht etwa der beobachteten Erwärmung in diesem Zeitraum. THG haben zu einer mittleren globalen Oberflächenerwärmung beigetragen, die für den Zeitraum 1951 bis 2010 *wahrscheinlich* im Bereich von 0,5 °C bis 1,3 °C liegt; weitere Beiträge stammen von anderen anthropogenen Antrieben, darunter dem Abkühlungseffekt durch Aerosole, von natürlichen Antrieben und aus natürlicher interner Klimavariabilität (siehe Abbildung 1.9). Zusammengenommen stimmen diese abgeschätzten Beiträge mit der beobachteten Erwärmung von ungefähr 0,6 °C bis 0,7 °C in diesem Zeitraum überein. {WGI SPM D.3, 10.3.1}

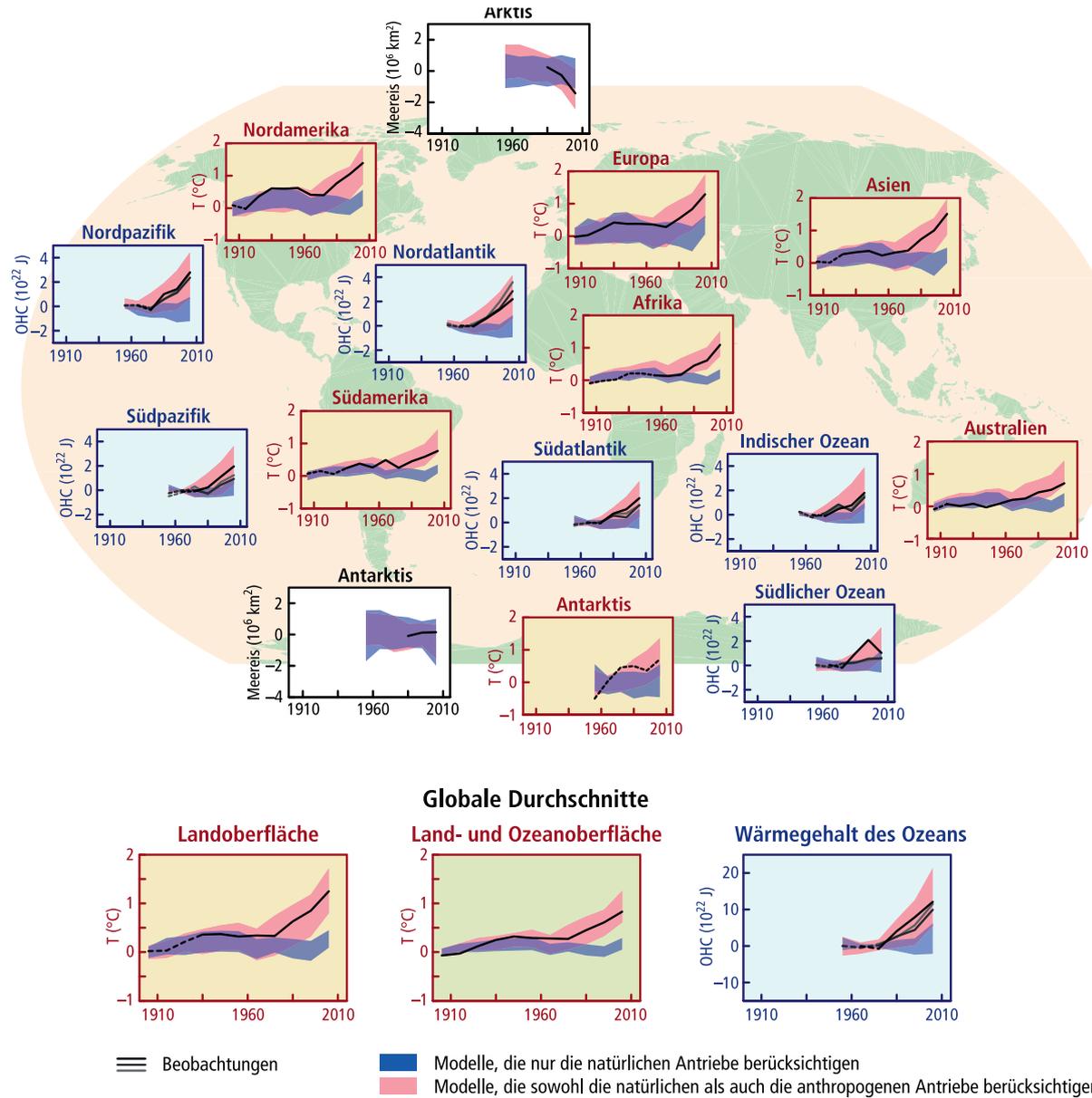


**Abbildung 1.9** | Abgeschätzte *wahrscheinliche* Bandbreiten (durch Antennen gekennzeichnet) und deren Mittelpunkte (Balken) für Erwärmungstrends über den Zeitraum 1951–2010 durch gut durchmischte Treibhausgase, sonstige anthropogene Antriebe (darunter der Abkühlungseffekt durch Aerosole und die Auswirkungen von Landnutzungsänderung), kombinierte anthropogene Antriebe, natürliche Antriebe und natürliche interne Klimavariabilität (der Teil der Klimavariabilität, der sogar ohne Antriebe spontan innerhalb des Klimasystems auftritt). Die beobachtete Änderung der Oberflächentemperatur ist schwarz dargestellt, mit einem Unsicherheitsbereich von 5 bis 95 % aufgrund der Unsicherheiten in den Beobachtungen. Für die Bandbreiten der den jeweiligen Antrieben zugeordneten Erwärmung (farbig) wurden Beobachtungen mit Klimamodellsimulationen kombiniert, um den Beitrag jedes einzelnen äußeren Antriebs zur beobachteten Erwärmung abzuschätzen. Der Beitrag der kombinierten anthropogenen Antriebe kann mit einer geringeren Unsicherheit geschätzt werden als die separate Schätzung der Beiträge von Treibhausgasen und von anderen anthropogenen Antrieben. Der Grund dafür ist, dass sich diese beiden Beiträge teilweise ausgleichen, wodurch sich das resultierende Signal durch Beobachtungen besser eingrenzen lässt. {Basierend auf Abbildung WGI TS.10}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass anthropogene Einflüsse, insbesondere THG und der Abbau des stratosphärischen Ozons, seit 1961 zu einem nachweisbaren beobachteten Muster in der Erwärmung der Troposphäre und einer entsprechenden Abkühlung der unteren Stratosphäre geführt haben. {WGI SPM D.3, 2.4.4, 9.4.1, 10.3.1}

Über jeder kontinentalen Region, mit Ausnahme der Antarktis, haben anthropogene Antriebe *wahrscheinlich* wesentlich zum Anstieg der Oberflächentemperaturen seit Mitte des 20. Jahrhunderts beigetragen (Abbildung 1.10). Für die Antarktis führen große Unsicherheiten in den Beobachtungen zu einem *geringen* Vertrauen, dass anthropogene Antriebe zu der beobachteten, über die

<sup>27</sup> Definitionen wurden dem *Good Practice Guidance Paper on Detection and Attribution* entnommen, auf das sich das IPCC-Expertenmeeting zu Nachweis und Zuordnung im Hinblick auf den anthropogenen Klimawandel geeinigt hat, siehe Glossar.



**Abbildung 1.10 |** Vergleich beobachteter und simulierter Veränderungen in den kontinentalen Oberflächentemperaturen über Land (gelbe Tafeln), der arktischen und antarktischen Meereisausdehnung im September (weiße Tafeln) und des Wärmegehaltes im oberen Ozean in den großen Ozeanbecken (blaue Tafeln). Global gemittelte Änderungen sind ebenfalls angegeben. Die dargestellten Abweichungen beziehen sich auf 1880–1919 für Oberflächentemperaturen, 1960–1980 für den Wärmegehalt des Ozeans und 1979–1999 für das Meereis. Alle Zeitreihen sind Zehnjahresmittel, abgebildet im Zentrum des Jahrzehnts. In den Temperaturtafeln sind Beobachtungen als gestrichelte Linien dargestellt, wenn die räumliche Abdeckung der untersuchten Flächen unter 50 % liegt. In den Tafeln zum Ozeanwärmegehalt und zum Meereis zeigen durchgezogene Linien eine gute Datenabdeckung von besserer Qualität an, gestrichelte Linien eine lediglich adäquate Datenabdeckung, was mit einer größeren Unsicherheit verbunden ist (es ist zu beachten, dass unterschiedliche Linien mit unterschiedlichen Datensätzen verbunden sind; zu Einzelheiten siehe WGI Abbildung SPM.6). Die gezeigten Modellergebnisse sind Multimodell-Ensemble-Bereiche des Gekoppelten Modellvergleichsprojekts Phase 5 (CMIP5), wobei schattierte Streifen die Vertrauensbereiche von 5 bis 95 % angeben. {WGI Abbildung SPM 6; zu Einzelheiten siehe WGI Abbildung TS.12}

verfügbaren Stationen gemittelten Erwärmung beigetragen haben. Im Gegenzug ist es *wahrscheinlich*, dass es einen anthropogenen Beitrag zu der beträchtlichen Erwärmung der Arktis seit Mitte des 20. Jahrhunderts gab. Einflüsse des Menschen haben *wahrscheinlich* zum Temperaturanstieg in vielen subkontinentalen Regionen beigetragen. {WGI SPM D.3, TS.4.8, 10.3.1}

**Anthropogene Einflüsse haben *sehr wahrscheinlich* zu einem Rückgang des arktischen Meereises seit 1979 beigetragen (Abbildung 1.10).** Das *Vertrauen* in das wissenschaftliche Verständ-

nis des kleinen beobachteten Anstiegs in der Ausdehnung des antarktischen Meereises ist aufgrund von unvollständigen und widersprüchlichen wissenschaftlichen Erklärungen für die Ursachen der Veränderung *gering* und es gibt *geringes Vertrauen* in die Abschätzung der natürlichen internen Variabilität in dieser Region. {WGI SPM D.3, 10.5.1, Abbildung 10.16}

Anthropogene Einflüsse haben *wahrscheinlich* zum Rückgang der Gletscher seit den 1960er Jahren und zur vermehrten Oberflächenabschmelzung des Grönländischen Eisschildes seit 1993 beigetragen.

Aufgrund eines geringen wissenschaftlichen Verständnisses ist das *Vertrauen* in die Zuordnung von Ursachen des beobachteten Massenverlustes des Antarktischen Eisschildes über die letzten zwei Jahrzehnte *gering*. Ein anthropogener Beitrag zum beobachteten Rückgang der Schneebedeckung im Frühjahr auf der Nordhemisphäre seit 1970 ist *wahrscheinlich*. {WGI 4.3.3, 10.5.2, 10.5.3}

Es ist *wahrscheinlich*, dass anthropogene Einflüsse den globalen Wasserkreislauf seit 1960 beeinflusst haben. Anthropogene Einflüsse haben zu den beobachteten Anstiegen des Feuchtigkeitsgehalts in der Atmosphäre beigetragen (*mittleres Vertrauen*), zu den im globalen Maßstab feststellbaren Veränderungen in Niederschlagsmustern über Land (*mittleres Vertrauen*), zur Intensivierung von Starkniederschlägen über Landregionen, für welche ausreichend Daten vorliegen (*mittleres Vertrauen*) (siehe 1.4) und zu Veränderungen des Salzgehalts der Ozeane an und unterhalb der Meeresoberfläche (*sehr wahrscheinlich*). {WGI SPM D.3, 2.5.1, 2.6.2, 3.3.2, 3.3.3, 7.6.2, 10.3.2, 10.4.2, 10.6}

Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass anthropogene Antriebe wesentlich zu den seit den 1970er Jahren beobachteten Anstiegen des globalen Wärmegehaltes im oberen Ozean (0–700 m) beigetragen haben (Abbildung 1.10). Es gibt Belege für Einflüsse des Menschen in bestimmten einzelnen Ozeanbecken. *Sehr wahrscheinlich* gibt es einen wesentlichen anthropogenen Beitrag zum Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels seit den 1970er Jahren. Dies basiert auf dem *hohen Vertrauen* in den anthropogenen Einfluss auf die beiden größten Beiträge zum Meeresspiegelanstieg: die thermische Ausdehnung und den Massenverlust der Gletscher. Die ozeanische Aufnahme von anthropogenem CO<sub>2</sub> hat zu einer allmählichen Versauerung des Ozeanoberflächenwassers geführt (*hohes Vertrauen*). {WGI SPM D.3, 3.2.3, 3.8.2, 10.4.1, 10.4.3, 10.4.4, 10.5.2, 13.3, Box 3.2, TS.4.4, WGII 6.1.1.2, Box CC-OA}

### 1.3.2 Beobachtete Auswirkungen, die der Klimaänderung zugeordnet werden

In den letzten Jahrzehnten haben Klimaänderungen Folgen für natürliche Systeme und solche des Menschen auf allen Kontinenten und überall in den Ozeanen bewirkt. Diese Folgen sind auf den beobachteten Klimawandel zurückzuführen, unabhängig von dessen Ursache; sie zeigen die Empfindlichkeit natürlicher Systeme und solcher des Menschen gegenüber dem sich

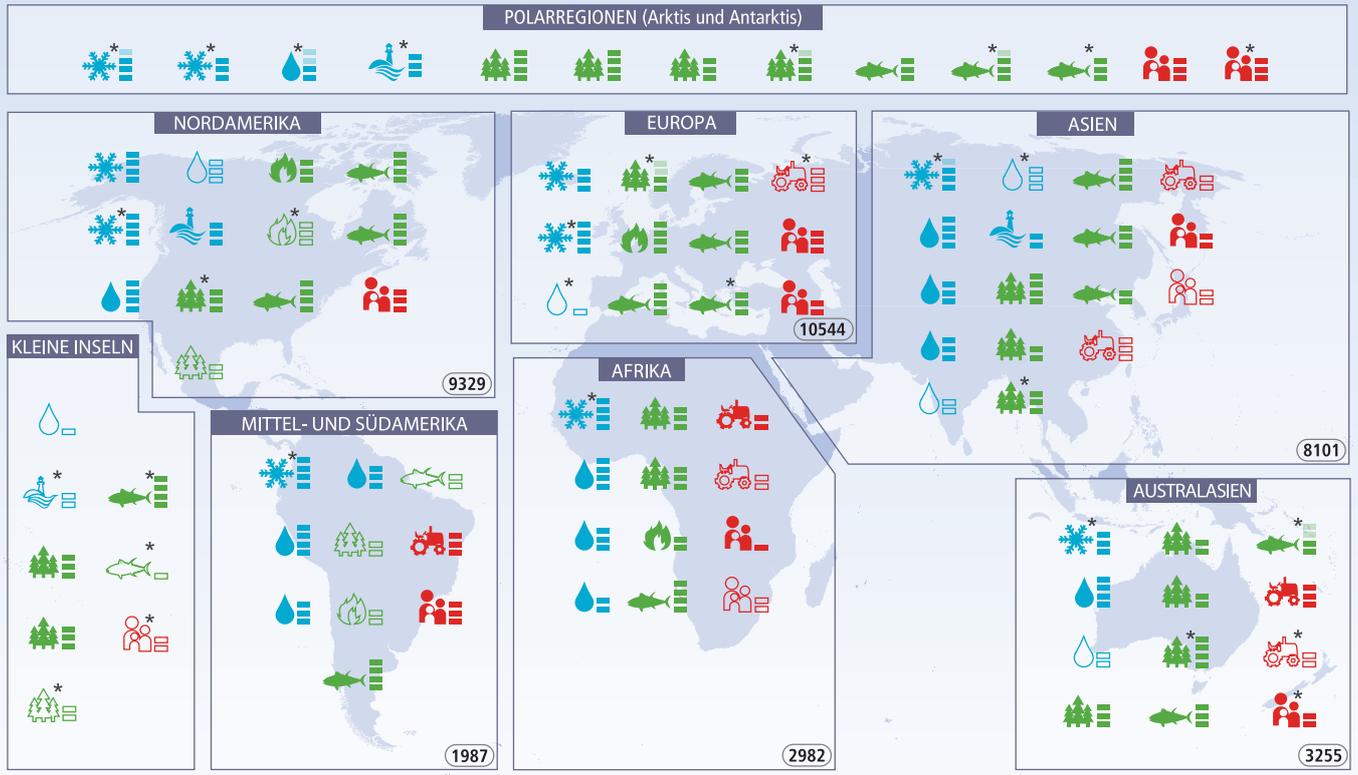
ändernden Klima. Die stärksten und umfassendsten Belege für Folgen des Klimawandels gibt es hinsichtlich der natürlichen Systeme. Einige Folgen für Systeme des Menschen sind ebenfalls dem Klimawandel zugeordnet worden, wobei sich mal ein wesentlicher, mal ein geringer Beitrag des Klimawandels von anderen Einflüssen unterscheiden lässt (Abbildung 1.11). Folgen für Systeme des Menschen sind oft geographisch heterogen, da sie nicht nur von Veränderungen der Klimavariablen abhängen sondern auch von sozialen und wirtschaftlichen Faktoren. Daher können die Veränderungen leichter auf lokaler Ebene beobachtet werden, während eine Zuordnung schwierig bleiben kann. {WGII SPM A-1, SPM A-3, 18.1, 18.3–18.6}

In vielen Regionen beeinflussen sich ändernde Niederschläge oder Schnee- und Eisschmelze hydrologische Systeme und beeinträchtigen die Quantität und Qualität von Wasserressourcen (*mittleres Vertrauen*). Gletscher schrumpfen weiterhin beinahe weltweit aufgrund des Klimawandels (*hohes Vertrauen*), was Auswirkungen auf Abflüsse und Wasserressourcen stromabwärts hat (*mittleres Vertrauen*). Der Klimawandel verursacht die Erwärmung und das Tauen von Permafrost in höheren Breiten und höher gelegenen Regionen (*hohes Vertrauen*). {WGII SPM A-1}

Viele terrestrische, Süßwasser- sowie marine Arten haben ihre geographischen Verbreitungsgebiete, jahreszeitlichen Aktivitäten, Migrationsmuster, Populationsgrößen und Interaktionen zwischen den Arten in Reaktion auf den anhaltenden Klimawandel verändert (*hohes Vertrauen*). Während bisher nur das jüngste Aussterben einiger weniger Arten dem Klimawandel zugeordnet wurde (*hohes Vertrauen*), hat doch der natürliche globale Klimawandel bei wesentlich langsameren Änderungsraten, als sie beim derzeitigen anthropogenen Klimawandel auftreten, in den vergangenen Jahrmillionen zu signifikanten Ökosystemverschiebungen und Artensterben geführt (*hohes Vertrauen*). Ein erhöhtes Baumsterben, das an vielen Orten weltweit beobachtet wurde, wurde in einigen Regionen dem Klimawandel zugeordnet. Ein Anstieg der Häufigkeit bzw. Intensität von Ökosystemstörungen, wie Dürren, Stürme, Brände und Schädlingsausbrüche wurde in vielen Teilen der Welt nachgewiesen und in einigen Fällen dem Klimawandel zugeordnet (*mittleres Vertrauen*). Zahlreiche Beobachtungen in den letzten Jahrzehnten in allen Ozeanbecken zeigen für Meeresfische, Wirbellose und Phytoplankton Veränderungen der Populationsgrößen und Verlagerungen der Verbreitungsgebiete polwärts und/oder in tiefere, kühlere Gewässer infolge klimatischer Trends (*sehr hohes Vertrauen*) sowie geänderte Ökosystemzusammensetzungen (*hohes Vertrauen*). Einige Warmwasserkorallen und deren Riffe haben mit

**Abbildung 1.11** | Weitverbreitete Folgen in einer sich ändernden Welt: (a) Ausgehend von der seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) verfügbaren wissenschaftlichen Literatur wurden wesentlich mehr Folgen der jüngsten Jahrzehnte nun dem Klimawandel zugeordnet. Eine Zuordnung erfordert definierte wissenschaftliche Belege für die Rolle des Klimawandels. Die Abwesenheit von zusätzlichen, dem Klimawandel zugeordneten Folgen auf der Karte bedeutet nicht, dass solche Folgen nicht aufgetreten wären. Die Veröffentlichungen, auf denen die Zuordnung der Folgen basiert, spiegeln die wachsende Wissensbasis wieder. Jedoch gibt es für einige Regionen, Systeme und Prozesse noch immer nur wenige Veröffentlichungen, und dies wird an den Lücken in Daten und Studien deutlich. Symbole bezeichnen die Kategorien der zugeordneten Folgen, den relativen Beitrag des Klimawandels (wesentlich oder geringfügig) zu der beobachteten Folge und das Vertrauen in die Zuordnung. Jedes Symbol bezieht sich auf einen oder mehrere Einträge in WGII Tabelle SPM.A1, wobei die Folgen auf regionaler Ebene gruppiert wurden. Die oval eingerahmten Zahlen geben für die jeweilige Region die Gesamtzahl der Publikationen zum Klimawandel von 2001 bis 2010 an, bei denen einzelne Länder in Titel, Abstract oder Schlüsselwörtern genannt werden, basierend auf der bibliographischen Datenbank „Scopus“ für Veröffentlichungen in englischer Sprache (Stand: Juli 2011). Diese Zahlen dienen als allgemeines Maß der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur zum Klimawandel in den verschiedenen Regionen; sie geben nicht die Anzahl von Veröffentlichungen an, auf denen die Zuordnung von Folgen des Klimawandels in der entsprechenden Region beruht. Studien für Polargebiete und kleine Inseln sind bei den benachbarten Kontinentalregionen eingruppiert. Die Einbeziehung von Veröffentlichungen für eine Abschätzung und Bewertung der Zuordnung einer Folge zum Klimawandel folgte den wissenschaftlichen Belegkriterien wie in WGII, Kapitel 18 definiert. Die Veröffentlichungen, die insgesamt für die Zuordnungsanalyse betrachtet wurden, entstammen einer breiteren, in WGII AR5 betrachteten Literaturbasis. Siehe WGII, Tabelle SPM.A2 zu Beschreibungen der zugeordneten Folgen. (b) Durchschnittliche Änderungsgeschwindigkeiten der Verbreitung (km pro Jahrzehnt) mariner taxonomische Gruppen, basierend auf Beobachtungen von 1900–2010. Positive Verbreitungsänderungen stehen im Einklang mit Erwärmung (Vordringen in vormals kühlere Gewässer, im Allgemeinen polwärts). Die Zahl der analysierten Veränderungen ist für jede Kategorie angegeben. (c) Zusammenfassung geschätzter Folgen beobachteter Klimaänderungen auf Erträge vier wichtiger Nutzpflanzen in den Jahren 1960–2013 in gemäßigten und tropischen Regionen, wobei die Anzahl der analysierten Datenpunkte für jede Kategorie in Klammern angegeben ist. {WGII Abbildung SPM.2, Box TS.1 Abbildung 1}

(a) Weitverbreitete Folgen, die dem Klimawandel zugeordnet werden, basierend auf der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur seit dem AR4



Vertrauen in die Zuordnung zur Klimaänderung

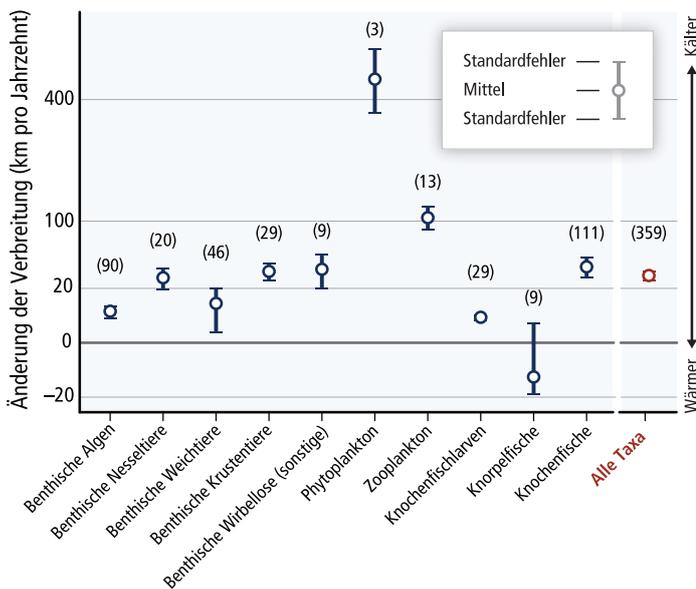


Beobachtete Folgen, die dem Klimawandel zugeordnet werden, auf

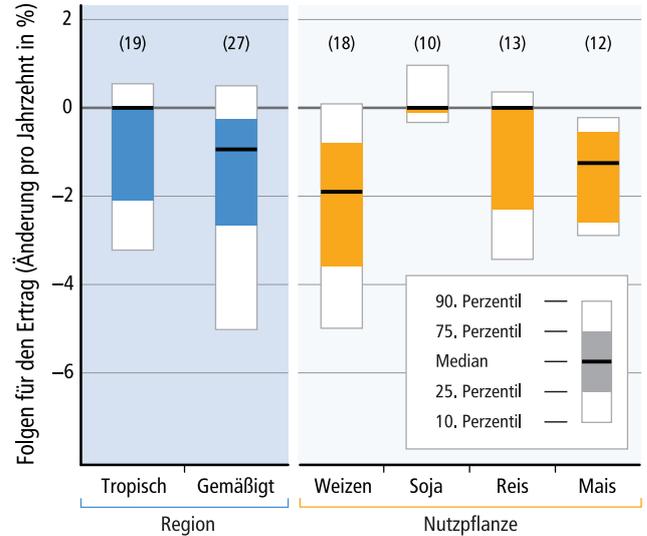


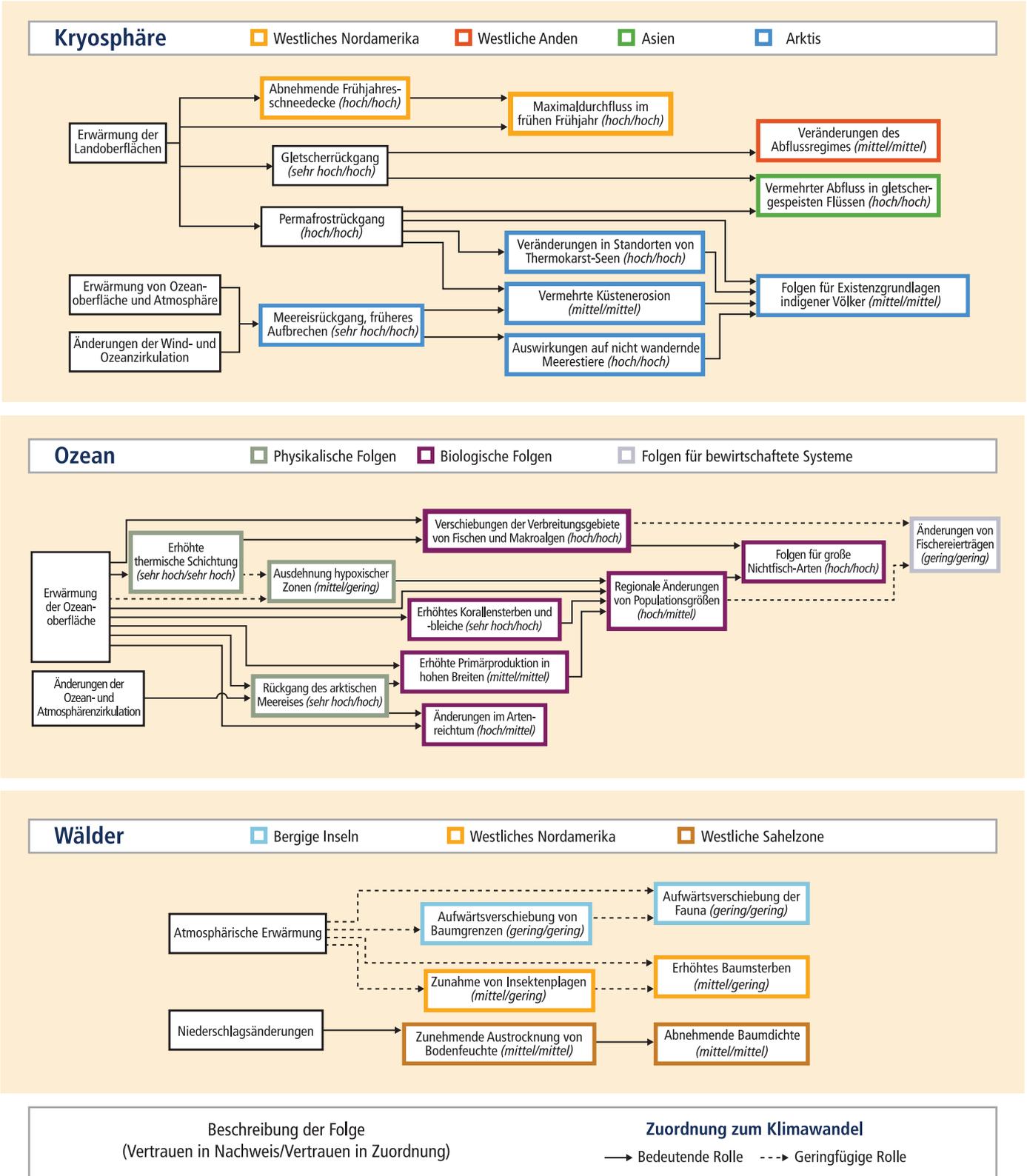
\* Identifizierte Folgen basierend auf Verfügbarkeit von Studien für eine Region  
Ungefüllte Symbole = Geringfügiger Beitrag des Klimawandels  
Gefüllte Symbole = Wesentlicher Beitrag des Klimawandels

(b)



(c)





**Abbildung 1.12** | Hauptsysteme, hinsichtlich derer neue Belege dafür existieren, dass es ineinandergreifende, „kaskadierende“ Folgen des jüngsten Klimawandels durch verschiedene natürliche Teilsysteme und solche des Menschen hindurch gibt. Text in eckigen Klammern gibt das Vertrauen in den Nachweis einer Folge des Klimawandels und die Zuordnung der beobachteten Folgen zum Klimawandel an. Die Rolle des Klimawandels kann wesentlich (durchgezogener Pfeil) oder geringfügig (gestrichelter Pfeil) sein. Erste Belege zeigen, dass die Ozeanversauerung im Hinblick auf Folgen für Systeme des Menschen ähnliche Trends wie die Ozeanerwärmung zeigt. [WGII Abbildung 18-4]

einer Änderung der Artenzusammensetzung, Bleiche und verringerter Korallenbedeckung, die einen Verlust des Lebensraumes zur Folge hat, auf die Erwärmung reagiert (*hohes Vertrauen*). Einige Auswirkungen der Ozeanversauerung auf Meeresorganismen konnten Einflüssen des Menschen zugeordnet werden, von dünner werdenden Gehäusen von Pteropoden und Foraminiferen (*mittleres Vertrauen*) bis hin zu verminderten Wachstumsraten von Korallen (*geringes Vertrauen*). Sauerstoffminimumzonen breiten sich zunehmend im tropischen Pazifik, im Atlantik und im Indischen Ozean aus, was auf die verringerte Durchlüftung und O<sub>2</sub>-Löslichkeit in einem wärmeren, stärker geschichteten Ozean zurückzuführen ist, und schränken die Lebensräume von Fischen ein (*mittleres Vertrauen*). {WGII SPM A-1, Tabelle SPM.A1, TS A-1, 6.3.2.5, 6.3.3, 18.3–18.4, 30.5.1.1, Box CC-OA, Box CC-CR}

**Eine Bewertung vieler Studien, die eine große Bandbreite an Regionen und Nutzpflanzen abdecken, zeigt, dass sich der Klimawandel häufiger negativ als positiv auf Ernteerträge ausgewirkt hat (*hohes Vertrauen*).** Die geringere Anzahl an Studien, die positive Folgen zeigen, beziehen sich hauptsächlich auf Regionen in höheren Breiten, doch es ist noch nicht klar, ob die negativen oder die positiven Folgen in diesen Region überwiegen (*hohes Vertrauen*). Klimawandel hat die Erträge von Weizen und Mais in vielen Regionen und global betrachtet negativ beeinflusst (*mittleres Vertrauen*). Die Folgen für die Erträge von Reis und Sojabohnen sind in den Hauptanbaugebieten und global gesehen geringer gewesen, mit einem Median der Änderung über alle verfügbaren Daten von Null; wobei die Datenlage für Soja verglichen mit den anderen Nutzpflanzen schwächer ist (siehe Abbildung 1.11c). Beobachtete Folgen beziehen sich hauptsächlich auf die Produktionsaspekte der Ernährungssicherung und nicht so sehr auf den Zugang oder andere Komponenten der Ernährungssicherung. Seit dem AR4 weisen einige Phasen raschen Anstiegs der Lebensmittel- und Getreidepreise nach dem Auftreten von Klimaextremen in Hauptanbaugebieten auf eine Empfindlichkeit der gegenwärtigen Märkte gegenüber Klimaextremen neben anderen Faktoren hin (*mittleres Vertrauen*). {WGII SPM A-1}

**Gegenwärtig ist die weltweite Belastung durch Erkrankungen von Menschen aufgrund des Klimawandels verglichen mit den Auswirkungen anderer Stressfaktoren relativ gering und nicht ausreichend quantifiziert.** Allerdings gab es aufgrund der Erwärmung in einigen Regionen eine erhöhte hitzebedingte und geringere kältebedingte Mortalität (*mittleres Vertrauen*). Lokale Temperatur- und Niederschlagsänderungen haben die Verbreitung von einigen durch Wasser übertragenen Krankheiten und Krankheitsüberträgern verändert (*mittleres Vertrauen*). {WGII SPM A-1}

**„Kaskadierende“ Folgen des Klimawandels können nun entlang von Belegketten vom physikalischen Klima über dazwischen liegende Systeme bis hin zu Menschen zugeordnet werden (Abbildung 1.12).** Die Klimaänderungen, die in die Kaskade einfließen, sind in einigen Fällen mit Treibern, die mit dem Menschen zusammenhängen, verbunden (z. B. eine abnehmende Menge an Wasser in der Schneedecke im Frühjahr im westlichen Nordamerika), während in anderen Fällen keine wissenschaftliche Bewertung der Ursachen für den in die Kaskade eingehenden Klimawandel verfügbar ist. In allen Fällen nimmt das Vertrauen in den Nachweis und die Zuordnung zum beobachteten Klimawandel ab, je weiter am Ende der Kaskade eine Folge zu finden ist. {WGII 18.6.3}

## 1.4 Extremereignisse

**Seit ca. 1950 wurden Veränderungen vieler extremer Wetter- und Klimaereignisse beobachtet. Einige dieser Veränderungen wurden mit Einflüssen des Menschen in Verbindung gebracht, darunter ein Rückgang kalter Temperaturextreme, ein Anstieg warmer Temperaturextreme, eine Zunahme extrem hoher Meeresspiegel und ein Anstieg der Anzahl von Starkniederschlagsereignissen in etlichen Regionen.**

**Es ist sehr wahrscheinlich, dass auf globaler Ebene die Anzahl der kalten Tage und Nächte zurückgegangen und die Anzahl der warmen Tage und Nächte gestiegen ist.** Es ist *wahrscheinlich*, dass die Häufigkeit von Hitzewellen in weiten Teilen Europas, Asiens und Australiens zugenommen hat. Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass der Einfluss des Menschen zu den beobachteten globalen Veränderungen der Häufigkeit und Intensität von täglichen Temperaturextremen seit Mitte des 20. Jahrhunderts beigetragen haben. Es ist *wahrscheinlich*, dass der Einfluss des Menschen die Eintrittswahrscheinlichkeit von Hitzewellen in einigen Gegenden mehr als verdoppelt hat. {WGI SPM B.1, SPM D.3, Tabelle SPM.1, FAQ 2.2, 2.6.1, 10.6}

**Es besteht mittleres Vertrauen, dass die beobachtete Erwärmung hitzebedingte Todesfälle vermehrt und kältebedingte Todesfälle in einigen Regionen verringert hat.** Extreme Hitzeereignisse führen derzeit zu vermehrten Todesfällen und Erkrankungen in Nordamerika (*sehr hohes Vertrauen*) und in Europa, wobei die Folgen sich je nach Alter der Menschen, Ort und sozioökonomischen Faktoren unterscheiden (*hohes Vertrauen*). {WGII SPM A-1, 11.4.1, Tabelle 23-1, 26.6.1.2}

**Es gibt wahrscheinlich mehr Landgebiete, in denen die Anzahl von Starkniederschlagsereignissen gestiegen ist als solche, in denen sie abgenommen hat.** Die Häufigkeit und Intensität von Starkniederschlagsereignissen hat in Nordamerika und Europa *wahrscheinlich* zugenommen. Für andere Kontinente besteht höchstens *mittleres Vertrauen* in die Trends. Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass die globale spezifische Feuchtigkeit der oberflächennahen und troposphärischen Luft seit den 1970er Jahren zugenommen hat. Für Landregionen, in denen die Beobachtungen für eine Bewertung ausreichen, besteht *mittleres Vertrauen*, dass anthropogene Antriebe zu einer globalen Intensivierung von Starkniederschlägen während der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts beigetragen haben. {WGI SPM B-1, 2.5.1, 2.5.4–2.5.5, 2.6.2, 10.6, Tabelle SPM.1, FAQ 2.2, SREX Tabelle 3-1, 3.2}

**Es besteht geringes Vertrauen, dass der anthropogene Klimawandel die Häufigkeit und das Ausmaß von Flusshochwassern auf globaler Ebene beeinflusst hat.** Die Belastbarkeit der Belege ist vor allem durch fehlende langfristige Aufzeichnungen aus nicht bewirtschafteten Wassereinzugsgebieten begrenzt. Darüber hinaus werden Überschwemmungen stark durch viele Aktivitäten des Menschen, die sich auf Wassereinzugsgebiete auswirken, beeinflusst, was die Zuordnung nachgewiesener Veränderungen zum Klimawandel erschwert. Dennoch implizieren die jüngsten Nachweise zunehmender Trends ext-

remer Niederschläge und Abflüsse in einigen Einzugsgebieten höhere Überschwemmungsrisiken auf regionaler Ebene (*mittleres Vertrauen*). Mit Flutschäden verbundene Kosten sind weltweit seit den 1970er Jahren angestiegen, wobei dies teilweise auf eine erhöhte Exposition von Menschen und Gütern zurückzuführen ist. {WGI 2.6.2, WGII 3.2.7, SREX SPM B}

Es besteht *geringes Vertrauen* in beobachtete globale Trends von Dürren, was auf fehlende direkte Beobachtungen, die Abhängigkeit abzuleitender Trends von der Definition von Dürre sowie auf geographisch unterschiedliche Dürretrends zurückzuführen ist. Aufgrund derselben Beobachtungsunsicherheiten sowie von Schwierigkeiten bei der Abgrenzung dekadischer Schwankungen der Dürren von langfristigen Trends besteht ebenfalls *geringes Vertrauen* in die Zuordnung von Veränderungen von Dürren über globalen Landflächen seit Mitte des 20. Jahrhunderts. {WGI Abbildung SPM.1, 2.6.2.3, 10.6, Abbildung 2.33, WGII 3.E5, 3.2.7}

Es besteht *geringes Vertrauen*, dass langfristige Veränderungen in tropischen Wirbelsturmaktivitäten robust sind, und es besteht *geringes Vertrauen* in die Zuordnung globaler Veränderungen zu einer bestimmten Ursache. Dennoch ist es *praktisch sicher*, dass intensive tropische Wirbelstürme im Nordatlantik seit 1970 zugenommen haben. {WGI Abbildung SPM.1, 2.6.3, 10.6}

Es ist *wahrscheinlich*, dass extreme Meeresspiegel (wie sie z. B. bei Sturmfluten auftreten) seit 1970 zugenommen haben, was hauptsächlich auf den Anstieg des mittleren Meeresspiegels zurückzuführen ist. Aufgrund eines Mangels an Untersuchungen und der Schwierigkeit, solche Auswirkungen von anderen Veränderungen von Küstensystemen abzugrenzen, sind nur begrenzte Belege für die Folgen des Meeresspiegelanstiegs verfügbar. {WGI 3.7.4–3.7.6, Abbildung 3.15, WGII 5.3.3.2, 18.3}

Folgen jüngster extremer klimatischer Ereignisse wie Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen, Wirbelstürme und Wald- oder Flächenbrände zeigen eine signifikante Verwundbarkeit und Exposition einiger Ökosysteme und vieler Systeme des Menschen gegenüber derzeitigen Klimaschwankungen (*sehr hohes Vertrauen*). Folgen solcher klimabezogener Extremereignisse umfassen Veränderungen von Ökosystemen, eine Unterbrechung von Nahrungsmittelproduktion und Wasserversorgung, Schäden an Infrastruktur und Siedlungen, Erkrankungen und Todesfälle, sowie Konsequenzen für psychische Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen. In Ländern aller Entwicklungsstufen gehen diese Folgen einher mit einem signifikanten Mangel an Vorbereitung auf die derzeitige Klimavariabilität in einigen Sektoren. {WGII SPM A-1, 3.2, 4.2-3, 8.1, 9.3, 10.7, 11.3, 11.7, 13.2, 14.1, 18.6, 22.2.3, 22.3, 23.3.1.2, 24.4.1, 25.6-8, 26.6-7, 30.5, Tabelle 18-3, Tabelle 23-1, Abbildung 26-2, Box 4-3, Box 4-4, Box 25-5, Box 25-6, Box 25-8, Box CC-CR}

Direkte und versicherte Verluste aufgrund von wetterbedingten Katastrophen haben in den letzten Jahrzehnten sowohl global als auch regional beträchtlich zugenommen. Die wachsende Exposition von Menschen und Wirtschaftsgütern war die Hauptursache für langfristige Anstiege der wirtschaftlichen Verluste aufgrund von wetter- und klimabedingten Katastrophen (*hohes Vertrauen*). {WGII 10.7.3, SREX SPM B, 4.5.3.3}

## 1.5 Exposition und Verwundbarkeit

**Eigenschaften und Stärke von Folgen des Klimawandels und von Extremereignissen ergeben sich aus Risiken, die nicht nur von klimabezogenen Gefahren abhängen, sondern auch von der Exposition (Menschen und Güter, die Risiken ausgesetzt sind) und Verwundbarkeit (Anfälligkeit für Schäden) natürlicher Systeme und solcher des Menschen.**

Exposition und Verwundbarkeit werden durch eine Vielzahl sozialer, wirtschaftlicher und kultureller Faktoren und Prozesse beeinflusst, die bislang nur unvollständig berücksichtigt wurden und die eine quantitative Bewertung ihrer zukünftigen Trends erschweren (*hohes Vertrauen*). Diese Faktoren beinhalten Reichtum und dessen Verteilung in der Gesellschaft, demographische Faktoren, Migration, Zugang zu Technologie und Information, Beschäftigungsstrukturen, die Qualität von Anpassungsmaßnahmen, gesellschaftliche Werte, Strukturen für politische Steuerung und Koordination sowie Institutionen zur Konfliktlösung. {WGII SPM A-3, SREX SPM B}

Unterschiede in Verwundbarkeit und Exposition ergeben sich aus nicht-klimatischen Faktoren und mehrdimensionalen Ungleichheiten, die vielfach von ungleichmäßigen Entwicklungsprozessen bewirkt werden (*sehr hohes Vertrauen*). Diese Unterschiede bewirken unterschiedliche Risiken durch den Klimawandel. Menschen, die sozial, wirtschaftlich, kulturell, politisch, institutionell oder anderweitig ausgegrenzt werden, sind besonders verwundbar gegenüber dem Klimawandel und auch bezüglich einiger Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Diese erhöhte Verwundbarkeit ist selten durch eine einzige Ursache bedingt. Vielmehr ist sie das Produkt von sich überschneidenden sozialen Prozessen, die zu Ungleichheiten im sozio-ökonomischen Status und im Einkommen sowie bezüglich Exposition führen. Solche sozialen Prozesse umfassen beispielsweise Diskriminierungen aufgrund von Geschlecht, Gesellschaftsschicht, ethnischer Zugehörigkeit, Alter und Behinderung. {WGII SPM A-1, Abbildung SPM.1, 8.1–8.2, 9.3–9.4, 10.9, 11.1, 11.3–11.5, 12.2–12.5, 13.1–13.3, 14.1–14.3, 18.4, 19.6, 23.5, 25.8, 26.6, 26.8, 28.4, Box CC-GC}

Klimabedingte Gefährdungen verschärfen andere Stressfaktoren, häufig mit negativen Folgen für die Existenzgrundlagen, insbesondere für in Armut lebende Menschen (*hohes Vertrauen*). Klimabedingte Gefährdungen beeinflussen das Leben armer Menschen direkt durch die Folgen für die Existenzgrundlagen, den Rückgang von Ernteerträgen oder die Zerstörung von Häusern und indirekt z. B. durch höhere Lebensmittelpreise und Ernährungsunsicherheit. Beobachtete positive Folgen für arme und ausgegrenzte Menschen, die begrenzt und häufig indirekt sind, sind z. B. die Diversifizierung sozialer Netzwerke und landwirtschaftlicher Praktiken. {WGII SPM A-1, 8.2–8.3, 9.3, 11.3, 13.1–13.3, 22.3, 24.4, 26.8}

Gewaltsame Konflikte erhöhen die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Großräumige gewaltsame Konflikte schädigen Vermögenswerte die Anpassungsmaßnahmen erleichtern, einschließlich Infrastruktur, Institutionen, natürlicher Ressourcen, sozialen Kapitals und Möglichkeiten zur Existenzsicherung. {WGII SPM A-1, 12.5, 19.2, 19.6}

## 1.6 Reaktionen des Menschen auf den Klimawandel: Anpassung und Minderung

Es wird immer mehr Erfahrung mit Anpassung und Minderung in allen Regionen und auf allen Ebenen gesammelt, auch während die globalen anthropogenen Treibhausgasemissionen weiter angestiegen sind.

Im Laufe der Geschichte haben sich Menschen und Gesellschaften an das Klima sowie dessen Schwankungen und Extreme angepasst und sind damit zurechtgekommen – mit unterschiedlichem Erfolg. Im heutigen sich ändernden Klima bietet das Sammeln von Erfahrungen mit Anpassungs- und Klimaschutzmaßnahmen Gelegenheiten zu Lernen und für Verbesserungen (3, 4). *{WGII SPM A-2}*

**Anpassung wird zurzeit in einige Planungsprozesse eingebunden, wobei die Umsetzung von Maßnahmen eher begrenzt bleibt (hohes Vertrauen).** Verfahrenstechnische und technologische Möglichkeiten sind häufig umgesetzte Anpassungsmaßnahmen, oftmals integriert in bestehende Programme wie das Management von Katastrophenrisiko und die Wasserwirtschaft. Der Wert sozialer, institutioneller und ökosystembasierter Maßnahmen und das Ausmaß der Einschränkungen von Anpassung werden zunehmend anerkannt. *{WGII SPM A-2, 4.4, 5.5, 6.4, 8.3, 9.4, 11.7, 14.1, 14.3–14.4, 15.2–15.5, 17.2–17.3, 21.3, 21.5, 22.4, 23.7, 25.4, 26.8–26.9, 30.6, Box 25-1, Box 25-2, Box 25-9, Box CC-EA}*

**Regierungen auf verschiedenen Ebenen haben mit der Entwicklung von Anpassungsplänen und politischen Maßnahmen dazu begonnen und beziehen Gesichtspunkte des Klimawandels in umfassendere Entwicklungspläne mit ein.** Beispiele für Anpassung sind nun aus allen Regionen der Welt verfügbar (siehe Thema 4 zu Anpassungsoptionen und Maßnahmen zur Unterstützung ihrer Umsetzung). *{WGII SPM A-2, 22.4, 23.7, 24.4–24.6, 24.9, 25.4, 25.10, 26.7–26.9, 27.3, 28.2, 28.4, 29.3, 29.6, 30.6, Tabelle 25-2, Tabelle 29-3, Abbildung 29-1, Box 5-1, Box 23-3, Box 25-1, Box 25-2, Box 25-9, Box CC-TC}*

**Obwohl in vielen Teilen der Welt Minderungsaktivitäten stattgefunden haben, gab es globale Anstiege bei anthropogenen Emissionen und Klimafolgen.** Obwohl verschiedene Initiativen zum Klimaschutz zwischen subnationalen und globalen Skalen entwickelt oder implementiert worden sind, kann eine vollständige Bewertung ihrer Auswirkungen verfrüht sein. *{WGIII SPM.3, SPM.5}*



# 2

## **Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen**

## Thema 2: Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen

**Fortgesetzte Emissionen von Treibhausgasen werden eine weitere Erwärmung und lang anhaltende Änderungen aller Komponenten des Klimasystems verursachen und damit die Wahrscheinlichkeit von schwerwiegenden, weitverbreiteten und irreversiblen Folgen für Menschen und Ökosysteme erhöhen. Eine Begrenzung der Klimaänderung würde beträchtliche und anhaltende Minderungen der Treibhausgasemissionen erfordern, wodurch – verbunden mit Anpassung – die Risiken des Klimawandels begrenzt werden können.**

Thema 2 befasst sich mit Projektionen des zukünftigen Klimawandels und den daraus entstehenden Risiken und Folgen. Faktoren, die den zukünftigen Klimawandel bestimmen, einschließlich Szenarien für zukünftige Treibhausgas-(THG)-Emissionen, sind in Abschnitt 2.1 aufgeführt. Beschreibungen der für die Projektionen von Klima, Folgen und Risiken verwendeten Methoden und Instrumente und deren Entwicklung seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) sind in den Boxen 2.1 bis 2.3 angegeben. Einzelheiten zu projizierten Veränderungen des Klimasystems, einschließlich damit verbundener Unsicherheiten und des Grades des Expertenvertrauens in die Projektionen sind in Abschnitt 2.2 erläutert. Die zukünftigen Folgen des Klimawandels auf natürliche Systeme und solche des Menschen sowie die damit verbundenen Risiken werden in Abschnitt 2.3 bewertet. Thema 2 schließt mit einer Bewertung irreversibler Änderungen, abrupter Änderungen und Änderungen über das Jahr 2100 hinaus in Abschnitt 2.4.

### 2.1 Haupttreiber des zukünftigen Klimas und Projektionsgrundlage

**Die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmen weitgehend die mittlere globale Erwärmung der Erdoberfläche bis zum späten 21. Jahrhundert und darüber hinaus. Projektionen von Treibhausgasemissionen unterscheiden sich erheblich, abhängig sowohl von sozioökonomischer Entwicklung als auch von Klimapolitik.**

Klimamodelle sind mathematische Darstellungen von für das Klimasystem der Erde bedeutenden Prozessen. In diesem Bericht sind Ergebnisse aus einer Hierarchie von Klimamodellen berücksichtigt, von einfachen idealisierten Modellen über Modelle von mittlerer Komplexität bis hin zu umfassenden Allgemeinen Zirkulationsmodellen (GCM), einschließlich der Erdsystemmodelle (ESM), die auch den Kohlenstoffkreislauf simulieren. Die GCM simulieren viele Klimaaspekte, einschließlich der

Temperatur der Atmosphäre und der Ozeane, Niederschlag, Winde, Wolken, Meeresströmungen und Meereisausdehnung. Die Modelle werden ausführlich gegen historische Beobachtungen getestet (Box 2.1). *{WGI 1.5.2, 9.1.2, 9.2, 9.8.1}*

Um Projektionen des Klimawandels zu erhalten, verwenden die Klimamodelle Informationen aus Szenarien von THG- und Luftschadstoffemissionen sowie Landnutzungsmustern. Szenarien werden durch eine Reihe von Ansätzen erzeugt, von einfachen idealisierten Experimenten bis hin zu Integrierten Bewertungsmodellen (IAM, siehe Glossar). Entscheidende Faktoren, die Veränderungen in anthropogenen THG-Emissionen antreiben, sind Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum, Lebensstil- und Verhaltensänderungen, sowie damit verbundene Änderungen in Energieverbrauch und Landnutzung, sowie Technologie und Klimapolitik, die grundsätzlich unsicher sind. *{WGI 11.3, 12.4, WGIII 5, 6, 6.1}*

Der Standardsatz der im AR5 verwendeten Szenarien wird als Repräsentative Konzentrationspfade (RCP, Box 2.2) bezeichnet. *{WGI Box SPM.1}*

#### Box 2.1 | Fortschritte, Vertrauen und Unsicherheiten bei der Modellierung des Klimasystems der Erde

**Verbesserungen in den Klimamodellen seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) sind erwiesen für Simulationen der Oberflächentemperatur im kontinentalen Maßstab, großräumiger Niederschläge, des Monsuns, des arktischen Meereises, des Wärmegehaltes des Ozeans, einiger Extremereignisse, des Kohlenstoffkreislaufs, der atmosphärischen Chemie und Aerosole, der Auswirkungen des stratosphärischen Ozons und der El Niño-Southern Oscillation.** Klimamodelle reproduzieren die beobachteten kontinentalen Oberflächentemperaturmuster und multidekadischen Trends, einschließlich der schnelleren Erwärmung seit der Mitte des 20. Jahrhunderts und der unmittelbar auf große Vulkanausbrüche folgenden Abkühlung (*sehr hohes Vertrauen*). Die Simulation großräumiger Niederschlagsmuster hat sich seit dem AR4 etwas verbessert, obwohl Modelle weiterhin für Niederschläge weniger leistungsfähig sind als für die Oberflächentemperatur. Das *Vertrauen* in die Darstellung von Prozessen, die Wolken und Aerosole beinhalten, bleibt *gering*. *{WGI SPM D.1, 7.2.3, 7.3.3, 7.6.2, 9.4, 9.5, 9.8, 10.3.1}*

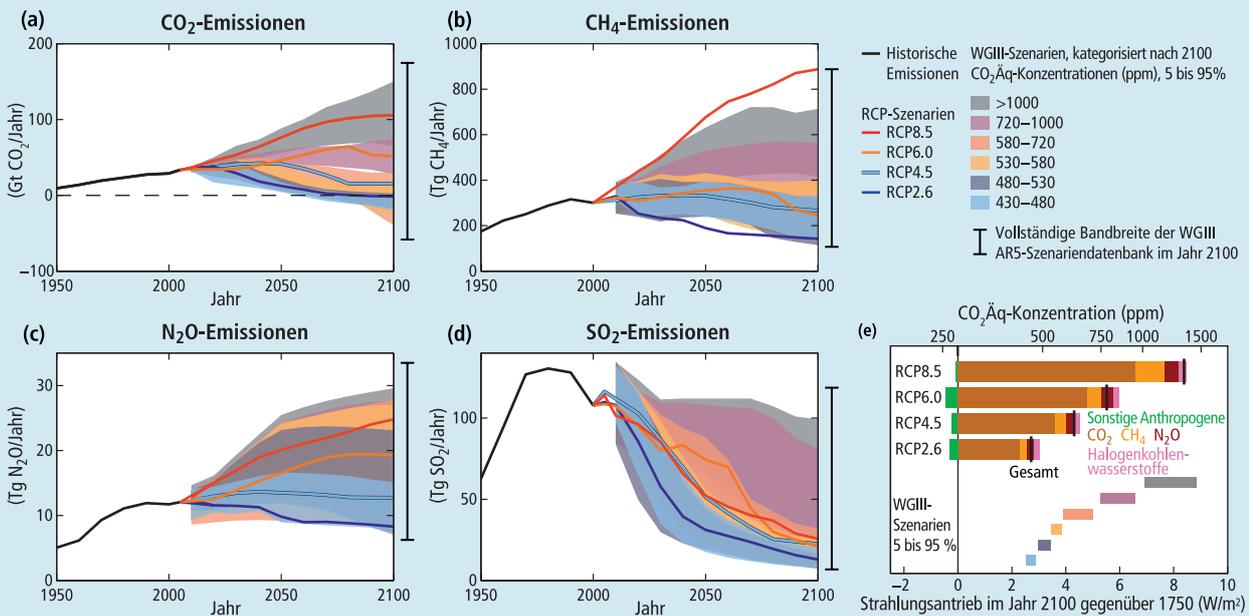
Die Fähigkeit zur Simulation der thermischen Ausdehnung des Ozeans, von Gletschern und Eisschilden und daher des Meeresspiegels, hat sich seit dem AR4 verbessert, es bleiben jedoch erhebliche Herausforderungen in der Repräsentation der Dynamik der Grönländischen und Antarktischen Eisschilde. Zusammen mit Fortschritten in wissenschaftlichem Verständnis und Leistungsvermögen hat dies zu im Vergleich mit dem AR4 verbesserten Meeresspiegelprojektionen in diesem Bericht geführt. *{WGI SPM E.6, 9.1.3, 9.2, 9.4.2, 9.6, 9.8, 13.1, 13.4, 13.5}*

Insgesamt stimmen die Projektionen aus Klimamodellen im AR4 und im AR5 für großräumige Veränderungsmuster überein und das Maß an Unsicherheit hat sich nicht signifikant verändert; neue Experimente und Studien haben jedoch zu einer vollständigeren und gründlicheren Charakterisierung der Unsicherheit in langfristigen Projektionen geführt. *{WGI 12.4}*

### Box 2.2 | Die Repräsentativen Konzentrationspfade

Die Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP) beschreiben vier unterschiedliche Pfade von Treibhausgas (THG)-Emissionen und atmosphärischen Konzentrationen, Luftschadstoffemissionen und Landnutzung im 21. Jahrhundert. Die RCP wurden unter Verwendung Integrierter Bewertungsmodelle (IAM) als Input für eine breite Reihe von Klimamodellsimulationen zur Projektion ihrer Folgen für das Klimasystem entwickelt. Diese Klimaprojektionen werden wiederum für Abschätzungen von Auswirkungen und Anpassung herangezogen. Die RCP sind konsistent mit der Bandbreite von Szenarien in der von WGIII bewerteten Minderungsliteratur<sup>28</sup>. Die Szenarien werden verwendet, um die Kosten abzuschätzen, die mit den jeweiligen Konzentrationspfaden entsprechenden Emissionsminderungen verbundenen sind. Die RCP repräsentieren die große Bandbreite der THG-Emissionen in der breiteren Literatur gut (Box 2.2, Abbildung 1); sie beinhalten ein stringentes Minderungsszenario (RCP2.6), zwei mittlere Szenarien (RCP4.5 und RCP6.0) und ein Szenario mit sehr hohen THG-Emissionen (RCP8.5). Szenarien ohne zusätzliche Bemühungen zur Beschränkung von Emissionen (Referenzszenarien) führen zu Pfaden zwischen RCP6.0 und RCP8.5. RCP2.6 ist repräsentativ für ein Szenario, das darauf gerichtet ist, die globale Erwärmung *wahrscheinlich* unterhalb von 2 °C über den vorindustriellen Temperaturen zu halten. Die Mehrheit der Modelle zeigt, dass Szenarien, die Antriebsniveaus vergleichbar mit RCP2.6 erreichen, durch erhebliche negative Nettoemissionen<sup>29</sup> bis zum Jahr 2100 gekennzeichnet sind, durchschnittlich etwa 2 Gt CO<sub>2</sub> pro Jahr. Die Landnutzungsszenarien der RCP zeigen insgesamt eine große Bandbreite möglicher Zukunftsmodelle, von einer Netto-Wiederaufforstung bis zu weiterer Entwaldung, in Übereinstimmung mit den Projektionen in der gesamten Szenarienkategorie. Für Luftschadstoffe wie Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) gehen die RCP-Szenarien von einer konsequenten Abnahme der Emissionen in Folge angenommener Politiken zur Luftreinhaltung und THG-Minderung aus (Box 2.2, Abbildung 1). Zu beachten ist, dass diese Zukunftsszenarien mögliche Änderungen der natürlichen Antriebe im Klimasystem (z. B. Vulkanausbrüche) unberücksichtigt lassen (siehe Box 1.1). {WGI Box SPM 1, 6.4, 8.5.3, 12.3, Annex II, WGII 19, 21, WGIII 6.3.2, 6.3.6}

Die RCP decken einen breiteren Bereich ab als die Szenarien aus dem Sonderbericht zu Emissionsszenarien (SRES), die in früheren Sachstandsberichten verwendet wurden, da sie auch Szenarien mit Klimapolitik repräsentieren. Im Hinblick auf den Gesamtantrieb ist RCP8.5 weitgehend vergleichbar mit dem SRES A2/A1FI-Szenario, RCP6.0 mit B2 und RCP 4.5 mit B1. Für RCP2.6 findet sich im SRES kein entsprechendes Szenario. Daher sind die Unterschiede in der Größenordnung der Klimaprojektionen im AR4 und AR5 weitgehend auf die Einbindung des breiteren Bereichs bewerteter Szenarien zurückzuführen. {WGI TS Box TS.6, 12.4.9}



**Box 2.2, Abbildung 1 |** Emissionsszenarien und die daraus resultierenden Strahlungsantriebsniveaus für die Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP, Linien) und die damit verbundenen, in WGIII verwendeten Szenariokategorien (farbige Bereiche, siehe Tabelle 3.1). Die Tafeln a bis d zeigen die Emissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>). Tafel e zeigt zukünftige Strahlungsantriebsniveaus für die RCP, die unter Verwendung des einfachen Kohlenstoffkreislauf-Klimamodells – Modell zur Abschätzung des durch Treibhausgase verursachten Klimawandels (MAGICC) – berechnet wurden, für die RCP (nach Antriebsfaktoren) und für die WGIII-Szenariokategorien (gesamt) {WGI 8.2.2, 8.5.3, Abbildung 8.2, Anhang II, WGIII Tabelle SPM.1, Tabelle 6.3}. Die Szenariokategorien von WGIII fassen die Vielzahl der in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlichten Emissionsszenarien zusammen und werden auf der Grundlage der gesamten CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen (in ppm) im Jahr 2100 definiert (Tabelle 3.1). Die vertikalen Linien an der rechten Seite der Tafeln (Tafel a–d) geben den vollständigen Bereich der WGIII AR5-Szenariodatenbank an.

<sup>28</sup> Ungefähr 300 Referenzszenarien und 900 Minderungsszenarien sind anhand CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen (CO<sub>2</sub>Äq) bis zum Jahr 2100 kategorisiert. CO<sub>2</sub>Äq beinhaltet den Antrieb durch alle Treibhausgase (einschließlich halogenierter Gase und troposphärischen Ozons), Aerosole und Albedoveränderungen (siehe Glossar).

<sup>29</sup> Negative Nettoemissionen können erreicht werden, wenn mehr THG sequestriert als in die Atmosphäre freigesetzt werden (z. B. durch die Verwendung von Bioenergie in Kombination mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung).



Die zur Abschätzung zukünftiger Folgen und Risiken des Klimawandels verwendeten Methoden sind in Box 2.3 erläutert. Modellerte zukünftige Folgen, die in diesem Bericht bewertet wurden, basieren im Allgemeinen auf Klima-Modellprojektionen unter Verwendung der RCP und – in einigen Fällen – des älteren IPCC-Sonderberichts zu Emissions-Szenarien (SRES). {WGI Box SPM.1, WGII 1.1, 1.3, 2.2–2.3, 19.6, 20.2, 21.3, 21.5, 26.2, Box CC-RC}

**Das Risiko klimabedingter Folgen ergibt sich aus der Wechselwirkung klimabedingter Gefährdungen (einschließlich gefährlicher Ereignisse und Trends) und der Verwundbarkeit und Exposition natürlicher Systeme und solcher des Menschen.** Alternative Entwicklungspfade beeinflussen Risiken durch eine Veränderung der Wahrscheinlichkeit klimatischer Ereignisse und Trends, aufgrund ihrer Auswirkungen auf Treibhausgase, Schadstoffe und Landnutzung, und durch eine Veränderung von Verwundbarkeit und Exposition. {WGII SPM, 19.2.4, Abbildung 19-1, Box 19-2}

**Experimente, Beobachtungen und Modelle, die für Schätzungen zukünftiger Folgen und Risiken herangezogen werden, haben sich seit dem AR4 verbessert, wobei die Erkenntnisse hinsichtlich vieler Sektoren und Regionen zunehmen.** So hat beispielsweise eine verbesserte Wissensbasis erweiterte Abschätzungen von Risiken für Sicherheit von Menschen und ihre Existenzgrundlagen sowie für die Ozeane ermöglicht. Für einige Aspekte des Klimawandels und seiner Folgen ist die Unsicherheit hinsichtlich zukünftiger Auswirkungen kleiner geworden. Für andere wird die Unsicherheit fortbestehen. Einige der anhaltenden Unsicherheiten gründen in den Mechanismen, die das Ausmaß und die Geschwindigkeit des Klimawandels kontrol-

lieren. Andere entstehen aus potenziell komplexen Wechselwirkungen zwischen dem sich ändernden Klima und der zugrundeliegenden Verwundbarkeit und Exposition von Menschen, Gesellschaften und Ökosystemen. Die Kombination von anhaltender Unsicherheit in Schlüsselmechanismen und der Erwartung komplexer Wechselwirkungen begründet einen Risiko-Fokus in diesem Bericht. Da Risiko sowohl Wahrscheinlichkeit als auch Folgen beinhaltet, ist es wichtig, die volle Bandbreite möglicher Ergebnisse zu berücksichtigen, einschließlich unwahrscheinlicher, aber schwerwiegender Auswirkungen, welche schwer zu simulieren sind. {WGII 2.1–2.4, 3.6, 4.3, 11.3, 12.6, 19.2, 19.6, 21.3–21.5, 22.4, 25.3–25.4, 25.11, 26.2}

## 2.2 Projizierte Änderungen im Klimasystem

**Für alle bewerteten Emissionsszenarien wird ein Anstieg der Temperatur an der Erdoberfläche im Verlauf des 21. Jahrhunderts projiziert. Es ist sehr wahrscheinlich, dass Hitzewellen häufiger auftreten und länger andauern werden und dass extreme Niederschlagsereignisse in vielen Regionen an Intensität und Häufigkeit zunehmen. Der Ozean wird sich weiterhin erwärmen und versauern, und der mittlere globale Meeresspiegel wird weiterhin ansteigen.**

*Die projizierten Veränderungen in Abschnitt 2.2 gelten für 2081–2100, bezogen auf 1986–2005, sofern nicht anders angegeben.*

### Box 2.3 | Modelle und Methoden für die Abschätzung von Risiken, Verwundbarkeiten und Folgen des Klimawandels

**Zukünftige klimabezogene Risiken, Verwundbarkeiten und Folgen werden im AR5 – wie in den vorangegangenen Sachstandsberichten – durch Experimente, Analogien und Modelle geschätzt.** In „Experimenten“ werden ein oder mehrere Faktoren im Klimasystem, die einen Aspekt von Interesse beeinflussen, bewusst verändert, um erwartete zukünftige Bedingungen widerzuspiegeln, während die anderen Faktoren, die den Aspekt betreffen, konstant gehalten werden. „Analogien“ nutzen bestehende Unterschiede und werden verwendet, wenn kontrollierte Experimente aufgrund ethischer Bedenken, des großen Bereiches oder des langen Zeitraums, der benötigt würde, oder wegen hoher Systemkomplexität undurchführbar sind. Zwei Arten von Analogien werden in den Projektionen des Klimas und seiner Folgen verwendet. Räumliche Analogien identifizieren einen anderen Teil der Welt, der derzeit Bedingungen aufweist, die vergleichbar sind mit denjenigen, die man für die Zukunft erwartet. Zeitliche Analogien nutzen Veränderungen in der Vergangenheit, manchmal abgeleitet aus paläo-ökologischen Daten, um Ableitungen für zukünftige Veränderungen vorzunehmen. „Modelle“ sind typischerweise numerische Simulationen real existierender Systeme, die unter Verwendung von Beobachtungen aus Experimenten oder Analogien kalibriert und validiert werden und dann mit Eingabewerten betrieben werden, welche das zukünftige Klima repräsentieren. Modelle können auch überwiegend beschreibende Narrative möglicher Zukunftsentwicklungen enthalten, wie jene, die in der Erstellung von Szenarien verwendet werden. Quantitative und beschreibende Modelle werden häufig gemeinsam verwendet. Folgen werden unter anderem modelliert für Wasserressourcen, biologische Vielfalt und Ökosystemdienstleistungen an Land, Süßwassersysteme, die Ozeane und Eiskörper, sowie für städtische Infrastruktur, landwirtschaftliche Produktivität, Gesundheit, Wirtschaftswachstum und Armut. {WGII 2.2.1, 2.4.2, 3.4.1, 4.2.2, 5.4.1, 6.5, 7.3.1, 11.3.6, 13.2.2}

**Risiken werden auf der Grundlage der Wechselwirkung zwischen projizierten Veränderungen im Erdsystem und den vielen Dimensionen von Verwundbarkeit in Gesellschaften und Ökosystemen bewertet.** Die Datengrundlage ist für eine direkte Schätzung von Wahrscheinlichkeiten für ein bestimmtes Ergebnis selten ausreichend, daher werden Experteneinschätzungen unter Verwendung spezifischer Kriterien (großes Ausmaß, hohe Wahrscheinlichkeit oder Irreversibilität von Auswirkungen; zeitliches Auftreten von Auswirkungen; anhaltende Verwundbarkeit bzw. Exposition, die zu Risiken beitragen; oder begrenztes Potenzial zur Risikominderung durch Anpassung und Minderung) verwendet, um die unterschiedlichen Informationsquellen in Bezug auf die Schwere von Folgen und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens in eine Risikobewertung zu integrieren, wobei Exposition und Verwundbarkeit im Kontext spezifischer Gefährdungen berücksichtigt werden. {WGII 11.3, 19.2, 21.1, 21.3–21.5, 25.3–25.4, 25.11, 26.2}

2.2.1 Lufttemperatur

Die Änderung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur für den Zeitraum 2016–2035 bezogen auf 1986–2005 ist für die vier RCP vergleichbar und wird *wahrscheinlich* im Bereich von 0,3 °C bis 0,7 °C liegen (*mittleres Vertrauen*)<sup>30</sup>. Dabei wird davon ausgegangen, dass keine größeren Vulkanausbrüche oder Veränderungen bestimmter natürlicher Quellen (z. B. Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O)) oder unerwartete Veränderungen der totalen Sonneneinstrahlung auftreten. Das zukünftige Klima wird von der durch vergangene anthropogene Emissionen verursachten unabwendbaren Erwärmung sowie von zukünftigen anthropogenen Emissionen und natürlichen Klimaschwankungen abhängen. Zur Mitte des 21. Jahrhunderts ist das Ausmaß des projizierten Klimawandels wesentlich von der Wahl der Emissionsszenarien beeinflusst. Bis zum Jahr 2100 und darüber hinaus divergiert der Klimawandel kontinuierlich zwischen den Szenarien (Tabelle 2.1, Abbildung 2.1). Die für bestimmte RCP angegebenen Bandbreiten (Tabelle 2.1) sowie jene, die in Abschnitt 2.2 aufgeführt sind, ergeben sich primär aus Unterschieden in der Sensitivität von Klimamodellen gegenüber dem auferlegten Antrieb. {WGI SPM E.1, 11.3.2, 12.4.1}

Bezogen auf den Zeitraum 1850–1900 wird projiziert, dass die Änderung der globalen Erdoberflächentemperatur am Ende des

21. Jahrhunderts (2081–2100) für RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5 1,5 °C *wahrscheinlich* überschreiten wird (*hohes Vertrauen*). Die Erwärmung wird für RCP6.0 und RCP8.5 *wahrscheinlich* 2 °C überschreiten (*hohes Vertrauen*), für RCP4.5 *eher wahrscheinlich als nicht* 2 °C überschreiten (*mittleres Vertrauen*), jedoch ist ein Überschreiten von 2 °C für RCP2.6 *unwahrscheinlich (mittleres Vertrauen)*. {WGI SPM E.1, 12.4.1, Tabelle 12.3}

Das Gebiet der Arktis wird sich weiterhin schneller erwärmen als das globale Mittel (Abbildung 2.2) (*sehr hohes Vertrauen*). Die mittlere Erwärmung über Land wird größer sein als über dem Meer (*sehr hohes Vertrauen*) und größer als die mittlere globale Erwärmung (Abbildung 2.2). {WGI SPM E.1, 11.3.2, 12.4.3, 14.8.2}

Es ist *praktisch sicher*, dass es mit dem Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur über den meisten Landflächen auf täglichen und jahreszeitlichen Zeitskalen häufiger heiße und weniger kalte Temperaturextreme geben wird. Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass Hitzewellen mit größerer Häufigkeit und längerer Dauer auftreten werden. Gelegentliche kalte Winterextreme werden weiterhin auftreten. {WGI SPM E.1, 12.4.3}

**Tabelle 2.1** | Projizierte Änderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur und des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs für das mittlere und späte 21. Jahrhundert, bezogen auf den Zeitraum 1986–2005. {WGI Tabelle SPM.2, 12.4.1 13.5.1, Tabelle 12.2, Tabelle 13.5}

	Szenario	2046–2065		2081–2100	
		Mittelwert	Wahrscheinlicher Bereich <sup>c</sup>	Mittelwert	Wahrscheinlicher Bereich <sup>c</sup>
Veränderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur (°C) <sup>a</sup>	RCP2.6	1,0	0,4 bis 1,6	1,0	0,3 bis 1,7
	RCP4.5	1,4	0,9 bis 2,0	1,8	1,1 bis 2,6
	RCP6.0	1,3	0,8 bis 1,8	2,2	1,4 bis 3,1
	RCP8.5	2,0	1,4 bis 2,6	3,7	2,6 bis 4,8
	Szenario	Mittelwert	Wahrscheinlicher Bereich <sup>d</sup>	Mittelwert	Wahrscheinlicher Bereich <sup>d</sup>
Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels (m) <sup>b</sup>	RCP2.6	0,24	0,17 bis 0,32	0,40	0,26 bis 0,55
	RCP4.5	0,26	0,19 bis 0,33	0,47	0,32 bis 0,63
	RCP6.0	0,25	0,18 bis 0,32	0,48	0,33 bis 0,63
	RCP8.5	0,30	0,22 bis 0,38	0,63	0,45 bis 0,82

Anmerkungen:

<sup>a</sup> Basierend auf dem Ensemble des Gekoppelten Modellvergleichsprojekts Phase 5 (CMIP5); Änderungen berechnet in Bezug auf den Zeitraum 1986–2005. Unter Verwendung des 4. Datensatzes des Hadley Centers zur Oberflächentemperatur (HadCRUT4) und dessen Unsicherheitsabschätzungen (Vertrauensbereich von 5 bis 95 %) beträgt die beobachtete Erwärmung seit 1850–1900 bis zum Referenzzeitraum 1986–2005 0,61 [0,55 bis 0,67] °C. *Wahrscheinliche* Bereiche wurden in Bezug auf frühere Referenzzeiträume hier nicht bewertet, da in der Literatur Methoden für die Kombination von Unsicherheiten in Modellen und Beobachtungen, nicht generell verfügbar sind. Die Hinzunahme von projizierten und beobachteten Veränderungen berücksichtigt weder mögliche Auswirkungen von Modellverzerrungen im Vergleich zu Beobachtungen noch die natürliche interne Variabilität während des Beobachtungs-Referenzzeitraumes. {WGI 2.4.3, 11.2.2, 12.4.1, Tabelle 12.2, Tabelle 12.3}

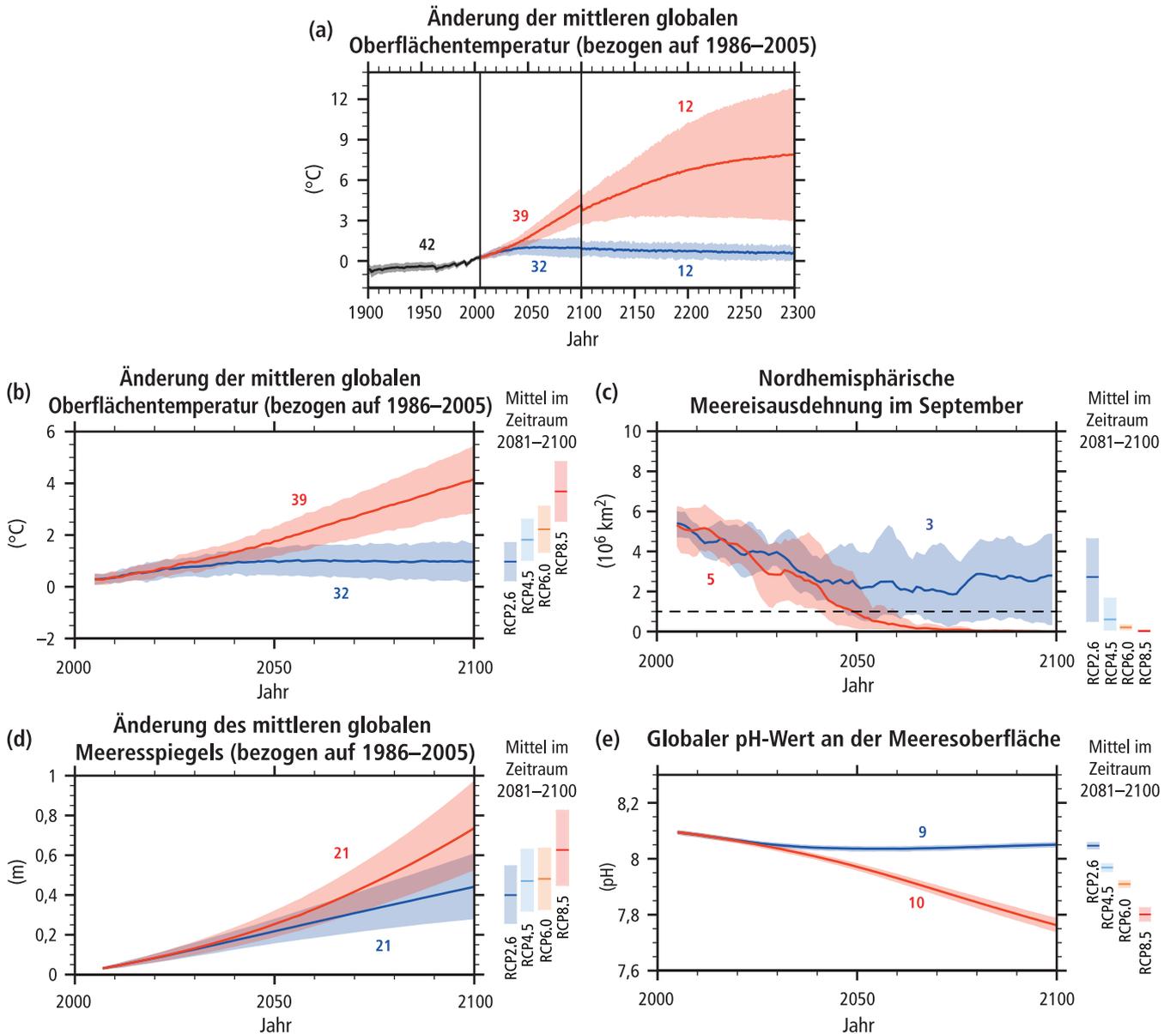
<sup>b</sup> Basierend auf 21 CMIP5-Modellen; Veränderungen berechnet in Bezug auf den Zeitraum 1986–2005. Basierend auf dem gegenwärtigen Verständnis (aus Beobachtungen, physikalischem Verständnis und Modellierung), könnte nur im Falle der Auslösung eines Zusammenbruchs von unter der Meeresoberfläche aufliegenden Sektoren des Antarktischen Eisschildes, ein Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels verursacht werden, der wesentlich über dem *wahrscheinlichen* Bereich während des 21. Jahrhunderts liegt. Es besteht *mittleres Vertrauen*, dass dieser zusätzliche Beitrag einen Anstieg des Meeresspiegels um einige Dezimeter während des 21. Jahrhunderts nicht übersteigen würde.

<sup>c</sup> Berechnet aus Projektionen als 5 bis 95 %-Modellstrebereiche. Diese Bereiche werden nach Berücksichtigung zusätzlicher Unsicherheiten bzw. unterschiedlicher Vertrauensniveaus in die Modelle als *wahrscheinliche* Bereiche bewertet. Für Projektionen der Änderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur von 2046–2065 ist das *Vertrauen mittel*, da die relative Bedeutung natürlicher interner Variabilität sowie Unsicherheiten im Antrieb durch und in den Auswirkungen von Nicht-Treibhausgasen größer sind als für 2081–2100. Die *wahrscheinlichen* Bereiche für 2046–2065 berücksichtigen mögliche Einflussfaktoren nicht, die zu einem geschätzten Bereich der kurzfristigen (2016–2035) Änderung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur führen, der tiefer liegt als der 5 bis 95%-Modellstrebereich, da der Einfluss dieser Faktoren auf längerfristige Projektionen aufgrund eines unzureichenden wissenschaftlichen Verständnisses nicht quantifiziert wurde. {WGI 11.3.1}

<sup>d</sup> Berechnet aus Projektionen als 5 bis 95 %-Modellstrebereiche. Diese Bereiche werden nach Berücksichtigung zusätzlicher Unsicherheiten bzw. unterschiedlicher Vertrauensgrade in Modelle als *wahrscheinliche* Bereiche bewertet. In Projektionen des mittleren globalen Meeresspiegelanstiegs besteht für beide Zeithorizonte *mittleres Vertrauen*.

<sup>30</sup> Der Zeitraum 1986–2005 war ungefähr 0,61 [0,55 bis 0,67] °C wärmer als der Zeitraum 1850–1900. {WGI SPM E, 2.4.3}





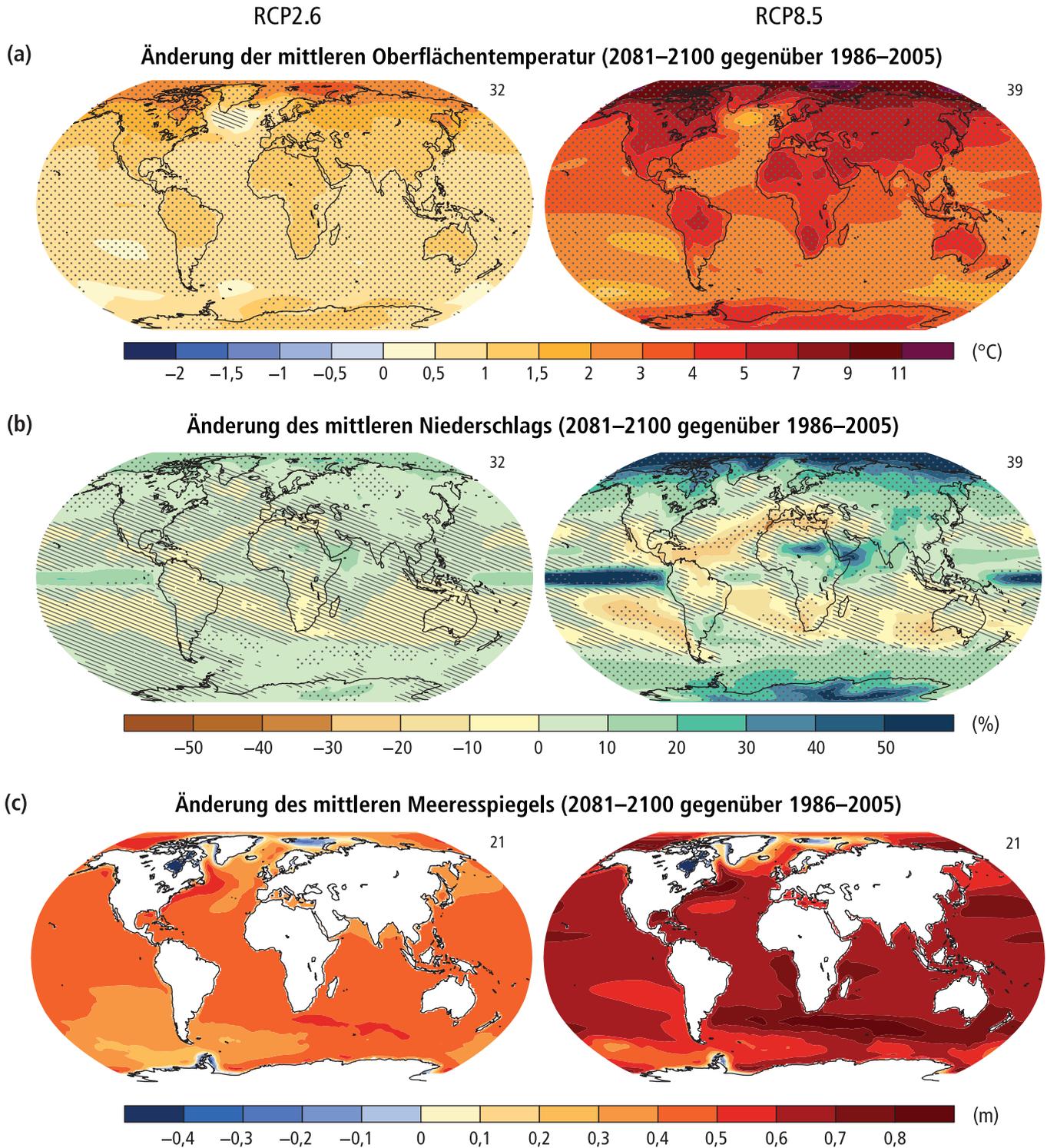
**Abbildung 2.1 |** (a) Zeitreihen der globalen jährlichen Änderung der mittleren Oberflächentemperatur für den Zeitraum 1900–2300 (bezogen auf 1986–2005) aus den konzentrationstreibenden Experimenten des Gekoppelten Modellvergleichsprojekts Phase 5 (CMIP5). Projektionen sind für das Multimodell-Mittel (durchgezogene Linien) und den 5 bis 95 % Bereich der Verteilung der einzelnen Modelle (schattiert) abgebildet. Graue Linien und Schattierungen repräsentieren die historischen Simulationen des CMIP5. Diskontinuitäten in 2100 sind auf die abweichende Anzahl von Modellen zurückzuführen, die erweiterte Läufe über das 21. Jahrhundert hinaus durchführen und haben keine physikalische Bedeutung. (b) Wie (a), jedoch für den Zeitraum 2006–2100 (bezogen auf 1986–2005). (c) Änderung der Ausdehnung des nordhemisphärischen Meereises im September (gleitendes Fünf-Jahres-Mittel). Die gestrichelte Linie stellt nahezu eisfreie Bedingungen dar (d. h. wenn die Meereisausdehnung im September über mindestens fünf aufeinanderfolgende Jahre weniger als  $10^6 \text{ km}^2$  beträgt). (d) Änderung des mittleren globalen Meeresspiegels. (e) Änderung des pH-Wertes an der Meeresoberfläche. In allen Tafeln sind Projektionszeitreihen und ein Maß für die Unsicherheit (Schattierung) für die Szenarien RCP2.6 (blau) und RCP8.5 (rot) angegeben. Die Zahl der für die Berechnung des Multimodell-Mittels verwendeten CMIP5-Modelle ist angegeben. Das über den Zeitraum 2081–2100 errechnete Mittel und die zugehörigen Unsicherheitsbereiche sind für alle RCP-Szenarien als farbige vertikale Balken auf der rechten Seite der Tafeln (b) bis (e) dargestellt. Für die Ausdehnung des Meereises (c) sind das projizierte Mittel sowie die Unsicherheit (Minimum-Maximum-Bereich) nur für den Teilsatz von Modellen angegeben, die den klimatologischen mittleren Zustand und den Trend des arktischen Meereises zwischen 1979 und 2012 am genauesten reproduzieren. Hinsichtlich des Meeresspiegels (d) könnte – basierend auf dem gegenwärtigen Verständnis (aus Beobachtungen, physikalischem Verständnis und Modellierung) – nur im Falle der Auslösung eines Zusammenbruchs von unter der Meeresoberfläche aufliegenden Teilen des Antarktischen Eisschildes ein Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels verursacht werden, der wesentlich über dem *wahrscheinlichen* Bereich während des 21. Jahrhunderts liegt. Es besteht jedoch *mittleres Vertrauen*, dass dieser zusätzliche Beitrag einen Anstieg des Meeresspiegels um einige Dezimeter während des 21. Jahrhunderts nicht übersteigen würde. {WGI Abbildung SPM.7, Abbildung SPM.9, Abbildung 12.5, 6.4.4, 12.4.1, 13.4.4, 13.5.1}

### 2.2.2 Wasserkreislauf

**Niederschlagsänderungen werden in einer sich erwärmenden Welt nicht einheitlich sein.** Für die hohen Breitengrade und den Äquatorialpazifik ist ein Anstieg des jährlichen Niederschlagsmittels bis Ende dieses Jahrhunderts unter dem RCP8.5-Szenario *wahrscheinlich*. In vielen trockenen Regionen der mittleren Breiten und Subtropen werden die mittleren Niederschläge *wahrscheinlich* abnehmen, wäh-

rend sie in vielen feuchten Regionen der mittleren Breiten unter dem RCP8.5-Szenario *wahrscheinlich* zunehmen werden. {WGI SPM E.2, 7.6.2, 12.4.5, 14.3.1, 14.3.5}

Extreme Niederschlagsereignisse werden über den meisten Landmassen der mittleren Breiten und über feuchten tropischen Regionen *sehr wahrscheinlich* intensiver und häufiger, wenn die mittlere globale Erdoberflächentemperatur ansteigt. {WGI SPM E.2, 7.6.2, 12.4.5}



**Abbildung 2.2** | CMIP5-Multimodell-Mittel-Projektionen (d. h. der Durchschnitt der verfügbaren Modellprojektionen) für den Zeitraum 2081–2100 unter den RCP2.6- Szenarien (links) und RCP8.5-Szenarien (rechts) für **(a)** die Änderung der mittleren jährlichen Oberflächentemperatur und **(b)** die Änderungen des mittleren jährlichen Niederschlags, in Prozent, und **(c)** die Änderung des mittleren Meeresspiegels. Änderungen sind bezogen auf den Zeitraum 1986–2005 wiedergegeben. Die Zahl der für die Berechnungen des Multimodell-Mittels verwendeten CMIP5-Modelle ist in der rechten oberen Ecke jeder Tafel angegeben. Punktiert in (a) und (b) sind Regionen, in denen die projizierte Veränderung im Vergleich zu der natürlichen internen Variabilität groß ist (d. h. größer als zwei Standardabweichungen der internen Variabilität in den 20-Jahres-Mitteln) und für die mindestens 90 % der Modelle mit den Vorzeichen der Änderung übereinstimmen. Schraffierungen (diagonale Linien) in (a) und (b) zeigen Regionen, in denen die projizierte Veränderung weniger als eine Standardabweichung der natürlichen internen Variabilität in den 20-Jahres-Mitteln beträgt. [WGI Abbildung SPM.8, Abbildung 13.20, Box 12.1]

Global gesehen ist es in allen RCP *wahrscheinlich*, dass die von Monsunsystemen berührte Fläche zunehmen wird und die Monsun-Niederschläge intensiver werden. Die mit der El Niño-Southern Oscillation (ENSO) in Zusammenhang stehende Niederschlagsvariabilität wird sich auf regionaler Ebene *wahrscheinlich* intensivieren. {WGI SPM E.2, 14.2, 14.4}

### 2.2.3 Ozean, Kryosphäre und Meeresspiegel

**Der globale Ozean wird sich während des 21. Jahrhunderts weiter erwärmen.** Die stärkste Ozeanerwärmung wird an der Oberfläche in den tropischen Regionen und den Subtropen der nördlichen Hemisphäre projiziert. In größerer Tiefe wird die Erwärmung im Südlichen Ozean am meisten ausgeprägt sein (*hohes Vertrauen*). {WGI SPM E.4, 6.4.5, 12.4.7}

**Sehr wahrscheinlich wird die Atlantische Meridionale Umwälzbewegung (AMOC) im 21. Jahrhundert schwächer werden.** Die besten Schätzwerte und Bandbreiten für die Reduktion sind 11 % (1 bis 24 %) für das RCP2.6-Szenario und 34 % (12 bis 54 %) für RCP8.5. Dennoch ist es *sehr unwahrscheinlich*, dass die AMOC im 21. Jahrhundert einen abrupten Übergang erfährt oder kollabiert. {WGI SPM E.4, 12.4.7.2}

**Ganzjährige Reduktionen des arktischen Meereises werden für alle RCP-Szenarien projiziert.** Der Teilsatz von Modellen, die die Beobachtungen<sup>31</sup> am genauesten reproduzieren, projizieren, dass ein nahezu eisfreier Arktischer Ozean<sup>32</sup> im September für RCP8.5 vor der Jahrhundertmitte *wahrscheinlich* ist (*mittleres Vertrauen*) (Abbildung 2.1). In der Antarktis wird mit *geringem Vertrauen* eine Abnahme der Ausdehnung und des Volumens des Meereises projiziert. {WGI SPM E.5, 12.4.6.1}

Die Fläche der nordhemisphärischen Schneedecke im Frühjahr wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts *wahrscheinlich* um 7 % für RCP2.6 und um 25 % für RCP8.5 im Multimodell-Mittel abnehmen (*mittleres Vertrauen*). {WGI SPM E.5, 12.4.6}

**Es ist praktisch sicher, dass die Ausdehnung des oberflächennahen Permafrostes in hohen nördlichen Breiten mit einem Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur abnehmen wird.** Die Fläche des oberflächennahen Permafrostes (obere 3,5 m) wird *wahrscheinlich* um 37 % (RCP2.6) bis 81 % (RCP8.5) für das Multimodell-Mittel abnehmen (*mittleres Vertrauen*). {WGI SPM E.5, 12.4.6}

Für das globale Gletschervolumen, mit Ausnahme der Gletscher an der Peripherie der Antarktis (und ohne die Grönländischen und Antarktischen Eisschilde) wird eine Abnahme um 15 bis 55 % für RCP2.6 und um 35 bis 85 % für RCP8.5 projiziert (*mittleres Vertrauen*). {WGI SPM E.5, 13.4.2, 13.5.1}

**Der mittlere globale Meeresspiegel wird während des 21. Jahrhunderts weiter ansteigen (Tabelle 2.1, Abbildung 2.1).** Seit dem AR4 gab es signifikante Verbesserungen im Verständnis und in den Projektionen der Meeresspiegeländerung. Unter allen RCP-Szenarien wird die Geschwindigkeit des Meeresspiegelanstieges *sehr wahrscheinlich* die während des Zeitraums 1971–2010 beobachtete Rate von 2,0 [1,7–2,3] mm pro Jahr übersteigen, mit einer Anstiegsrate für

RCP8.5 während des Zeitraums 2081–2100 von 8 bis 16 mm pro Jahr (*mittleres Vertrauen*). {WGI SPM B4, SPM E.6, 13.5.1}

**Der Meeresspiegelanstieg wird nicht über alle Regionen einheitlich sein.** Bis zum Ende des 21. Jahrhunderts ist es *sehr wahrscheinlich*, dass der Meeresspiegel in mehr als etwa 95 % der Ozeanfläche ansteigt. Der Meeresspiegelanstieg hängt vom Pfad der CO<sub>2</sub>-Emissionen, nicht nur von der kumulativen Gesamtmenge ab; Emissionen eher früher als später zu verringern führt bei derselben kumulativen Gesamtmenge zu einer größeren Verringerung des Meeresspiegelanstiegs. Für etwa 70 % der Küstenlinien weltweit wird eine Veränderung des Meeresspiegels innerhalb von ± 20 % des globalen Mittels projiziert (Abbildung 2.2). Es ist *sehr wahrscheinlich*, dass es in einigen Regionen bis zum Jahr 2100 ein signifikant häufigeres Auftreten zukünftiger Meeresspiegelextreme geben wird. {WGI SPM E.6, TS 5.7.1, 12.4.1, 13.4.1, 13.5.1, 13.6.5, 13.7.2, Tabelle 13.5}

### 2.2.4 Kohlenstoffkreislauf und Biogeochemie

**Die Aufnahme von anthropogenem CO<sub>2</sub> durch den Ozean wird unter allen vier RCP weiter bis 2100 andauern, wobei höhere Konzentrationspfade eine höhere Aufnahme zeigen (sehr hohes Vertrauen).** Die zukünftige Entwicklung der Kohlenstoffaufnahme an Land ist weniger sicher. Eine Mehrheit der Modelle projiziert eine anhaltende Kohlenstoffaufnahme an Land unter allen RCP, jedoch simulieren einige Modelle einen Verlust von Kohlenstoff aus Landökosystemen aufgrund des kombinierten Effektes von Klimaänderung und Landnutzungsänderung. {WGI SPM E.7, 6.4.2, 6.4.3}

**Basierend auf Erdsystemmodellen besteht hohes Vertrauen, dass die Rückkopplung zwischen Klimawandel und dem Kohlenstoffkreislauf die globale Erwärmung verstärken wird.** Der Klimawandel wird die aufgrund des steigenden atmosphärischen CO<sub>2</sub> erfolgte Zunahme der Kohlenstoffsinken an Land und im Ozean teilweise aufwiegen. Infolgedessen wird mehr des ausgestoßenen anthropogenen CO<sub>2</sub> in der Atmosphäre verbleiben, wodurch die Erwärmung verstärkt wird. {WGI SPM E.7, 6.4.2, 6.4.3}

**Erdsystemmodelle projizieren einen globalen Anstieg der Ozeanversauerung für alle RCP-Szenarien bis zum Ende des 21. Jahrhunderts, mit einer leichten Erholung nach der Jahrhundertmitte unter RCP2.6.** Die Abnahme des pH-Wertes im oberflächennahen Ozean liegt im Bereich von 0,06 bis 0,07 (Anstieg des Säuregehaltes um 15 bis 17 %) für RCP2.6, 0,14 bis 0,15 (38 bis 41 %) für RCP4.5, 0,20 bis 0,21 (58 bis 62 %) für RCP6.0 und 0,30 bis 0,32 (100 bis 109 %) für RCP8.5 (Abbildung 2.1). {WGI SPM E.7, 6.4.4}

**Es ist sehr wahrscheinlich, dass der gelöste Sauerstoffgehalt des Ozeans während des 21. Jahrhunderts als Reaktion auf die Oberflächenerwärmung um einige Prozent abnehmen wird, hauptsächlich in den mittleren bis tieferen Schichten der mittleren Breiten.** Aufgrund großer Unsicherheiten hinsichtlich potenzieller biogeochemischer Effekte und der Entwicklung der Dynamik des tropischen Ozeans besteht keine Einigkeit über das zukünftige Volumen sauerstoffarmen Wassers im offenen Ozean. {WGI TS 5.6, 6.4.5, WGI TS B-2, 6.1}

<sup>31</sup> Mittlerer klimatologischer Zustand und Trend der arktischen Meereisausdehnung 1979–2012.

<sup>32</sup> Wenn die Ausdehnung des Meereises über mindestens fünf aufeinanderfolgende Jahre weniger als eine Mio. km<sup>2</sup> beträgt.

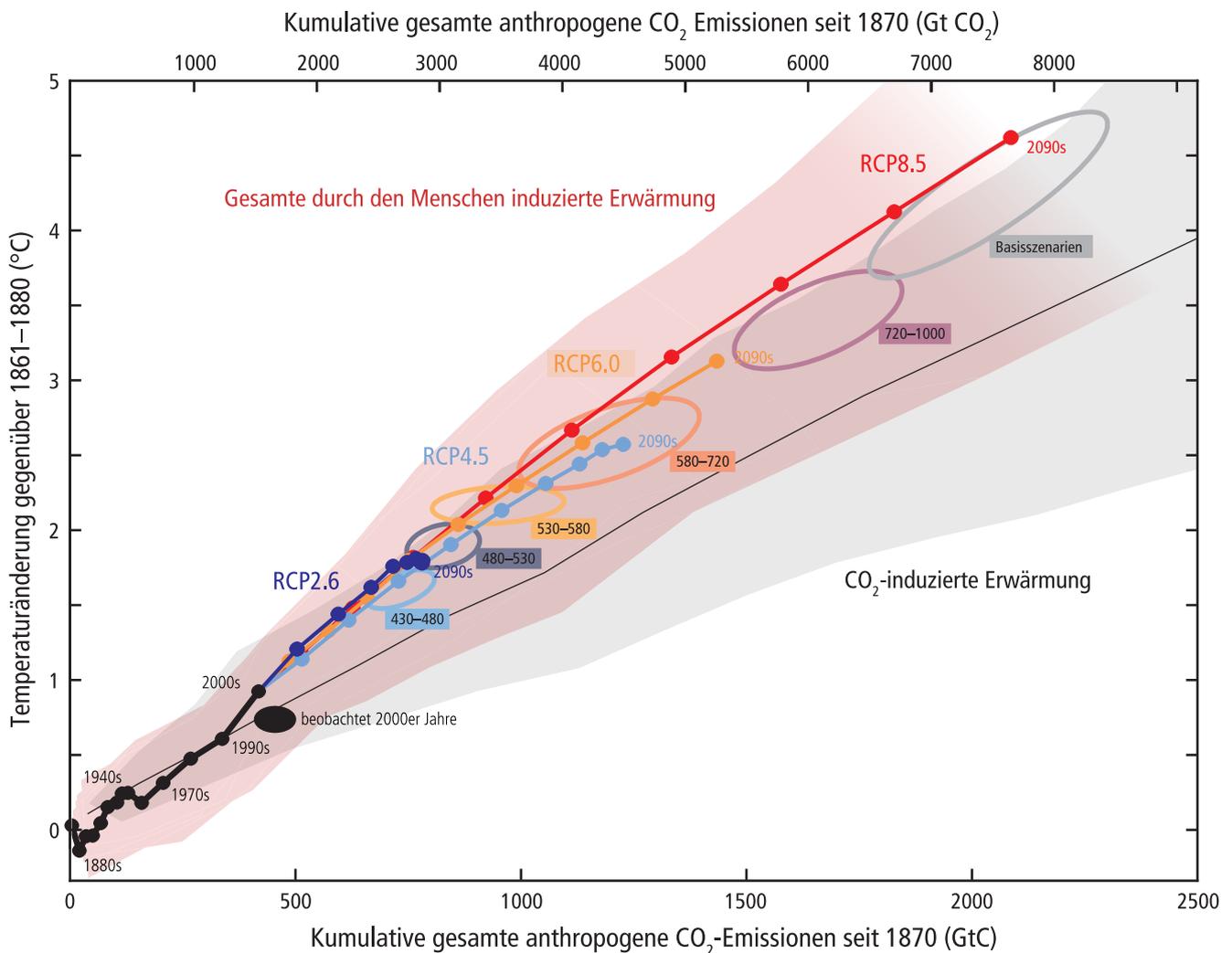
### 2.2.5 Reaktionen des Klimasystems

Eigenschaften des Klimasystems, die die Reaktion auf äußere Antriebe bestimmen, wurden sowohl aus Klimamodellen als auch aus Analysen vergangener und jüngster Änderungen des Klimas bestimmt. Die Gleichgewichtsklimasensitivität (ECS)<sup>33</sup> liegt *wahrscheinlich* im Bereich 1,5 °C bis 4,5 °C, *äußerst unwahrscheinlich* unterhalb von 1 °C und *sehr unwahrscheinlich* über 6 °C. {WGI SPM D.2, TS TFE.6, 10.8.1, 10.8.2, 12.5.4, Box 12.2}

Die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen bestimmen weitgehend die mittlere globale Erwärmung der Erdoberfläche bis ins späte 21. Jahrhundert und darüber hinaus. Mehrere Belegketten zeigen über alle berücksichtigten Szenarien eine starke und gleichmäßige, fast lineare Beziehung zwischen kumulativen Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen (einschließlich der Auswirkung von CO<sub>2</sub>-Entnahme) und der projizierten globalen

Temperaturveränderung bis zum Jahr 2100 (Abbildung 2.3). Vergangene Emissionen und beobachtete Erwärmung stützen diese Beziehung innerhalb des Unsicherheitsbereiches. Jedes angenommene Erwärmungsniveau ist verbunden mit einem Bereich von kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen (abhängig von Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibern) und daher implizieren beispielsweise höhere Emissionen in früheren Jahrzehnten niedrigere Emissionen später. {WGI SPM E.8, TS TFE.8, 12.5.4}

Der Höhepunkt der mittleren globalen Temperaturveränderung pro Billionen Tonnen (1000 GtC) als CO<sub>2</sub> ausgestoßenen Kohlenstoffes liegt *wahrscheinlich* im Bereich von 0,8 °C bis 2,5 °C. Diese Größe, die als vorübergehende Reaktion des Klimas auf kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen (TCRE) bezeichnet wird, wird sowohl durch Modellierungen als auch durch beobachtungsbasierte Belege gestützt und gilt für kumulative Emissionen von bis zu ca. 2000 GtC. {WGI SPM D.2, TS TFE.6, 12.5.4, Box 12.2}



**Abbildung 2.3** | Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur als Funktion der gesamten kumulativen globalen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen aus verschiedenen Belegketten. Dargestellt sind Multimodellerggebnisse aus einer Hierarchie von Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modellen für jeden Repräsentativen Konzentrationspfad (RCP) bis zum Jahr 2100 (farbige Linien). Modellergebnisse über den historischen Zeitraum (1860 bis 2010) sind schwarz dargestellt. Die farbige Fläche illustriert die Multimodell-Streuung über die vier RCP-Szenarien und verblasst mit abnehmender Anzahl verfügbarer Modelle in RCP8.5. Punkte geben Zehnjahresmittel an, wobei ausgewählte Jahrzehnte markiert sind. Ellipsen zeigen die gesamte anthropogene Erwärmung im Jahr 2100 gegenüber den kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen von 1870 bis 2100 aus einem einfachen Klimamodell (Median der Klimareaktion) unter den in WGIII verwendeten Szenariokategorien. Temperaturwerte sind immer bezogen auf den Zeitraum 1861–1880 angegeben und Emissionen sind kumulativ seit 1870. Die schwarz ausgefüllte Ellipse zeigt beobachtete Emissionen bis 2005 und beobachtete Temperaturen im Jahrzehnt 2000–2009 mit damit verbundenen Unsicherheiten. {WGI SPM E.8, TS TFE.8, Abbildung 1, TS.SM.10, 12.5.4, Abbildung 12.45, WGIII Tabelle SPM.1, Tabelle 6.3}

<sup>33</sup> Definiert als mittlere globale Gleichgewichts-Oberflächenerwärmung nach einer Verdoppelung der CO<sub>2</sub>-Konzentration (bezogen auf vorindustrielle Zeit)

**Tabelle 2.2** | Kumulative Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen, die für unterschiedliche Wahrscheinlichkeitsniveaus mit einer Begrenzung der Erwärmung auf weniger als die angegebenen Temperaturgrenzen vereinbar sind, basierend auf unterschiedlichen Belegketten. {WGI 12.5.4, WGIII 6}

Kumulative CO <sub>2</sub> -Emissionen seit 1870 in Gt CO <sub>2</sub>									
Anthropogene Netto-Erwärmung <sup>a</sup>	<1,5 °C			<2 °C			<3 °C		
Anteil der Simulationen, die Ziel erreichen <sup>b</sup>	66%	50%	33%	66%	50%	33%	66%	50%	33%
Komplexe Modelle, nur RCP-Szenarien <sup>c</sup>	2250	2250	2550	2900	3000	3300	4200	4500	4850
Einfaches Modell, WGIII-Szenarien <sup>d</sup>	Keine Daten	2300 bis 2350	2400 bis 2950	2550 bis 3150	2900 bis 3200	2950 bis 3800	entfällt <sup>e</sup>	4150 bis 5750	5250 bis 6000
Kumulative CO <sub>2</sub> -Emissionen seit 2011 in Gt CO <sub>2</sub>									
Komplexe Modelle, nur RCP-Szenarien <sup>c</sup>	400	550	850	1000	1300	1500	2400	2800	3250
Einfaches Modell, WGIII-Szenarien <sup>d</sup>	Keine Daten	550 bis 600	600 bis 1150	750 bis 1400	1150 bis 1400	1150 bis 2050	entfällt <sup>e</sup>	2350 bis 4000	3500 bis 4250
Insgesamt verfügbarer fossiler Kohlenstoff im Jahr 2011 <sup>f</sup> : 3670 bis 7100 Gt CO <sub>2</sub> (Reserven) und 31 300 bis 50 050 Gt CO <sub>2</sub> (Ressourcen)									

Anmerkungen:

<sup>a</sup> Erwärmung aufgrund CO<sub>2</sub>- und Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibern. Temperaturwerte sind bezogen auf den Referenzzeitraum 1861–1880 wiedergegeben.

<sup>b</sup> Es ist zu beachten, dass der Bereich von 66 % in dieser Tabelle nicht mit den Wahrscheinlichkeitsaussagen in Tabelle SPM.1 sowie Tabelle 3.1 und WGIII Tabelle SPM.1 gleichgesetzt werden sollte. Die Bewertung in den letztgenannten Tabellen basiert nicht nur auf den Wahrscheinlichkeiten, die für sämtliche Szenarien von WGIII unter Verwendung eines einzelnen Klimamodells errechnet wurden sondern auch auf der Bewertung der Unsicherheiten der Temperaturprojektionen, die nicht von Klimamodellen abgedeckt sind, aus WGI.

<sup>c</sup> Kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Zeitpunkt, zu dem die Temperaturschwelle überschritten wird, die in 66 %, 50 % bzw. 33 % der Simulationen der komplexen Modelle des Gekoppelten Modellvergleichsprojekts Phase 5 (CMIP5), der Erdsystemmodelle (ESM) und der Erdsystemmodelle mittlerer Komplexität (EMIC) benötigt werden, unter der Annahme, dass der Nicht-CO<sub>2</sub>-Antrieb dem RCP8.5-Szenario folgt. Vergleichbare kumulative Emissionen deuten sich in anderen RCP-Szenarien an. In den meisten Szenario-Temperaturschwellen-Kombinationen dauern Emissionen und Erwärmung an, nachdem die Schwelle überschritten wurde. Dennoch geben diese Zahlen – aufgrund der kumulativen Natur von CO<sub>2</sub>-Emissionen – einen Hinweis auf die von den CMIP5-Modellsimulationen unter RCP-ähnlichen Szenarien implizierten kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Werte sind auf die am nächsten liegenden 50 gerundet.

<sup>d</sup> Kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Zeitpunkt der höchsten Erwärmung aus den Szenarien von WGIII, für die ein Anteil von mehr die in 66 % (66 bis 100 %), mehr als 50 % (50 bis 66 %) bzw. mehr als 33 % (33 bis 50 %) von Klimasimulationen den Anstieg der mittleren globalen Temperatur unterhalb der angegebenen Schwelle halten. Die Bereiche geben die Schwankungen in den kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen an, die sich aus Unterschieden in den Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibern über die Szenarien von WGIII ergeben. Der Anteil an Klimasimulationen für jedes Szenario entstammt einem Parameterensemble von 600 Läufen eines einfachen Kohlenstoffkreislauf-Klimamodells (MAGICC) in probabilistischem Modus. Parameter- und Szenario-Unsicherheiten werden in diesem Ensemble erforscht. Strukturelle Unsicherheiten können mit in einem Ansatz mit einem einzelnen Modell nicht erforscht werden. Bereiche zeigen die Auswirkung von Szenario-Unsicherheiten, wobei 80 % der Szenarios kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen innerhalb des angegebenen Bereiches für den angenommenen Anteil von Simulationen angeben. Einfache Modellschätzungen sind durch beobachtete Veränderungen über das letzte Jahrhundert beschränkt, berücksichtigen keine Unsicherheiten in der Modellstruktur und können einige Rückkopplungsprozesse auslassen; sie liegen daher leicht über den Schätzungen der komplexen CMIP5-Modelle. Werte sind auf die am nächsten liegenden 50 gerundet.

<sup>e</sup> Die numerischen Ergebnisse für die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die bei mehr als 66 % (66 bis 100 %) mit der Unterschreitung von 3 °C verbunden sind, sind in hohem Maße von einer Vielzahl von Szenarien beeinflusst, die das 2 °C-Ziel ebenfalls erreichen, und sind daher mit den für andere Temperaturschwellen angegebenen Zahlen nicht vergleichbar.

<sup>f</sup> Reserven sind Mengen, die unter bestehenden wirtschaftlichen und operativen Bedingungen gefördert werden können; Ressourcen sind jene Mengen, für die eine wirtschaftliche Extraktion potenziell machbar ist. {WGIII Tabelle 7.2}

**Die durch CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachte Erwärmung ist über Zeitskalen von mehreren Jahrhunderten praktisch irreversibel, sofern nicht Maßnahmen zur Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre ergriffen werden.** Um sicherzustellen, dass eine CO<sub>2</sub>-induzierte Erwärmung *wahrscheinlich* unterhalb von 2 °C bleibt, ist es erforderlich, dass die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus allen anthropogenen Quellen ca. 3650 Gt CO<sub>2</sub> (1000 GtC) nicht überschreiten, wovon mehr als die Hälfte im Jahr 2011 bereits ausgestoßen war. {WGI SPM E.8, TS TFE.8, 12.5.2, 12.5.3, 12.5.4}

Multimodell-Ergebnisse zeigen, dass eine Begrenzung der durch den Menschen induzierten Erwärmung (die sowohl CO<sub>2</sub> als auch andere Einflüsse des Menschen auf das Klima berücksichtigt) auf weniger als 2 °C, bezogen auf den Zeitraum 1861–1880, mit einer Wahrscheinlich-

keit von > 66 % eine Begrenzung der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus allen anthropogenen Quellen seit 1870 auf ca. 2900 Gt CO<sub>2</sub> erfordern würde, unter Annahme eines Nicht-CO<sub>2</sub>-Antriebes gemäß dem RCP2.6-Szenario, mit einer Bandbreite von 2550 bis 3150 Gt CO<sub>2</sub>, welche sich aus Abweichungen in den Nicht-CO<sub>2</sub>-Klimatreibern zwischen den von WGIII bewerteten Szenarien ergibt. (Tabelle 2.2). Etwa 1900 [1650 bis 2150] Gt CO<sub>2</sub> wurden bis 2011 ausgestoßen, so dass etwa 1000 Gt CO<sub>2</sub> verbleiben, um mit diesem Temperaturziel übereinzustimmen. Die gesamten geschätzten fossilen Kohlenstoffreserven übersteigen diese verbleibende Menge um das 4- bis 7-Fache, wobei die Ressourcen noch viel größer sind. {WGI SPM E.8, TS TFE.8, Abbildung 1, TS.SM.10, 12.5.4, Abbildung 12.45, WGIII Tabelle SPM.1, Tabelle 6.3, Tabelle 7.2}

### 2.3 Zukünftige Risiken und Folgen eines sich ändernden Klimas

Der Klimawandel wird bestehende Risiken verstärken und neue Risiken für natürliche Systeme und solche des Menschen hervorrufen. Risiken sind ungleichmäßig verteilt und im Allgemeinen größer für benachteiligte Menschen und Gemeinschaften in Ländern aller Entwicklungsstufen. Mit zunehmendem Maß der Erwärmung erhöht sich die Wahrscheinlichkeit von schwerwiegenden, weitverbreiteten und irreversiblen Folgen für Menschen, Arten und Ökosysteme. Anhaltend hohe Emissionen würden zu überwiegend negativen Folgen für die biologische Vielfalt, Ökosystemdienstleistungen und wirtschaftliche Entwicklung führen und die Risiken für Existenzgrundlagen sowie für Ernährungssicherheit und Sicherheit des Menschen verstärken.

Das Risiko klimabezogener Folgen ergibt sich aus der Interaktion zwischen klimabezogenen Gefährdungen (einschließlich gefährlicher Ereignisse und Trends) und der Verwundbarkeit und Exposition natürlicher Systeme und solcher des Menschen, einschließlich ihrer Anpassungsfähigkeit. Die Zunahme von Geschwindigkeit und Ausmaß der Erwärmung und anderer Veränderungen des Klimasystems, einhergehend mit einer Versauerung der Ozeane, erhöht das Risiko schwerwiegender, weitverbreiteter und in einigen Fällen irreversibler schädlicher Folgen. Zukünftige Klimaänderungen werden bestehende klimabezogene Risiken verstärken und neue Risiken schaffen. {WGII SPM B, Abbildung SPM.1}

Schlüsselrisiken sind potenziell schwerwiegende Folgen, die für das Verständnis gefährlicher anthropogener Eingriffe in das Klimasystem relevant sind. Risiken werden aufgrund hoher Gefährdung und/oder hoher Verwundbarkeit von exponierten Gesellschaften und Systemen als Schlüsselrisiken bezeichnet. Ihre Identifizierung beruht auf großem Ausmaß oder hoher Wahrscheinlichkeit von Folgen, Irreversibilität oder dem Zeitpunkt des Auftretens von Folgen, anhaltender Verwundbarkeit oder Exposition, oder dem begrenzten Potenzial zur Risikoverringering. Einige Risiken sind besonders relevant für bestimmte Regionen (Abbildung 2.4), während andere global sind (Tabelle 2.3). Für eine Risikoabschätzung ist es wichtig, den größtmöglichen Bereich von Folgen zu bewerten, einschließlich von Ereignissen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit aber weitreichenden Konsequenzen. Risikograde steigen häufig mit der Temperatur (Box 2.4) und sind manchmal direkter mit anderen Dimensionen des Klimawandels verbunden, wie der Geschwindigkeit der Erwärmung sowie Ausmaß und Geschwindigkeit der Ozeanversauerung und des Meeresspiegelanstiegs (Abbildung 2.5). {WGII SPM A-3, SPM B-1}

**Zu sektoren- und regionenübergreifenden Schlüsselrisiken zählen die folgenden (hohes Vertrauen) {WGII SPM B-1}:**

1. Risiko schwerer gesundheitlicher Beeinträchtigungen und zerstörter Existenzgrundlagen aufgrund von Sturmfluten, Meeresspiegelanstieg und Küstenüberschwemmungen; Hochwasser in einigen urbanen Regionen sowie extreme Hitzeperioden.

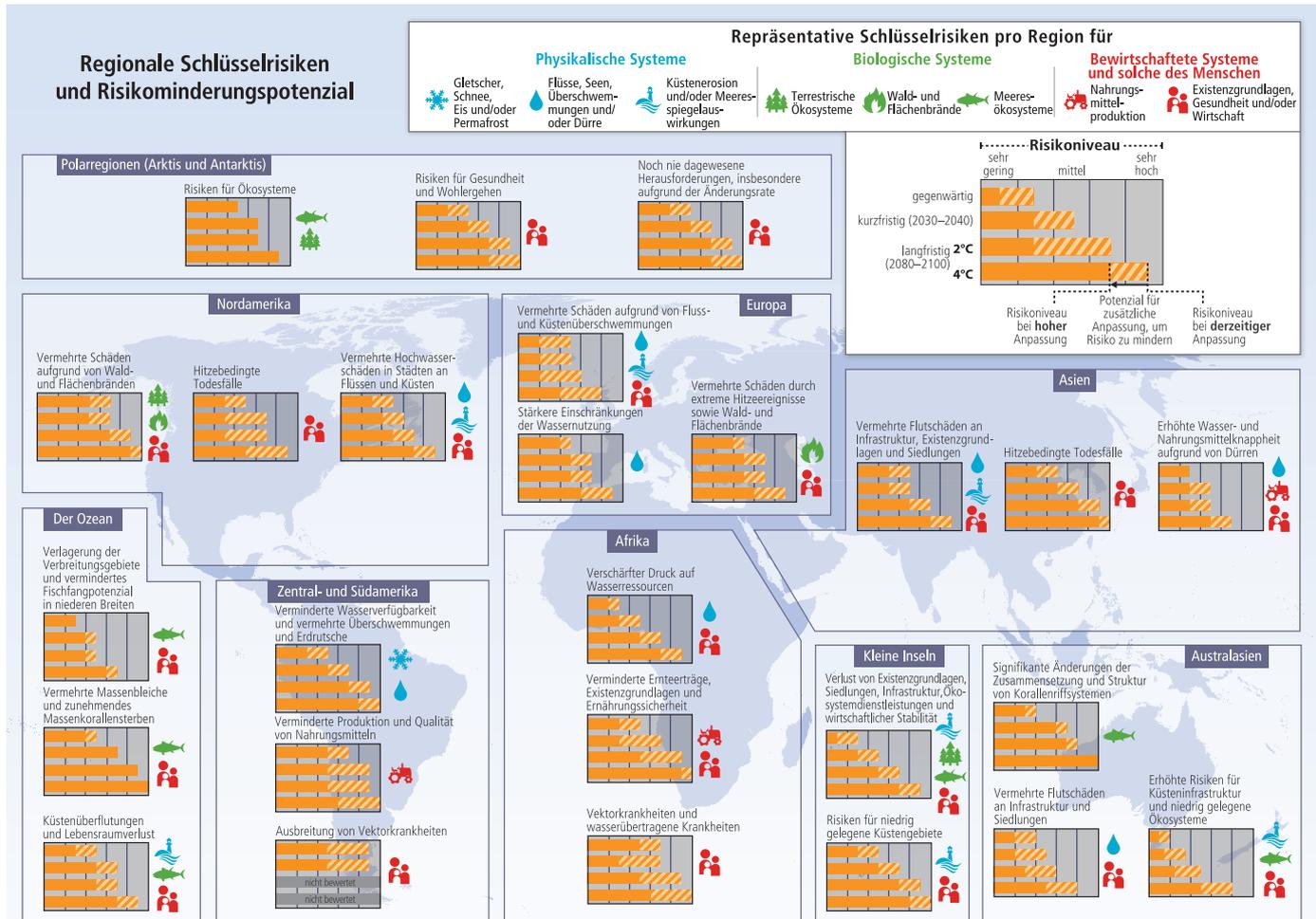
2. Systemische Risiken aufgrund von Extremwetterereignissen, die zum Zusammenbruch von Infrastrukturnetzen und entscheidenden Dienstleistungen führen.
3. Risiko von Ernährungs- und Wasserunsicherheit und Verlust ländlicher Existenzgrundlagen und Einkommen, insbesondere für die ärmere Bevölkerung.
4. Risiko des Verlustes von Ökosystemen, biologischer Vielfalt und Ökosystemgütern, -funktionen und -dienstleistungen.

Die Gesamtrisiken zukünftiger Klimawandelfolgen können durch eine Begrenzung der Geschwindigkeit und des Ausmaßes des Klimawandels, einschließlich der Ozeanversauerung begrenzt werden. Einige Risiken sind bereits bei einem Anstieg der mittleren globalen Temperatur um 1 °C über dem vorindustriellen Niveau beträchtlich. Viele globale Risiken sind hoch bis sehr hoch für globale Temperaturanstiege um 4 °C oder mehr (siehe Box 2.4). Zu diesen Risiken zählen schwere und weitverbreitete Folgen auf einzigartige und bedrohte Systeme, das Aussterben vieler Arten, hohe Risiken in Bezug auf Ernährungssicherheit und die Beeinträchtigung normaler Aktivitäten des Menschen, einschließlich des Anbaus von Nahrungsmitteln oder des Arbeitens im Freien für bestimmte Zeiten des Jahres, aufgrund einer Kombination von hoher Temperatur und Luftfeuchtigkeit (*hohes Vertrauen*). Der genaue Grad an Klimaänderung, der ausreicht, um abrupte und irreversible Veränderungen auszulösen, bleibt unsicher, das mit einer Überschreitung dieser Schwellen verbundene Risiko im Erdsystem bzw. in miteinander verbundenen natürlichen Systemen und solchen des Menschen steigt jedoch mit höheren Temperaturen (*mittleres Vertrauen*). {WGII SPM B-1}

Anpassung kann die mit den Folgen des Klimawandels verbundenen Risiken beträchtlich verringern, aber höhere Geschwindigkeiten und ein größeres Ausmaß des Klimawandels erhöhen die Wahrscheinlichkeit, Anpassungsgrenzen zu überschreiten (*hohes Vertrauen*). Das Anpassungspotenzial sowie Anpassungshemmnisse und -grenzen variieren zwischen Sektoren, Regionen, Gesellschaften und Ökosystemen. Der Spielraum für Anpassung verändert sich mit der Zeit und ist eng verbunden mit sozioökonomischen Entwicklungspfaden und Umständen. Siehe Abbildung 2.4 und Tabelle 2.3, zusammen mit Themen 3 und 4. {WGII SPM B, SPM C, TS B, TS C}

#### 2.3.1 Ökosysteme und deren Dienstleistungen in Ozeanen, entlang Küsten, an Land und in Süßwasser

Risiken schädlicher Folgen für Ökosysteme und Systeme des Menschen steigen mit Geschwindigkeit und Ausmaß der Erwärmung, der Ozeanversauerung, des Meeresspiegelanstiegs und anderen Dimensionen des Klimawandels (*hohes Vertrauen*). Dass das zukünftige Risiko hoch sein wird, lässt sich aus der Beobachtung ableiten, dass während der vergangenen Jahrmillionen natürliche globale Klimaveränderungen, welche langsamer abließen als der derzeitige anthropogene Klimawandel, signifikante Ökosystemverschiebungen und Artensterben an Land und in den Ozeanen verursacht haben. Viele Pflanzen- und Tierarten werden sich bei Geschwindigkeiten des Klimawandels im mittleren und hohen Bereich (RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5) innerhalb des 21. Jahrhunderts nicht lokal anpassen können oder dem geeigneten Klima nicht schnell genug folgen können (*mittleres Vertrauen*) (Abbildung 2.5a). Korallenriffe und polare Ökosysteme sind



**Abbildung 2.4** | Repräsentative Schlüsselrisiken für jede Region, einschließlich des Potenzials zur Risikominderung durch Anpassung und Klimaschutz, sowie Grenzen der Anpassung. Die Identifizierung von Risiken erfolgte auf der Grundlage von Experteneinschätzungen unter Verwendung der folgenden spezifischen Kriterien: großes Ausmaß, hohe Wahrscheinlichkeit oder Irreversibilität von Folgen; zeitliches Auftreten von Folgen; zu Risiken beitragende anhaltende Verwundbarkeit oder Exposition bzw. begrenztes Potenzial zur Risikoverringung durch Anpassung oder Minderung. Risikograde sind bewertet als sehr gering, gering, mittel, hoch oder sehr hoch für drei zeitliche Rahmen: gegenwärtig, kurzfristig (hier: für 2030–2040) und langfristig (hier: für 2080–2100). Kurzfristig unterscheiden sich die projizierten Anstiege der mittleren globalen Temperatur in den verschiedenen Emissionsszenarien nicht wesentlich. Langfristig sind die Risikograde für zwei mögliche Zukunftsszenarien dargestellt (Anstieg der mittleren globalen Temperatur um 2 °C und 4 °C über das vorindustrielle Niveau). Für jeden Zeitrahmen sind die Risikograde für die Fortführung der gegenwärtigen Anpassungsmaßnahmen sowie unter Annahme eines hohen Niveaus von derzeitiger bzw. zukünftiger Anpassung angegeben. Risikograde sind nicht notwendigerweise vergleichbar, insbesondere nicht über Regionen hinweg. {WGII SPM Bewertungen-Box SPM.2 Tabelle 1}

äußerst verwundbar. {WGII SPM A-1, SPM B-2, 4.3–4, 5.4, 6.1, 6.3, 6.5, 25.6, 26.4, 29.4, Box CC-CR, Box CC-MB, Box CC-RF}

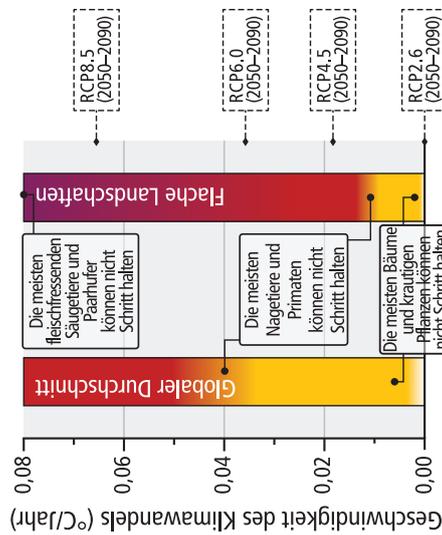
Ein großer Teil der terrestrischen, Süßwasser- und Meeresarten ist aufgrund des Klimawandels während des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus einem erhöhten Risiko des Aussterbens ausgesetzt, insbesondere da der Klimawandel mit weiteren Stressfaktoren wechselwirkt (hohes Vertrauen). Das Aussterberisiko ist bezogen auf vorindustrielle Zeiträume und die Jetztzeit unter allen RCP-Szenarien erhöht, infolge sowohl des Ausmaßes als auch der Geschwindigkeit des Klimawandels (hohes Vertrauen). Artensterben wird von mehreren mit dem Klima verbundenen Faktoren angetrieben werden (Erwärmung, Meereisverlust, Niederschlagsschwankungen, verringerter Wasserstand in Flüssen, Ozeanversauerung und verminderte Ozean-Sauerstoffniveaus) sowie von Wechselwirkungen unter diesen Treibern und durch deren Interaktion mit simultaner Verände-

rung von Lebensräumen, Übernutzung der Bestände, Verschmutzung, Eutrophierung und invasiven Arten (hohes Vertrauen). {WGII SPM B-2, 4.3–4.4, 6.1, 6.3, 6.5, 25.6, 26.4, Box CC-RF, Box CC-MB}

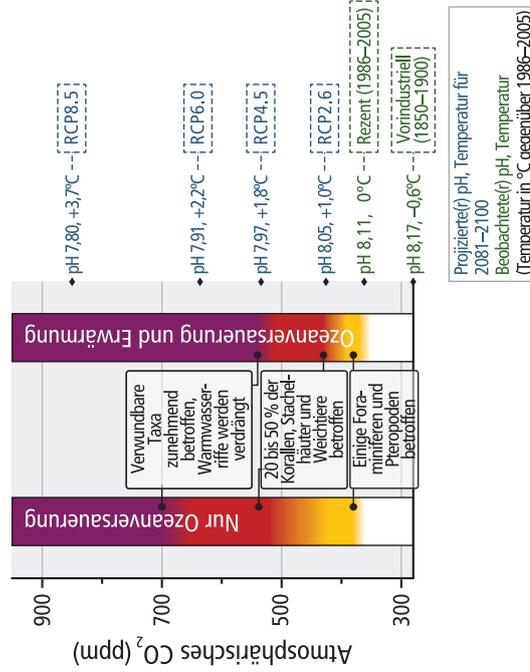
Die globale Neuverteilung mariner Arten und der Biodiversitätsrückgang in den Meeren in empfindlichen Gebieten aufgrund des Klimawandels werden problematisch für die dauerhafte Aufrechterhaltung der Produktivität des Fischfangs und anderer Ökosystemdienstleistungen sein, insbesondere in niedrigen Breiten (hohes Vertrauen). Bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts werden unter einer globalen Erwärmung um 2 °C – bezogen auf vorindustrielle Temperaturen – Verschiebungen im geographischen Vorkommen von Meeresarten den Artenreichtum und das Fischfangpotenzial in mittleren und hohen Breiten durchschnittlich erhöhen (hohes Vertrauen) und in tropischen Breiten sowie in halb eingeschlossenen Meeren verringern (Abbildung 2.6a) (mittleres Vertrauen). Die fortschreitende

Zunehmendes Risiko von RCP2.6 bis RCP8.5

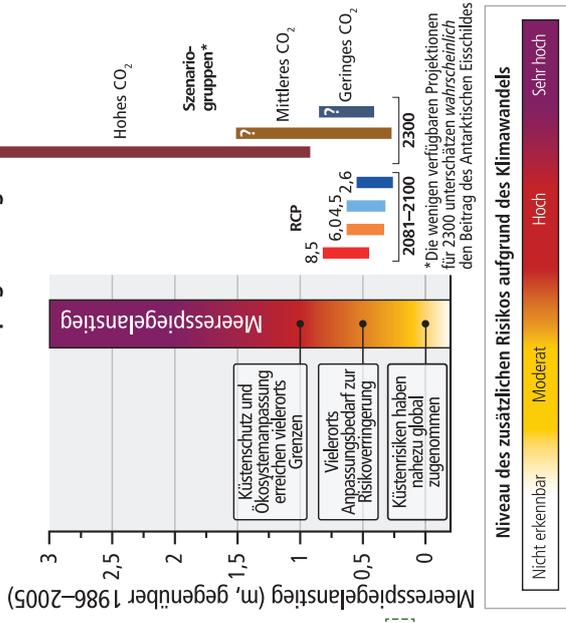
(a) Risiko für terrestrische und Süßwasserarten durch die Geschwindigkeit der Erwärmung



(b) Risiko für marine Arten allein aufgrund Ozeanversauerung bzw. zusätzlich durch Wärmeextreme



(c) Risiko für natürliche Küstensysteme und solche des Menschen durch Meeresspiegelanstieg



**Abbildung 2.5** | Das Risiko bezüglich: (a) Zusammenbruch der Struktur von Lebensgemeinschaften in terrestrischen und Süßwasser-Ökosystemen aufgrund der Erwärmungsrate; (b) Meeresorganismen, die von Ozeanversauerung bzw. Wärmeextremen in Kombination mit Ozeanversauerung betroffen sind; und (c) natürlicher Systeme und solcher des Menschen an Küsten, die vom Anstieg des Meeresspiegels betroffen sind. Die Kriterien der Risikograde entsprechen den in Box 2.4 verwendeten und ihre Kalibrierung ist durch die Anmerkungen für jede Tafel verdeutlicht. (a) Bei hohen Erwärmungsraten sind große Gruppen terrestrischer und Süßwasserarten nicht in der Lage, sich schnell genug zu bewegen, um innerhalb der sich räumlich verlagernden Klimahüllen zu bleiben, an die sie angepasst sind. Der Median der beobachteten bzw. modellierten Geschwindigkeiten, mit denen sich Artenpopulationen bewegen (km pro Jahrzehnt) wird mit der Geschwindigkeit verglichen, mit der sich Klimahüllen über die Landschaft bewegen, unter Annahme der projizierten Klimawandelraten für jeden Repräsentativen Konzentrationspfad (RCP) über den Zeitraum 2050-2090. Die Ergebnisse sind für den Durchschnitt aller Landschaften – global – sowie für flache Landschaften, in denen sich die Klimahülle besonders schnell bewegt, angegeben. (b) Sensibilität gegenüber Ozeanversauerung ist hoch für Meeresorganismen, die eine Kalkschale bilden. Die Risiken durch die Ozeanversauerung steigen mit der Erwärmung, da die Ozeanversauerung die tolerierten Niveau einer Wärmeexposition senkt, wie bei Korallen und Krustentieren beobachtet. (c) Die Höhe einer 50-Jahres-Flut ist in einigen Küstengebieten bereits gestiegen. An vielen Orten würde sich aus einem Anstieg des Meeresspiegels um 0,5 m bei fehlender Anpassung ein zehn- bis mehr als hundertfacher Anstieg in der Häufigkeit von Überschwemmungen ergeben. Lokale Anpassungskapazitäten (und insbesondere der Schutz) erreichen vielerorts ihre Grenzen für Ökosysteme und Systeme des Menschen bei einem Anstieg des Meeresspiegels um 1 m. (WGI 3.7.5, 3.8, 6.4.4, Abbildung 13.25, WGI Abbildung SPM.5, Abbildung 4-5, Abbildung 6-10, Box CC-OA, 4.4.2.5, 5.2, 5.3-5.5, 5.4.4, 5.5.6, 6.3)



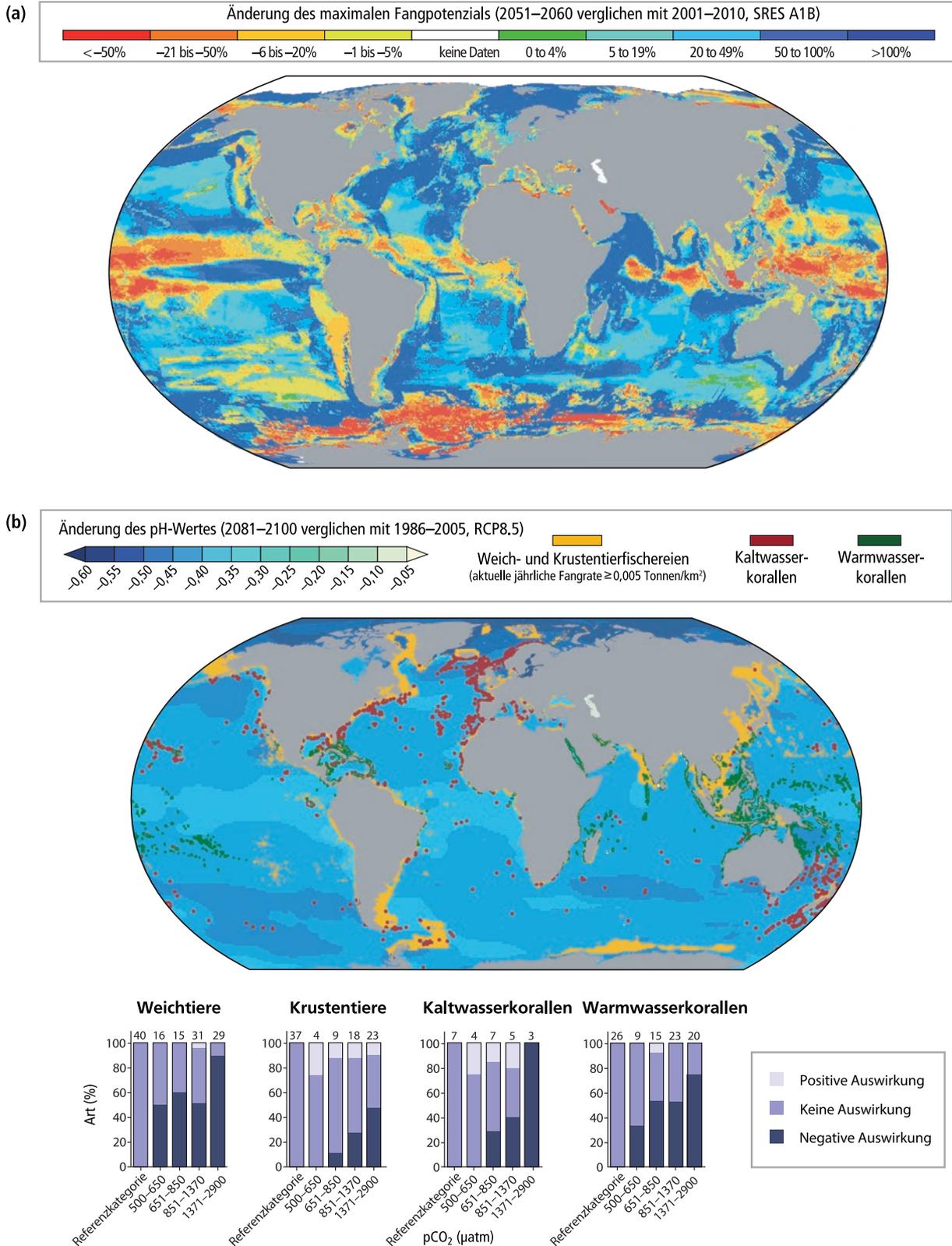
**Tabelle 2.3 |** Beispiele für globale Schlüsselrisiken für unterschiedliche Sektoren, einschließlich des Potenzials zur Risikominderung durch Anpassung und Klimaschutz, sowie Grenzen der Anpassung. Jedes Schlüsselrisiko wird als sehr gering, gering, mittel, hoch oder sehr hoch bewertet. Risikograde sind für drei zeitliche Rahmen dargestellt: gegenwärtig, kurzfristig (hier: für 2030–2040) und langfristig (hier: für 2080–2100). Kurzfristig unterscheiden sich die projizierten Anstiege der mittleren globalen Temperatur in den verschiedenen Emissionsszenarien nicht wesentlich. Langfristig sind die Risikograde für zwei mögliche Zukunftsszenarien dargestellt (Anstieg der mittleren globalen Temperatur um 2 °C und 4 °C über das vorindustrielle Niveau). Für jeden Zeitrahmen sind die Risikograde für die Fortführung der gegenwärtigen Anpassungsmaßnahmen sowie unter Annahme eines hohen Niveaus von derzeitiger bzw. zukünftiger Anpassung angegeben. Risikograde sind nicht notwendigerweise vergleichbar, insbesondere nicht über Regionen hinweg. Relevante Klimavariablen sind durch Symbole angezeigt. *{WGII Tabelle TS.4}*

Klimabedingte Treiber von Folgen									Risikoniveau & Anpassungspotenzial	
Erwärmungstrend	Extreme Temperatur	Austrocknungstrend	Extremer Niederschlag	Schädigender Wirbelsturm	Überschwemmung	Sturmflut	Ozeanversauerung	Kohlendioxid-düngung	Zusätzliches Anpassungspotenzial zur Verringerung des Risikos	
									Risikoniveau bei hoher Anpassung	Risikoniveau bei derzeitiger Anpassung
Globale Risiken										
Schlüsselrisiko	Anpassungsaspekte & Aussichten		Klimatische Treiber	Zeitraumen	Risiko & Anpassungspotenzial					
Verringerung der terrestrischen Kohlenstoffsenske: infolge von vermehrten Bränden aufgrund des Klimawandels und der Empfindlichkeit von Ökosystematmung gegenüber steigenden Temperaturen wird in terrestrischen Ökosystemen gespeicherter Kohlenstoff leichter zurück in die Atmosphäre abgegeben ( <i>mittleres Vertrauen</i> ). <i>{WGII 4.2, 4.3}</i>	• Anpassungsoptionen beinhalten das Management von Landnutzung (einschließlich Entwaldung), Bränden und sonstigen Störungen sowie nicht-klimatischer Stressoren.			Gegenwärtig Kurzfristig (2030–2040) Langfristig 2°C (2080–2100) 4°C	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch			
Borealer Kipp-Punkt: Arktische Ökosysteme sind gegenüber abrupten Änderungen im Zusammenhang mit dem Tauen von Permafrost, der Ausbreitung von Buschwerk in der Tundra und einer Zunahme von Schädlingen und Bränden in borealen Wäldern verwundbar ( <i>mittleres Vertrauen</i> ). <i>{WGII 4.3, Box 4-4}</i>	• In der Arktis existieren wenige Anpassungsoptionen.			Gegenwärtig Kurzfristig (2030–2040) Langfristig 2°C (2080–2100) 4°C	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch			
Amazonas-Kipp-Punkt: Feuchte Amazonaswälder könnten abrupt zu kohlenstoffärmeren Ökosystemen werden, die sich an Dürre und Brände angepasst haben ( <i>geringes Vertrauen</i> ). <i>{WGII 4.3, Box 4-3}</i>	• Politische und marktbasierende Maßnahmen können Entwaldung und Brände verringern.			Gegenwärtig Kurzfristig (2030–2040) Langfristig 2°C (2080–2100) 4°C	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch			
Erhöhtes Risiko von Artensterben: Ein Großteil der untersuchten Arten ist aufgrund des Klimawandels vom Aussterben bedroht, häufig im Zusammenspiel mit anderen Bedrohungen. Arten mit einer intrinsisch geringen Verbreitungsrate sind besonders bedroht, insbesondere wenn sie flache Landschaften besiedeln, in denen die projizierte Klimageschwindigkeit hoch ist; gleiches gilt für Arten in isolierten Lebensräumen wie Berggipfeln, Inseln oder kleinen Schutzgebieten. Kaskadierende Auswirkungen durch Wechselwirkungen zwischen Organismen, insbesondere jene, die verwundbar gegenüber phänologischen Änderungen sind, verstärken das Risiko ( <i>hohes Vertrauen</i> ). <i>{WGII 4.3, 4.4}</i>	• Anpassungsoptionen beinhalten die Verringerung von Lebensraumänderungen und -fragmentierungen, Verschmutzung, Raubbau und invasiven Arten; Erweiterung von Schutzgebieten, assistierte Verbreitung und <i>Ex-Situ</i> -Erhaltung.			Gegenwärtig Kurzfristig (2030–2040) Langfristig 2°C (2080–2100) 4°C	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch			
Globale Neuverteilung und Rückgang von Fischereierträgen in niedrigen Breiten, begleitet von einem globalen Trend zu kleineren Fischen in Fängen ( <i>mittleres Vertrauen</i> ) <i>{WGII 6.3 to 6.5, 30.5, 30.6}</i>	• Steigende Armut in Küstengebieten niedriger Breiten mit kleiner werdenden Fischereien – teilweise ausgeglichen durch das Wachstum von Aquakulturen und Meeresraumplanung, sowie verbesserte industrialisierte Fischfangbemühungen.			Gegenwärtig Kurzfristig (2030–2040) Langfristig 2°C (2080–2100) 4°C	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch			
Verringertes Wachstum und Überleben von wirtschaftlich wertvollen Schalentieren und anderen Kalkbildnern (z. B. riffbildende Korallen, kalkhaltige rote Algen) aufgrund von Ozeanversauerung ( <i>hohes Vertrauen</i> ) <i>{WGII 5.3, 6.1, 6.3, 6.4, 30.3, Box CC-OA}</i>	• Es gibt Belege für differenzielle Resistenzen und evolutionäre Anpassung einiger Arten, diese sind jedoch bei höheren CO <sub>2</sub> -Konzentrationen und Temperaturen <i>wahrscheinlich</i> begrenzt. • Anpassungsoptionen beinhalten die Verwertung resilienterer Arten oder den Schutz von Lebensräumen mit geringen natürlichen CO <sub>2</sub> -Niveaus, sowie die Verringerung anderer Stressoren, hauptsächlich Verschmutzung, und die Begrenzung von Belastungen aus Tourismus und Fischfang.			Gegenwärtig Kurzfristig (2030–2040) Langfristig 2°C (2080–2100) 4°C	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch			
Verlust der marinen Biodiversität mit steigender Geschwindigkeit des Klimawandels ( <i>mittleres Vertrauen</i> ) <i>{WGII 6.3, 6.4, Tabelle 30-4, Box CC-MB}</i>	• Anpassungsoptionen sind begrenzt auf die Verringerung anderer Stressoren, hauptsächlich Verschmutzung, sowie die Begrenzung von Belastungen aus Küstenaktivitäten des Menschen wie Tourismus und Fischfang.			Gegenwärtig Kurzfristig (2030–2040) Langfristig 2°C (2080–2100) 4°C	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch			

Tabelle 2.3 (Fortsetzung)

Globale Risiken																							
Schlüsselrisiko	Anpassungsaspekte & Aussichten	Klimatische Treiber	Zeiträumen	Risiko & Anpassungspotenzial																			
Negative Folgen für durchschnittliche Ernteerträge und vermehrte Ertragsschwankungen aufgrund des Klimawandels (hohes Vertrauen) <i>{WGII 7.2 to 7.5, Abbildung 7-5, Box 7-1}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die projizierten Folgen unterscheiden sich je nach Nutzpflanze, Region und Anpassungsszenario, wobei – verglichen mit dem späten 20. Jahrhundert – ca. 10 % der Projektionen für den Zeitraum 2030–2049 Ertragszuwächse von mehr als 10 % zeigen und etwa 10 % der Projektionen Ertragsverluste von mehr als 25 % zeigen. Nach 2050 steigt das Risiko schwerwiegenderer Folgen für die Erträge an und hängt vom Niveau der Erwärmung ab.</li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						
Urbane Risiken im Zusammenhang mit Wasserversorgungssystemen (hohes Vertrauen) <i>{WGII 8.2, 8.3}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassungsoptionen beinhalten Veränderungen von Netzwerkinfrastrukturen sowie nachfrageseitiges Management zur Sicherstellung ausreichender Wasserversorgung und -qualität, erhöhte Kapazitäten zur Bewältigung geringerer Süßwasserverfügbarkeit und Verringerung von Überschwemmungsrisiken.</li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						
Urbane Risiken im Zusammenhang mit Energiesystemen (hohes Vertrauen) <i>{WGII 8.2, 8.4}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die meisten Ballungsgebiete sind energieintensiv, wobei sich die energiebezogenen Klimaschutzmaßnahmen lediglich auf Minderungsmaßnahmen konzentrieren. Wenige Städte haben Anpassungsinitiativen für kritische Energiesysteme auf den Weg gebracht. Nicht angepasste, zentralisierte Energiesysteme können Folgen potenziell verstärken und zu nationalen und grenzüberschreitenden Konsequenzen aus lokalen Extremereignissen führen.</li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						
Urbane Risiken im Zusammenhang mit Wohnungsbau (hohes Vertrauen) <i>{WGII 8.3}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Unterkünfte schlechter Qualität und an ungeeigneten Standorten sind häufig gegenüber Extremereignissen am verwundbarsten. Zu den Anpassungsoptionen zählen die Durchsetzung von Bauvorschriften und Modernisierung. Einige Städtestudien zeigen das Potenzial für eine Anpassung des Wohnungsbaus bei gleichzeitiger Förderung von Minderungs-, Anpassungs- und Entwicklungszielen. Vor allem schnell wachsende Städte bzw. jene, die nach einer Katastrophe wieder aufgebaut werden, haben die Möglichkeit, ihre Resilienz zu erhöhen, dies wird jedoch selten umgesetzt. Ohne Anpassung sind die Risiken wirtschaftlicher Verluste durch Extremereignisse in Städten mit hochwertigen Infrastruktur- und Wohnungsbaugütern beträchtlich, wobei breitere wirtschaftliche Auswirkungen möglich sind.</li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						
Vertreibungen aufgrund von Extremereignissen (hohes Vertrauen) <i>{WGII 12.4}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassung an Extremereignisse wird gut verstanden, jedoch auch unter den derzeitigen Klimabedingungen schlecht umgesetzt. Vertreibung und unfreiwillige Umsiedlung sind häufig vorübergehend. Mit steigenden Klimarisiken ist es eher wahrscheinlich, dass eine Vertreibung mit einer permanenten Umsiedlung verbunden ist.</li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						
Gewaltsame Konflikte aus einer Verschlechterung ressourcenabhängiger Existenzgrundlagen heraus wie Land- und Naturweidewirtschaft (hohes Vertrauen) <i>{WGII 12.5}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassungsoptionen:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>Absicherung ländlicher Einkommen gegen klimatische Schocks, z. B. durch Diversifikation von Existenzgrundlagen, Einkommenstransfers und Bereitstellung sozialer Sicherheitsnetze</li> <li>Frühwarnmechanismen zur Förderung einer effektiven Risikoverringerung</li> <li>Gängige Strategien zur Bewältigung von gewaltsamen Konflikten, die wirksam sind, jedoch signifikante Ressourcen, Investitionen und politischen Willen erfordern.</li> </ul> </li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						
Abnehmende Arbeitsproduktivität, steigende Erkrankungsrate (z. B. Dehydrierung, Hitzschlag und Hitzeerschöpfung) sowie Todesfälle aufgrund der Exposition gegenüber Hitzewellen. Besonders bedroht sind Landwirte und Bauarbeiter sowie Kinder, Obdachlose, Ältere und Frauen, die lange gehen müssen, um Wasser zu holen (hohes Vertrauen) <i>{WGII 13.2, Box 13-1}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassungsoptionen sind begrenzt für Menschen, die von der Landwirtschaft abhängig sind und sich landwirtschaftliche Maschinen nicht leisten können.</li> <li>Anpassungsoptionen sind im Bausektor begrenzt, wo viele arme Menschen unter unsicheren Bedingungen arbeiten.</li> <li>In einer +4 °C-Welt können möglicherweise in bestimmten Gebieten Anpassungsgrenzen überschritten werden.</li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						
Verringerter Zugang zu Wasser für arme Menschen in ländlichen und städtischen Räumen aufgrund von Wasserknappheit und steigendem Wettbewerb um Wasser (hohes Vertrauen) <i>{WGII 13.2, Box 13-1}</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Anpassung durch einen verringerten Wasserverbrauch ist für die vielen Menschen, die bereits jetzt keinen adäquaten Zugang zu sauberem Wasser haben, keine Option. Der Zugang zu Wasser unterliegt verschiedenen Formen der Diskriminierung, z. B. aufgrund des Geschlechtes und des Standortes. Arme und benachteiligte Wasserverbraucher sind nicht in der Lage, mit dem Wasserabzug durch Industrie, Großlandwirtschaft und andere mächtige Verbraucher zu konkurrieren.</li> </ul>		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>Sehr gering</td> <td>Mittel</td> <td>Sehr hoch</td> </tr> <tr> <td>Gegenwärtig</td> <td colspan="3">[Bar chart: low risk]</td> </tr> <tr> <td>Kurzfristig (2030–2040)</td> <td colspan="3">[Bar chart: medium risk]</td> </tr> <tr> <td>Langfristig 2°C (2080–2100)</td> <td colspan="3">[Bar chart: high risk]</td> </tr> <tr> <td>4°C</td> <td colspan="3">[Bar chart: very high risk]</td> </tr> </table>		Sehr gering	Mittel	Sehr hoch	Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]			Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]			Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]			4°C	[Bar chart: very high risk]		
	Sehr gering	Mittel	Sehr hoch																				
Gegenwärtig	[Bar chart: low risk]																						
Kurzfristig (2030–2040)	[Bar chart: medium risk]																						
Langfristig 2°C (2080–2100)	[Bar chart: high risk]																						
4°C	[Bar chart: very high risk]																						





**Abbildung 2.6 |** Risiken des Klimawandels für den Fischfang. **(a)** Projizierte globale Neuverteilung des maximalen Fangpotenzials von ~1000 genutzter Fisch- und wirbelloser Arten, Vergleich der 10-Jahres-Mittel über 2001–2010 und 2051–2060, unter Verwendung von Ozeanzuständen basierend auf einem einzelnen Klimamodell unter einem Szenario mit moderater bis hoher Erwärmung (2 °C Erwärmung bezogen auf vorindustrielle Temperaturen), ohne die möglichen Folgen von Überfischung und Ozeanversauerung zu analysieren. **(b)** Seefischerei von Weich- und Krustentieren (derzeitige geschätzte jährliche Fangraten  $\geq 0,005$  Tonnen/km<sup>2</sup>) und bekannte Vorkommen von Warm- und Kaltwasserkorallen, dargestellt auf einer globalen Karte, welche die oberflächennahe Versauerung der Ozeane in 2100 unter RCP8.5 zeigt. Die untere Tafel vergleicht den Prozentsatz der gegenüber der Versauerung der Ozeane sensiblen Arten für Korallen, Weichtiere und Krustentiere, verwundbare Tierstämme mit sozioökonomischer Bedeutung (z. B. für Küstenschutz und Fischfang). Die Anzahl der in Studien analysierten Arten ist für jede Kategorie erhöhten Kohlendioxids angegeben. Für das Jahr 2100 gelten folgende  $pCO_2$ -Kategorien für die jeweiligen RCP-Szenarien: RCP4.5 für 500 bis 650  $\mu atm$ , RCP6.0 für 651 bis 850  $\mu atm$  und RCP8.5 für 851 bis 1370  $\mu atm$ . Um das Jahr 2150 fällt RCP8.5 in die Kategorie von 1371 bis 2900  $\mu atm$ . Die Referenzkategorie entspricht 380  $\mu atm$ . (Die Einheit  $\mu atm$  entspricht in etwa ppm in der Atmosphäre). [WGI Abbildung SPM.8, Box SPM. 1, WGII SPM B-2, Abbildung SPM.6, 6.1, 6.3, 30.5, Abbildung 6-10, Abbildung 6-14]

Ausdehnung von Sauerstoffminimumzonen und anoxischen „toten Zonen“ in den Ozeanen wird die Lebensräume von Fischen weiter einschränken (*mittleres Vertrauen*). Unter allen RCP-Szenarien wird projiziert, dass sich die Nettoprimärproduktion im offenen Ozean neu verteilt und um 2100 global fällt (*mittleres Vertrauen*). Die Klimaänderung verstärkt die Bedrohungen durch Überfischung und sonstige nicht-klimatische Stressfaktoren (*hohes Vertrauen*). {WGII SPM B-2, 6.3–6.5, 7.4, 25.6, 28.3, 29.3, 30.6–30.7, Box CC-MB, Box CC-PP}

**Meeresökosysteme, insbesondere Korallenriffe und polare Ökosysteme, sind von der Ozeanversauerung bedroht (*mittleres bis hohes Vertrauen*).** Die Ozeanversauerung hat Folgen für die Physiologie, das Verhalten und die Populationsdynamik von Organismen. Die Folgen für einzelne Arten und die Anzahl der betroffenen Arten in den Artengruppen nehmen von RCP4.5 bis RCP8.5 zu. Stark kalkifizierte Weichtiere, Stachelhäuter und riffbildende Korallen sind empfindlicher als Krustentiere (*hohes Vertrauen*) und Fische (*geringes Vertrauen*) (Abbildung 2.6b). Die Ozeanversauerung findet in Kombination mit anderen globalen Veränderungen (z. B. Erwärmung, fortschreitend niedrigere Sauerstoffniveaus) und mit lokalen Änderungen (z. B. Schadstoffeintrag, Eutrophierung) (*hohes Vertrauen*) statt und führt zu interaktiven, komplexen und verstärkten Folgen auf Arten und Ökosysteme (Abbildung 2.5b). {WGII SPM B-2, Abbildung SPM.6B, 5.4, 6.3.2, 6.3.5, 22.3, 25.6, 28.3, 30.5, Abbildung 6-10, Box CC-CR, Box CC-OA, Box TS.7}

**In der terrestrischen Biosphäre gespeicherter Kohlenstoff ist anfällig für einen Verlust an die Atmosphäre aufgrund von Klimawandel, Entwaldung und Ökosystemdegradierung (*hohes Vertrauen*).** Zu den Aspekten des Klimawandels mit direkten Auswirkungen auf gespeicherten terrestrischen Kohlenstoff zählen hohe Temperaturen, Dürre und Stürme; zu indirekten Auswirkungen zählen erhöhte Risiken von Bränden, Schädlings- und Krankheitsausbrüchen. Erhöhte Baumsterblichkeit und damit verbundenes Waldsterben wird für viele Regionen über das 21. Jahrhundert projiziert (*mittleres Vertrauen*), womit Risiken für Kohlenstoffspeicherung, biologische Vielfalt, Holzproduktion, Wasserqualität, Erholungswert und wirtschaftliche Aktivität verbunden sind. Es besteht ein hohes Risiko beträchtlicher Kohlenstoff- und Methanemissionen infolge der Permafrostabtauung. {WGII SPM, 4.2–4.3, Abbildung 4-8, Box 4-2, Box 4-3, Box 4-4}

**Küstensysteme und niedrig gelegene Gebiete werden aufgrund des Meeresspiegelanstiegs zunehmend Überschwemmungen, Fluten und Erosion erfahren, über das 21. Jahrhundert und darüber hinaus (*sehr hohes Vertrauen*).** Bevölkerung und Güter, für die eine Exposition gegenüber Küstenrisiken projiziert ist, sowie Druck durch den Menschen auf Küstenökosysteme werden sich in den kommenden Jahrzehnten aufgrund von Bevölkerungswachstum, wirtschaftlicher Entwicklung und Urbanisierung signifikant erhöhen (*hohes Vertrauen*). Klimatische und nicht-klimatische Treiber, die Korallenriffe beeinträchtigen, werden Lebensräume erodieren, die Exposition von Küstenlinien gegenüber Wellen und Stürmen erhöhen und ökologische Merkmale, die für die Fischerei und den Tourismus von Bedeutung sind, schädigen (*hohes Vertrauen*). Es wird erwartet, dass einige niedrig gelegene Entwicklungsländer und kleine Inselstaaten mit sehr starken Auswirkungen konfrontiert sein werden, welche jährliche Schadens- und Anpassungskosten in Höhe von mehreren Prozent des Bruttoinlandsproduktes (BIP) bedingen könnten (Abbildung 2.5c). {WGII 5.3–5.5, 22.3, 24.4, 25.6, 26.3, 26.8, 29.4, Tabelle 26-1, Box 25-1, Box CC-CR}

### 2.3.2 Wasser-, Nahrungs- und urbane Systeme, Gesundheit des Menschen, Sicherheit und Existenzgrundlagen

**Es wird projiziert, dass der Anteil der Weltbevölkerung, der unter Wasserknappheit leiden und von großen Flusshochwassern betroffen sein wird, mit dem Erwärmungsniveau im 21. Jahrhundert steigen wird (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*).** {WGII 3.4–3.5, 26.3, 29.4, Tabelle 3-2, Box 25-8}

Projektionen zeigen, dass der Klimawandel über das 21. Jahrhundert die erneuerbaren Oberflächen- und Grundwasserressourcen in den meisten trockenen subtropischen Regionen verringern wird (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*), was zu einer Verstärkung des Wettbewerbs um Wasser zwischen verschiedenen Sektoren führen wird (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). In gegenwärtig trockenen Regionen wird die Häufigkeit von Dürren *wahrscheinlich* zum Ende dieses Jahrhunderts unter RCP8.5 zunehmen (*mittleres Vertrauen*). Im Gegensatz dazu wird ein Anstieg der Wasserressourcen für die hohen Breiten projiziert (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Die Wechselwirkung von gestiegener Temperatur, erhöhten Sediment-, Nährstoff- und Schadstofffrachten durch Starkregenfälle, erhöhte Schadstoffkonzentrationen während Dürren und Betriebsstörungen von Aufbereitungsanlagen während Überschwemmungen wird die Rohwasserqualität verringern und Risiken für die Trinkwasserqualität aufwerfen (*mittlere Belege, hohe Übereinstimmung*). {WGI 12.4, WGII 3.2, 3.4–3.6, 22.3, 23.9, 25.5, 26.3, Tabelle 3-2, Tabelle 23-3, Box 25-2, Box CC-RF, Box CC-WE}

**Alle Aspekte der Ernährungssicherheit sind potenziell vom Klimawandel betroffen, einschließlich Nahrungsmittelproduktion, -zugang, -verwertung und -preisstabilität (*hohes Vertrauen*).** Für Weizen, Reis und Mais in tropischen und gemäßigten Regionen wird projiziert, dass sich der Klimawandel ohne Anpassung bei lokalen Temperaturanstiegen um 2 °C oder mehr über das Niveau des späten 20. Jahrhunderts negativ auf die Produktion auswirken wird, auch wenn einzelne Standorte profitieren können (*mittleres Vertrauen*). Die projizierten Folgen schwanken je nach Feldfrucht, Region und Anpassungsszenario, wobei – verglichen mit dem späten 20. Jahrhundert – ca. 10 % der Projektionen für den Zeitraum 2030–2049 Ertragszuwächse von mehr als 10 % zeigen und etwa 10 % der Projektionen Ertragsverluste von mehr als 25 % zeigen. Globale Temperaturanstiege von ~4 °C oder mehr über das Niveau des späten 20. Jahrhunderts, in Kombination mit einem steigenden Nahrungsmittelbedarf, hätten sowohl global als auch regional hohe Risiken für die Ernährungssicherheit zur Folge (*hohes Vertrauen*) (Abbildung 2.4, 2.7). Der Zusammenhang zwischen globaler und regionaler Erwärmung wird in 2.2.1 erläutert. {WGII 6.3–6.5, 7.4–7.5, 9.3, 22.3, 24.4, 25.7, 26.5, Tabelle 7-2, Tabelle 7-3, Abbildung 7-1, Abbildung 7-4, Abbildung 7-5, Abbildung 7-6, Abbildung 7-7, Abbildung 7-8, Box 7-1}

**Bis zur Jahrhundertmitte wird sich der projizierte Klimawandel auf die Gesundheit des Menschen hauptsächlich durch eine Verschärfung bereits bestehender gesundheitlicher Probleme auswirken (*sehr hohes Vertrauen*).** Es wird erwartet, dass der Klimawandel während des 21. Jahrhunderts – verglichen mit einem Basisszenario ohne Klimawandel – zu einer Zunahme von gesundheitlichen Beeinträchtigungen in vielen Regionen und

## Box 2.4 | Gründe zur Besorgnis im Hinblick auf den Klimawandel

Fünf Gründe zur Besorgnis (reasons for concern, RFC) stellen seit dem Dritten Sachstandsbericht des IPCC einen Rahmen für die Zusammenfassung von Schlüsselrisiken zur Verfügung. Sie verdeutlichen sektoren- und regionenübergreifend die Folgen von Erwärmung und Anpassungsgrenzen für Menschen, Wirtschafts- und Ökosysteme. Sie liefern einen Ausgangspunkt für die Bewertung gefährlicher anthropogener Beeinflussung des Klimasystems. Alle Erwärmungsniveaus im Text von Box 2.4 sind bezogen auf den Zeitraum 1986–2005. Zählt man zu diesem Erwärmungsniveaus  $\sim 0,6$  °C hinzu, erhält man in etwa den Wert der Erwärmung bezogen auf den Zeitraum 1850–1900, welcher hier als Proxy für vorindustrielle Zeiten verwendet wird (rechtsseitige Skala in Box 2.4, Abbildung 1). {WGII Bewertungsbox SPM.1}

Die fünf Gründe zur Besorgnis stehen mit folgenden Faktoren in Zusammenhang:

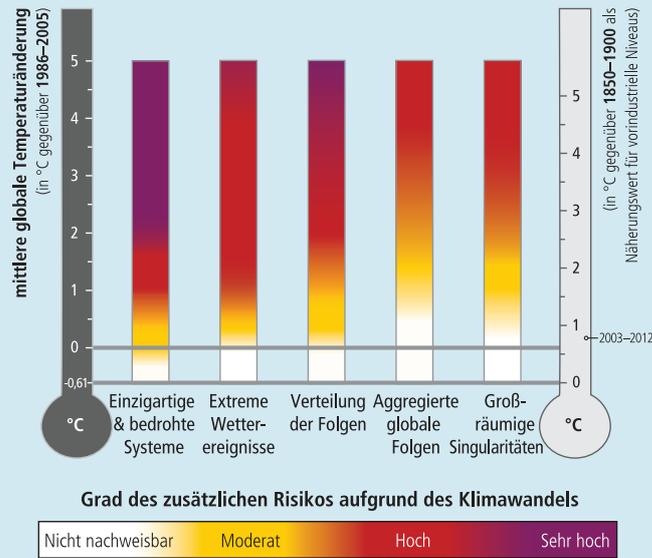
1. **Einzigartige und bedrohte Systeme:** Einige Ökosysteme und Kulturen sind schon jetzt durch den Klimawandel bedroht (*hohes Vertrauen*). Bei weiterer Erwärmung um ca. 1 °C steigt die Anzahl der einzigartigen und bedrohten Systeme, die von schwerwiegenden Folgen bedroht sind. Viele Systeme mit begrenzter Anpassungskapazität, insbesondere jene, die mit arktischem Meereis und Korallenriffen verbunden sind, sind bei einer zusätzlichen Erwärmung um 2 °C sehr hohen Risiken ausgesetzt. Zusätzlich zu den Risiken, die sich aus dem *Ausmaß* der Erwärmung ergeben, sind terrestrische Arten auch sensibel gegenüber der *Geschwindigkeit* der Erwärmung, Meeresarten gegenüber Geschwindigkeit und Grad der Ozeanversauerung und Küstensysteme gegenüber dem Meeresspiegelanstieg (Abbildung 2.5).
2. **Extremwetterereignisse:** Durch den Klimawandel bedingte Risiken durch Extremereignisse wie Hitzewellen, Starkniederschläge und Küstenüberschwemmungen sind jetzt schon moderat (*hohes Vertrauen*). Bei weiterer Erwärmung um 1 °C wären die Risiken hoch (*mittleres Vertrauen*). Mit bestimmten Arten von Extremereignissen (z. B. extremer Hitze) verbundene Risiken steigen zunehmend mit weiterer Erwärmung (*hohes Vertrauen*).
3. **Verteilung der Folgen:** Risiken sind zwischen Menschengruppen und Regionen ungleichmäßig verteilt; Risiken sind überall generell größer für benachteiligte Menschen und Gemeinschaften. Diese Risiken sind aufgrund regionaler Unterschiede bei den beobachteten Folgen des Klimawandels, insbesondere auf den Pflanzenbau, schon jetzt moderat (*mittleres bis hohes Vertrauen*). Basierend auf projizierten Rückgängen regionaler Ernteerträge und Wasserverfügbarkeit sind Risiken ungleich verteilter Folgen bei einer zusätzlichen Erwärmung von mehr als 2 °C hoch (*mittleres Vertrauen*).
4. **Globale aggregierte Folgen:** Die Risiken global aggregierter Folgen sind für eine weitere Erwärmung um 1 °C bis 2 °C moderat, wobei sowohl Folgen für die Biodiversität der Erde als auch für die Weltwirtschaft insgesamt mitberücksichtigt sind (*mittleres Vertrauen*). Ein erheblicher Verlust an Biodiversität verbunden mit dem Verlust von Ökosystemgütern und -leistungen resultiert bei einer zusätzlichen Erwärmung um rund 3 °C in hohen Risiken (*hohes Vertrauen*). Aggregierte wirtschaftliche Schäden nehmen mit zunehmender Temperatur schneller zu (*begrenzte Belege, hohe Übereinstimmung*), aber für eine zusätzliche Erwärmung von über 3 °C sind nur wenige quantitative Schätzungen verfügbar.
5. **Großräumige singuläre Ereignisse:** Mit steigender Erwärmung sind einige physikalische Systeme und Ökosysteme dem Risiko abrupten und/oder irreversibler Veränderungen ausgesetzt (siehe Abschnitt 2.4). Die Risiken, die mit solchen Kipp-Punkten verknüpft sind, werden bei 0 bis 1 °C zusätzlicher Erwärmung als moderat eingestuft, da es Anzeichen gibt, dass sowohl Warmwasser-Korallenriffe als auch arktische Ökosysteme bereits irreversiblen Systemverschiebungen unterliegen (*mittleres Vertrauen*). Risiken steigen bei einer zusätzlichen Erwärmung um 1 bis 2 °C zunehmend steiler an und werden bei mehr als 3 °C aufgrund eines möglichen, großen und irreversiblen Meeresspiegelanstiegs durch das Schmelzen von Eisschilden als hoch eingestuft. Bei einer anhaltenden Erwärmung jenseits eines bestimmten Schwellenwerts von mehr als  $\sim 0,5$  °C zusätzlicher Erwärmung (*geringes Vertrauen*), aber weniger als  $\sim 3,5$  °C (*mittleres Vertrauen*), käme es zu einem nahezu vollständigen Verlust des Grönländischen Eisschildes innerhalb eines Jahrtausends oder mehr, der letztendlich bis zu 7 m zum Anstieg des mittleren globalen Meeresspiegels beitragen würde.

(Fortsetzung auf der nächsten Seite)

insbesondere in Entwicklungsländern mit geringen Einkommen führen wird (*hohes Vertrauen*). Zu den gesundheitlichen Folgen zählen die höhere Wahrscheinlichkeit von Verletzung und Tod aufgrund intensiverer Hitzewellen und Brände, erhöhte Risiken aus lebensmittel- und wasserübertragenen Krankheiten, sowie der Verlust der Erwerbs-

fähigkeit und verminderte Arbeitsproduktivität in verwundbaren Bevölkerungsgruppen (*hohes Vertrauen*). Das Risiko von Unterernährung in armen Gegenden wird steigen (*hohes Vertrauen*). Für Risiken aus Vektorkrankheiten wird ein genereller Anstieg mit der Erwärmung aufgrund der Ausweitung von Infektionsbereichen und -zeiträumen pro-

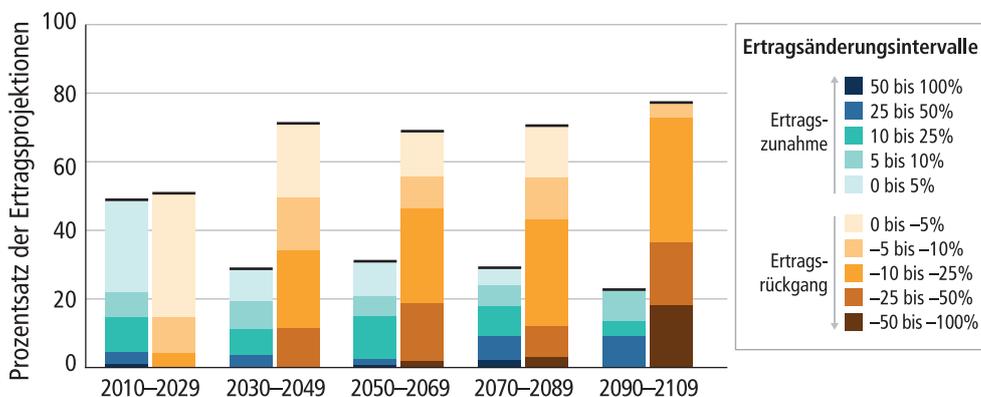
Box 2.4 (Fortsetzung)



**Box 2.4, Abbildung 1** | Mit den Gründen zur Besorgnis verknüpfte Risiken auf globaler Ebene, dargestellt für zunehmenden Klimawandel. Die farbliche Abstufung gibt das zusätzliche Risiko durch den Klimawandel an, wenn ein Temperaturniveau erreicht und dann gehalten oder überschritten wird. Die Farbe Weiß bedeutet, dass keine Folgen nachweisbar sind, die dem Klimawandel zugeordnet werden können. Gelb bedeutet, dass die dazugehörigen Folgen sowohl nachweisbar sind als auch zumindest mit *mittlerem Vertrauen* dem Klimawandel zugeordnet werden können. Rot steht für schwere und weitverbreitete Folgen. Violett –in diesem Bericht neu eingeführt – bedeutet, dass alle Kriterien für Schlüsselrisiken auf ein sehr hohes Risiko hinweisen. {WGII Bewertungs-Box SPM.1, Abbildung 19-4}

jiziert, ungeachtet der Verringerungen in einigen Gegenden, in denen es zu heiß für Krankheitserreger sein wird (*mittleres Vertrauen*). Global betrachtet werden Schwere und Ausmaß negativer Folgen den positiven Folgen gegenüber immer stärker überwiegen (*hohes Vertrauen*). Für RCP8.5 wird um 2100 die Kombination aus hohen Temperaturen und Feuchtigkeit normale Tätigkeiten von Menschen, einschließlich des Anbaus von Nahrungsmitteln und der Arbeit im Freien, in einigen Regionen für bestimmte Zeiten des Jahres beeinträchtigen (*hohes Vertrauen*). {WGII SPM B-2, 8.2, 11.3–11.8, 19.3, 22.3, 25.8, 26.6, Abbildung 25-5, Box CC-HS}

**Für urbane Gebiete werden aufgrund des Klimawandels erhöhte Risiken für Menschen, Vermögenswerte, Ökonomien und Ökosysteme projiziert, darunter Risiken durch Hitzestress, Stürme und Extremniederschläge, Überschwemmungen im Binnenland und an den Küsten, Erdbeben, Luftverschmutzung, Dürren, Wasserknappheit, Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten (*sehr hohes Vertrauen*).** Diese Risiken werden verstärkt diejenigen betreffen, denen die notwendige Infrastruktur und Dienstleistungen fehlen oder die in exponierten Gebieten leben. {WGII 3.5, 8.2–8.4, 22.3, 24.4–24.5, 26.8, Tabelle 8-2, Box 25-9, Box CC-HS}



**Abbildung 2.7** | Zusammenfassung der projizierten Änderungen von Ernteerträgen (hauptsächlich Weizen, Mais, Reis und Soja) aufgrund des Klimawandels während des 21. Jahrhunderts. Diese Abbildung kombiniert 1090 Datenpunkte aus Nutzpflanzenmodellprojektionen, die unterschiedliche Emissionsszenarien, tropische und gemäßigte Regionen sowie Anpassungs- und Nichtanpassungsfälle abdecken. Die Projektionen sind in die 20-Jahres-Zeiträume eingruppiert (horizontale Achse), innerhalb derer ihr Mittelpunkt auftritt. Veränderungen der Ernteerträge sind bezogen auf das Niveau des späten 20. Jahrhunderts und die Daten für jeden Zeitraum summieren sich auf 100 %. Relativ wenige Studien haben Folgen für Anbausysteme unter Szenarien berücksichtigt, in denen die mittlere globale Temperatur um 4 °C oder mehr ansteigt. {WGII Abbildung SPM.7}

Für ländliche Regionen werden erhebliche Folgen für die Wasserverfügbarkeit und -versorgung, Ernährungssicherheit, Infrastruktur und landwirtschaftliche Einkommen erwartet, einschließlich weltweiter Verschiebungen der Anbauggebiete für Nahrungs- und Nutzpflanzen (*hohes Vertrauen*). Diese Folgen werden überproportional das Wohlergehen der Armen in ländlichen Gegenden betreffen, wie von Frauen geführte Haushalte und solche mit begrenztem Zugang zu Land, modernen landwirtschaftlichen Betriebsmitteln, Infrastruktur und Bildung. {WGII 5.4, 9.3, 25.9, 26.8, 28.2, 28.4, Box 25-5}

Aggregierte wirtschaftliche Verluste verstärken sich mit steigender Temperatur (*begrenzte Belege, hohe Übereinstimmung*), jedoch sind die globalen wirtschaftlichen Auswirkungen des Klimawandels derzeit schwer abzuschätzen. Mit anerkannten Einschränkungen belaufen sich die unvollständigen Schätzungen der globalen jährlichen wirtschaftlichen Verluste bei einer Erwärmung von ~2,5 °C über das vorindustrielle Niveau auf 0,2 bis 2,0 % des Einkommens (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Für die meisten Wirtschaftssektoren wird projiziert, dass Veränderungen von Bevölkerung, Altersstruktur, Einkommen, Technologie, relativen Preisen, Lebensstil, Regulierung sowie politischer Steuerung und Koordination relativ größere Auswirkungen haben als der Klimawandel (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Es wird projiziert, dass schwerere und/oder häufigere Wettergefährdungen katastrophenbedingte Verluste und Verlustschwankungen erhöhen und Herausforderungen hinsichtlich bezahlbaren Versicherungsschutzes darstellen, insbesondere in Entwicklungsländern. Internationale Dimensionen wie Handel und zwischenstaatliche Beziehungen sind für das Verständnis von Risiken des Klimawandels auf regionaler Ebene ebenfalls wichtig. (Box 3.1) {WGII 3.5, 10.2, 10.7, 10.9–10.10, 17.4–17.5, 25.7, 26.7–26.9, Box 25-7}

Mit einem Fokus auf Armut betrachtet, werden die Folgen des Klimawandels Projektionen zufolge das wirtschaftliche Wachstum verlangsamen, die Armutsbekämpfung erschweren, die Ernährungssicherheit weiter aushöhlen sowie bestehende Armutsfallen verstetigen und neue schaffen, letzteres insbesondere in städtischen Räumen und entstehenden Hunger-Hotspots (*mittleres Vertrauen*). Es wird erwartet, dass die Folgen des Klimawandels die Armut in den meisten Entwicklungsländern verstärken und neue Armutsinseln in Ländern mit zunehmender Ungleichverteilung sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern schaffen werden. (Abbildung 2.4). {WGII 8.1, 8.3–8.4, 9.3, 10.9, 13.2–13.4, 22.3, 26.8}

Es wird eine zunehmende Vertreibung von Menschen durch den Klimawandel projiziert (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Das Risiko der Vertreibung nimmt zu, wenn Bevölkerungsgruppen, denen die Ressourcen für geplante Migration fehlen, verstärkt Extremwetterereignissen ausgesetzt sind, wie Überschwemmungen und Dürren. Eine Erweiterung der Möglichkeiten zur Mobilität kann die Verwundbarkeit für solche Bevölkerungsgruppen verringern. Änderungen von Migrationsmustern können Reaktionen sowohl auf Extremwetterereignisse als auch auf langfristige Klimaschwankungen und -änderungen sein, und Migration kann auch eine effektive Anpassungsstrategie darstellen. {WGII 9.3, 12.4, 19.4, 22.3, 25.9}

Der Klimawandel kann das Risiko gewaltsamer Konflikte indirekt erhöhen, indem er gut belegte Treiber dieser Konflikte wie

Armut und wirtschaftliche Erschütterungen verstärkt (*mittleres Vertrauen*). Mehrere Belegketten bringen Klimaschwankungen mit bestimmten Konfliktformen in Verbindung. {WGII SPM, 12.5, 13.2, 19.4}

## 2.4 Klimawandel nach 2100, Irreversibilität und abrupte Änderungen

Viele Aspekte des Klimawandels und damit verbundene Folgen werden für Jahrhunderte andauern, selbst wenn anthropogene Treibhausgasemissionen gestoppt werden. Die Risiken abrupte oder irreversibler Änderungen steigen mit weiterer Erwärmung.

Die Erwärmung wird unter allen RCP-Szenarien, ausgenommen RCP2.6, über 2100 hinaus andauern. Die Oberflächentemperaturen werden nach einer vollständiger Einstellung der anthropogenen Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen für viele Jahrhunderte annähernd konstant auf erhöhten Niveaus bleiben (siehe Abschnitt 2.2.5 zum Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Emissionen und globaler Temperaturveränderung). Ein großer Anteil des auf CO<sub>2</sub>-Emissionen zurückzuführenden anthropogenen Klimawandels ist auf einer Zeitskala von mehreren Jahrhunderten bis Jahrtausenden irreversibel, außer im Falle einer großen Nettoentnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre über einen langanhaltenden Zeitraum (Abbildung 2.8a, b). {WGI SPM E.1, SPM E.8, 12.5.2}

Eine Stabilisierung der mittleren globalen Oberflächentemperatur bedeutet keine Stabilisierung aller Aspekte des Klimasystems. Verschiebungen von Biomen, die Wiederherstellung des Bodenkohlenstoff-Gleichgewichts, Eisschilde, Ozeantemperaturen und der damit verbundene Meeresspiegelanstieg haben alle eigene inhärente lange Zeitskalen, die zu anhaltenden Veränderungen für hunderte bis tausende von Jahren nach einer Stabilisierung der globalen Oberflächentemperatur führen werden. {WGI SPM E.8, 12.5.2–12.5.4, WGII 4.2}

Bei fortgesetzten CO<sub>2</sub>-Emissionen wird die Ozeanversauerung für Jahrhunderte andauern; sie wird marine Ökosysteme in hohem Maße beeinflussen (*hohes Vertrauen*) und die Folgen werden durch steigende Temperaturextreme noch verschlimmert werden (Abbildung 2.5b). {WGI 3.8.2, 6.4.4, WGII SPM B-2, 6.3.2, 6.3.5, 30.5, Box CC-OA}

Der mittlere globale Meeresspiegelanstieg wird viele Jahrhunderte über das Jahr 2100 hinaus andauern (*praktisch sicher*). Die wenigen verfügbaren Analysen, die über das Jahr 2100 hinausgehen, zeigen einen Meeresspiegelanstieg um weniger als 1 m über dem vorindustriellen Niveau bis zum Jahr 2300 für THG-Konzentrationen, die ihren Höhepunkt erreichen, abnehmen und unterhalb von 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq bleiben, wie im Szenario RCP2.6. Für einen Strahlungsantrieb, der einer CO<sub>2</sub>Äq-Konzentration im Jahr 2100 von über 700 ppm, aber unter 1.500 ppm entspricht – wie im Szenario RCP8.5 – liegt der projizierte Anstieg bei 1 m bis mehr als 3 m bis zum Jahr 2300 (*mittleres Vertrauen*) (Abbildung 2.8c). Es besteht geringes Vertrauen in die Fähigkeit der verfügbaren Modelle, einen realen Eisabfluss des Antarktischen Eisschildes zu projizieren. Diese Modelle unterschätzen

daher *wahrscheinlich* den Beitrag des Antarktischen Eisschildes, was zu einer Unterschätzung des projizierten Meeresspiegelanstiegs über 2100 hinaus führt. {WGI SPM E.8, 13.4.4, 13.5.4}

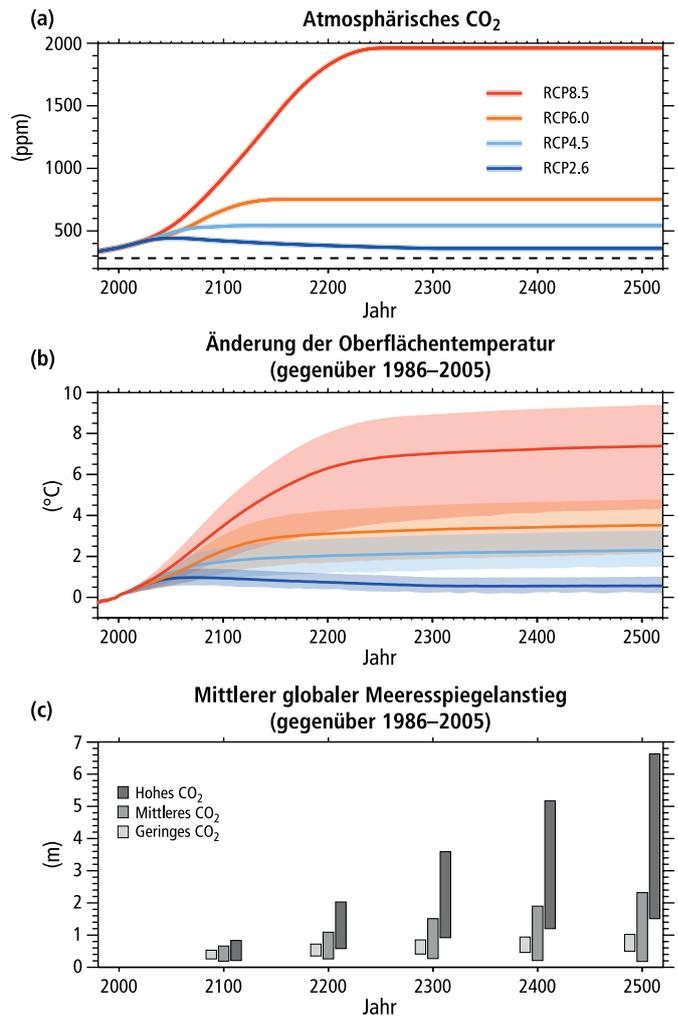
Im globalen Klimamodellen gibt es nur geringe Belege für einen Kipp-Punkt bzw. eine kritische Schwelle im Übergang von einem mehrjährig eisbedeckten zu einem saisonal eisfreien Arktischen Ozean, bei dessen Überschreitung ein weiterer Meereisverlust unaufhaltsam und irreversibel ist. {WGI 12.5.5}

Aufgrund der begrenzten Anzahl von Analysen und mehrdeutiger Ergebnisse besteht *geringes Vertrauen* in die Bewertung der Entwicklung der Atlantischen Meridionalen Umwälzbewegung über das 21. Jahrhundert hinaus. Ein Kollaps jenseits des 21. Jahrhunderts kann jedoch bei starker, lang anhaltender Erwärmung nicht ausgeschlossen werden. {WGI SPM E.4, 12.4.7, 12.5.5}

**Ein anhaltender Massenverlust von Eisschilden würde einen größeren Meeresspiegelanstieg verursachen, und ein Teil dieses Massenverlustes könnte unumkehrbar sein.** Es besteht *hohes Vertrauen*, dass eine andauernde mittlere globale Erwärmung oberhalb einer bestimmten Schwelle zu einem nahezu vollständigen Verlust des Grönländischen Eisschildes über ein Jahrtausend oder mehr führen und damit einen Meeresspiegelanstieg von bis zu 7 m verursachen würde. Aktuelle Schätzungen zeigen, dass dieser Schwellenwert größer ist als ca. 1 °C (*geringes Vertrauen*), aber kleiner als ca. 4 °C (*mittleres Vertrauen*) globaler Erwärmung gegenüber vorindustriellen Temperaturen. Abrupter und irreversibler Eisverlust durch eine potenzielle Instabilität unter der Meeresoberfläche aufliegender Sektoren des Antarktischen Eisschildes in Reaktion auf den Klimaertrieb ist möglich, die derzeitigen Belege und das gegenwärtige Verständnis reichen jedoch für eine quantitative Abschätzung nicht aus. {WGI SPM E.8, 5.6.2, 5.8.1, 13.4.3, 13.5.4}

**Innerhalb des 21. Jahrhunderts werfen Ausmaß und Geschwindigkeit des mit mittleren bis hohen Emissionsszenarien (RCP4.5, RCP6.0 und RCP8.5) verbundenen Klimawandels hohe Risiken für abrupte und irreversible Veränderungen auf regionaler Ebene in der Zusammensetzung, Struktur und Funktion von marinen, terrestrischen und Süßwasser-Ökosystemen, einschließlich Feuchtgebiete (*mittleres Vertrauen*), sowie Warmwasser-Korallenriffe (*hohes Vertrauen*) auf.** Beispiele, die den Klimawandel erheblich verstärken können, sind das arktische Boreal-Tundrasystem (*mittleres Vertrauen*) und der Amazonaswald (*geringes Vertrauen*). {WGII 4.3.3.1, Box 4.3, Box 4.4, 5.4.2.4, 6.3.1–6.3.4, 6.4.2, 30.5.3–30.5.6, Box CC-CR, Box CC-MB}

**Eine Abnahme der Permafrostausdehnung ist bei einem anhaltenden Anstieg der globalen Temperaturen *praktisch sicher*.** Es wird projiziert, dass die derzeitigen Permafrostflächen zu einem Nettoemittenten von Kohlenstoff (CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>) werden, mit einem Verlust von 180 bis 920 Gt CO<sub>2</sub> (50 bis 250 GtC) unter RCP8.5 über das 21. Jahrhundert (*geringes Vertrauen*). {WGI TFE.5, 6.4.3.4, 12.5.5, WGII 4.3.3.4}



**Abbildung 2.8 | (a)** Atmosphärisches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und **(b)** projizierter Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur, wie von Erdsystemmodellen mittlerer Komplexität (EMICs) für die vier Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP) bis 2300 (bezogen auf 1986–2005) simuliert, gefolgt von einem konstanten Strahlungsantrieb (Niveau des Jahres 2300). Es wurde eine 10-Jahres-Glättung angewendet. Die gestrichelte Linie in (a) gibt die vorindustrielle CO<sub>2</sub>-Konzentration an. **(c)** Projektionen des Meeresspiegelanstiegs, gruppiert in drei Kategorien entsprechend der Treibhausgaskonzentration (in CO<sub>2</sub>-Äq) im Jahr 2100 (gering: Konzentrationen, die ihren Höhepunkt erreichen, abnehmen und unterhalb von 500 ppm bleiben, wie im Szenario RCP2.6; mittel: 500 bis 700 ppm, wie in RCP4.5; hoch: Konzentrationen über 700 ppm, aber unterhalb von 1.500 ppm, wie in den Szenarien RCP6.0 und RCP8.5). Die Balken in (c) zeigen die höchstmögliche Streuung, die mit den wenigen verfügbaren Modellergebnissen erreicht werden kann (und sollte nicht als Unsicherheitsbereich interpretiert werden). Diese Modelle unterschätzen *wahrscheinlich* den Beitrag des Antarktischen Eisschildes, was zu einer Unterschätzung des projizierten Meeresspiegelanstiegs über das Jahr 2100 hinaus führt. {WGI Abbildung 12.43, Abbildung 13.13, Tabelle 13.8, WGII SPM B-2}





# 3

## **Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung**

## Thema 3: Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung

**Anpassung und Minderung sind komplementäre Strategien, um die Risiken des Klimawandels zu verringern und zu bewältigen. Erhebliche Emissionsminderungen über die nächsten Jahrzehnte können die Klimarisiken im 21. Jahrhundert und darüber hinaus verringern, die Aussichten für eine wirksame Anpassung verbessern, die Kosten und Herausforderungen von Minderung langfristig senken und einen Beitrag zu klimaresilienten Pfaden für eine nachhaltige Entwicklung leisten.**

Anpassung und Minderung sind zwei komplementäre Strategien, um auf den Klimawandel zu reagieren. Anpassung ist der Prozess, sich auf das tatsächliche oder erwartete Klima und dessen Auswirkungen einzustellen, um Schäden entweder zu mildern oder zu vermeiden, oder um vorteilhafte Möglichkeiten auszunutzen. Minderung ist der Prozess, Emissionen zu mindern oder Senken von Treibhausgasen (THG) zu verstärken, um den zukünftigen Klimawandel zu begrenzen\*. Sowohl Anpassung als auch Minderung können die Risiken für Folgen des Klimawandels verringern und diese bewältigen. Dennoch können durch Anpassung und Minderung sowohl andere Risiken als auch Vorteile entstehen. Strategische Reaktionen auf den Klimawandel beinhalten die Berücksichtigung klimabezogener Risiken zusammen mit den Risiken und positiven Nebeneffekten von Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen. {WGII SPM A-3, SPM C, Glossar, WGIII SPM.2, 4.1, 5.1, Glossar}

Minderung, Anpassung und Klimafolgen können alle zu Systemtransformationen und -änderungen führen. Abhängig von Geschwindigkeit und Ausmaß der Veränderung und der Verwundbarkeit und Exposition natürlicher Systeme und solcher des Menschen wird der Klimawandel Ökosysteme, Nahrungsmittelsysteme, Infrastrukturen, Küstengegenden, städtische und ländliche Räume sowie die Gesundheit des Menschen und seine Existenzgrundlagen verändern. Anpassungsreaktionen auf ein sich änderndes Klima erfordern ein Vorgehen, das von schrittweisen bis zu eher grundlegenden, transformativen Änderungen reicht<sup>34</sup>. Minderung kann grundlegende Änderungen der Art und Weise, wie Gesellschaften Energieleistungen produzieren und Land nutzen, bedeuten. {WGII B, C, TS C, Box TS.8, Glossar, WGIII SPM.4}

Thema 3 dieses Berichts untersucht die Faktoren, die die Bewertung von Minderungs- und Anpassungsstrategien beeinflussen. Es untersucht die Vorteile, Risiken, schrittweisen Veränderungen und potenziellen Transformationen unterschiedlicher Kombinationen von Minderung, Anpassung und verbleibenden klimabedingten Folgen. Es befasst sich damit, wie Reaktionen in den kommenden Jahrzehnten die Optionen, den langfristigen Klimawandel zu begrenzen, und die Möglichkeiten, sich an ihn anzupassen, beeinflussen. Schließlich berücksichtigt es Faktoren – einschließlich Unsicherheiten, ethischer Überlegungen und die Verbindung zu anderen gesellschaftlichen Zielen – die die Entscheidung über Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen beeinflussen können. Thema 4 bewertet sodann die Aussichten für Minderung und Anpassung auf der Grundlage des derzeitigen Wissens über Mittel, Optionen und politische Maßnahmen.

3

### 3.1 Grundlagen der Entscheidungsfindung zum Klimawandel

**Eine effektive Entscheidungsfindung für die Begrenzung des Klimawandels und dessen Auswirkungen kann durch eine Vielzahl analytischer Ansätze zur Bewertung erwarteter Risiken und Vorteile unterstützt werden, unter Berücksichtigung der Bedeutung von politischer Steuerung und Koordination, ethischen Dimensionen, Gleichstellung, Werturteilen, ökonomischen Bewertungen und unterschiedlichen Sichtweisen und Reaktionen auf Risiken und Unsicherheiten.**

**Nachhaltige Entwicklung und Gleichstellung bilden eine Grundlage für die Bewertung von Klimapolitik. Die Begrenzung der Auswirkungen des Klimawandels ist notwendig, um eine nachhaltige Entwicklung und Gleichstellung, einschließlich der Beseitigung von Armut, zu erreichen.** Die bisherigen und künftigen Beiträge der Länder zur Anreicherung von THG in der Atmosphäre sind unterschiedlich, und Länder sind auch mit unterschiedlichen Herausforderungen und Umständen konfrontiert und verfügen über unter-

schiedliche Fähigkeiten zum Umgang mit Minderung und Anpassung. Minderung und Anpassung werfen Fragen von Gleichstellung, Gerechtigkeit und Fairness auf und sind für das Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung und die Beseitigung von Armut notwendig. Viele derjenigen, die gegenüber dem Klimawandel am meisten verwundbar sind, tragen und tragen wenig zu den THG-Emissionen bei. Minderung zu verzögern verlagert die Lasten von der Gegenwart in die Zukunft, und unzureichende Anpassungsreaktionen auf auftretende Folgen unterhöhlen bereits jetzt die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung. Sowohl Anpassung als auch Minderung können lokale, nationale und internationale Verteilungseffekte haben, abhängig davon, wer zahlt und wer profitiert. Der Prozess der Entscheidungsfindung zum Klimawandel und der Grad, bis zu dem er die Rechte und Ansichten aller Betroffenen berücksichtigt, ist auch eine Gerechtigkeitsfrage. {WGII 2.2, 2.3, 13.3, 13.4, 17.3, 20.2, 20.5, WGIII SPM.2, 3.3, 3.10, 4.1.2, 4.2, 4.3, 4.5, 4.6, 4.8}

**Wirksame Minderung kann nicht erreicht werden, wenn einzelne Akteure ihre eigenen Interessen unabhängig voneinander verfolgen.** Der Klimawandel hat Züge eines Problems kollektiven Handelns auf globaler Ebene, da sich die meisten THG mit der Zeit ansammeln und global vermischen und sich die Emissionen eines Akteurs (z. B. Ein-

\* Anmerkung des Übersetzers: im Deutschen wird „Minderung“ auch oft als „Klimaschutz“ bezeichnet.

<sup>34</sup> Transformation bezeichnet in diesem Bericht eine Änderung in den grundlegenden Eigenschaften eines Systems (siehe Glossar). Transformationen können auf mehreren Ebenen auftreten; auf nationaler Ebene gilt eine Transformation dann als am wirksamsten, wenn sie die eigenen Visionen und Ansätze eines Landes zur Erreichung von nachhaltiger Entwicklung im Einklang mit den landesspezifischen Gegebenheiten und Prioritäten widerspiegelt. {WGII SPM C-2, 2–13, 20.5, WGIII SPM, 6–12}

zelperson, Gemeinde, Unternehmen, Land) auf andere Akteure auswirken. Daher bedarf es kooperativer Gegenmaßnahmen, einschließlich internationaler Zusammenarbeit, um THG-Emissionen wirksam zu mindern und anderen Problemen des Klimawandels zu begegnen. Die Wirksamkeit von Anpassung kann durch ein sich ergänzendes Vorgehen auf allen Ebenen, einschließlich internationaler Zusammenarbeit, verbessert werden. Es gibt Belege dafür, dass Ergebnisse, die als gerecht wahrgenommen werden, zu einer wirksameren Zusammenarbeit führen können. {WGII 20.3.1, WGIII SPM.2, TS.1, 1.2, 2.6, 3.2, 4.2, 13.2, 13.3}

**Entscheidungsfindung hinsichtlich des Klimawandels beinhaltet eine Abwägung und Vermittlung zwischen unterschiedlichen Werten und kann durch analytische Methoden verschiedener normativer Disziplinen unterstützt werden.** Die Ethik analysiert die unterschiedlichen involvierten Werte und die Beziehungen zwischen ihnen. Die politische Philosophie hat neuerdings die Frage der Verantwortung für die Auswirkungen von Emissionen untersucht. Die Ökonomie und die Entscheidungsanalyse bieten quantitative Bewertungsmethoden, die für eine Abschätzung der sozialen Kohlenstoffkosten (siehe Box 3.1), für Kosten-Nutzen-Analysen und Wirtschaftlichkeitsanalysen, für eine Optimierung integrierter Modelle und anderweitige Zwecke herangezogen werden können. Ökonomische Methoden können ethische Grundsätze reflektieren und nicht-vermarktete Waren, Gleichstellung, Verhaltenstendenzen, zusätzliche Vorteile und Kosten, sowie den unterschiedlichen Wert von Geld für verschiedene Menschen berücksichtigen. Sie unterliegen jedoch gut dokumentierten Beschränkungen. {WGII 2.2, 2.3, WGIII SPM.2, Box TS.2, 2.4, 2.5, 2.6, 3.2–3.6, 3.9.4}

**Analytische Bewertungsmethoden können keine einzelne bestmögliche Balance zwischen Minderung, Anpassung und verbleibenden Klimafolgen identifizieren.** Wichtige Gründe hierfür sind, dass der Klimawandel äußerst komplexe natürliche und soziale Prozesse beinhaltet, erhebliche Meinungsverschiedenheiten über die betroffenen Werte bestehen und die Folgen des Klimawandels sowie Minderungsansätze bedeutende Verteilungseffekte haben. Dennoch können Informationen zu den Folgen von Emissionspfaden in Richtung alternativer Klimaziele und zu Risikostufen hilfreiche Beiträge zu Entscheidungsfindungsprozessen sein. Eine Bewertung der Reaktionen auf den Klimawandel beinhaltet die Bewertung der größtmöglichen Bandbreite von Folgen, einschließlich von Ereignissen mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit aber schwerwiegenden Konsequenzen. {WGII 1.1.4, 2.3, 2.4, 17.3, 19.6, 19.7, WGIII 2.5, 2.6, 3.4, 3.7, Box 3-9}

**Eine effektive Entscheidungsfindung und ein wirksames Risikomanagement in dem komplexen Umfeld des Klimawandels können iterativ sein: Strategien können häufig angepasst werden, sobald sich während der Umsetzung neue Informationen und Erkenntnisse ergeben.** Jedoch werden kurzfristige Anpassungs- und Minderungsentscheidungen die Risiken des Klimawandels über das 21. Jahrhundert und darüber hinaus beeinflussen und die Aussichten auf klimaresiliente Pfade hin zu einer nachhaltigen Entwicklung hängen davon ab, was durch Minderung erreicht wird. Die Gelegenheiten, Vorteile aus positiven Synergien zwischen Anpassung und Minderung zu ziehen, können mit der Zeit abnehmen, insbesondere, wenn die Minderung zu lange verzögert wird. Eine Entscheidungsfindung in Bezug auf den Klimawandel wird dadurch beeinflusst, wie Menschen und Organisationen Risiken und Unsicherheiten wahrnehmen und diese berücksichtigen. Manchmal verwenden sie vereinfachte Entscheidungsregeln, über- oder unterschätzen Risiken und bevorzu-

gen den Status quo. Sie unterscheiden sich in ihrem Grad der Risikovermeidung und der relativen Bedeutung, die sie den kurzfristigen gegenüber langfristigen Auswirkungen bestimmter Maßnahmen beimessen. Formalisierte analytische Methoden für eine Entscheidungsfindung unter Unsicherheit können Risiken akkurat berücksichtigen und die Aufmerksamkeit sowohl auf kurz- als auch auf langfristige Konsequenzen richten. {WGII SPM A-3, SPM C-2, 2.1–2.4, 3.6, 14.1–14.3, 15.2–15.4, 17.1–17.3, 17.5, 20.2, 20.3, 20.6, WGIII SPM.2, 2.4, 2.5, 5.5, 16.4}

## 3.2 Durch Anpassung und Minderung verringerte Risiken des Klimawandels

**Ohne zusätzliche Minderungsbemühungen, die über heute bestehende hinausgehen, und trotz Anpassung wird die Erwärmung zum Ende des 21. Jahrhunderts zu einem hohen bis sehr hohen Risiko schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler globaler Folgen führen (hohes Vertrauen). Minderung bedingt ein gewisses Maß an positiven Nebeneffekten sowie Risiken aufgrund nachteiliger Nebeneffekte, allerdings bergen diese Risiken nicht dieselbe Möglichkeit schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler Folgen wie die Risiken des Klimawandels, womit sie die Vorteile aus kurzfristigen Minderungsbemühungen erhöhen.**

**Die Risiken, die von Klimawandel, Anpassung und Minderung ausgehen, unterscheiden sich in Art, Zeitskala, Ausmaß und Dauer (hohes Vertrauen).** Zu den durch Anpassung hervorgerufenen Risiken zählen Fehlanpassung und zusätzliche negative Folgen. Zu den durch Minderung erzeugten Risiken zählen mögliche negative Nebeneffekte aus dem großräumigen Einsatz kohlenstoffarmer Technologieoptionen und wirtschaftliche Kosten. Durch den Klimawandel erzeugte Risiken können über Jahrtausende fortdauern und können ein sehr hohes Risiko schwerer Folgen und des Vorhandenseins signifikanter Irreversibilitäten kombiniert mit begrenzter Anpassungsfähigkeit beinhalten. Im Gegensatz dazu kann die Stringenz klimapolitischer Maßnahmen viel schneller entsprechend den beobachteten Folgen und Kosten angepasst werden und die Risiken irreversibler Folgen mindern (3.3, 3.4, 4.3). {WGI SPM E.8, 12.4, 12.5.2, 13.5, WGII 4.2, 17.2, 19.6, WGIII TS.3.1.4, Tabelle TS.4, Tabelle TS.5, Tabelle TS.6, Tabelle TS.7, Tabelle TS.8, 2.5, 6.6}

**Minderung und Anpassung sind sich ergänzende Ansätze, um die Risiken von Folgen des Klimawandels zu verringern. Sie interagieren miteinander und verringern Risiken über unterschiedliche Zeitskalen (hohes Vertrauen).** Anpassungsvorteile können bereits im Umgang mit derzeitigen Risiken umgesetzt werden, und in der Zukunft können sie beim Umgang mit neu auftretenden Risiken realisiert werden. Anpassung hat das Potenzial, die Folgen des Klimawandels über die nächsten Jahrzehnte zu verringern, während Minderung relativ wenig Einfluss auf klimatische Auswirkungen über diesen Zeitraum hat. Kurz- und langfristige Minderung und Anpassung sowie Entwicklungspfade werden die Risiken des Klimawandels über die Jahrhundertmitte hinaus bestimmen. Das Anpassungspotenzial unterscheidet sich je nach Sektor und wird durch institutionelle Hemmnisse und Kapazitätsgrenzen beschränkt, was die langfristigen Vorteile

von Minderung erhöht (*hohes Vertrauen*). Der Minderungsgrad wird Geschwindigkeit und Ausmaß des Klimawandels beeinflussen, und höhere Geschwindigkeiten und größeres Ausmaß des Klimawandels erhöhen die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung von Anpassungsgrenzen (*hohes Vertrauen*) (3.3). {WGI 11.3, 12.4, WGII SPM A-3, SPM B-2, SPM C-2, 1.1.4.4, 2.5, 16.3–16.6, 17.3, 19.2, 20.2.2, 20.3, 20.6}

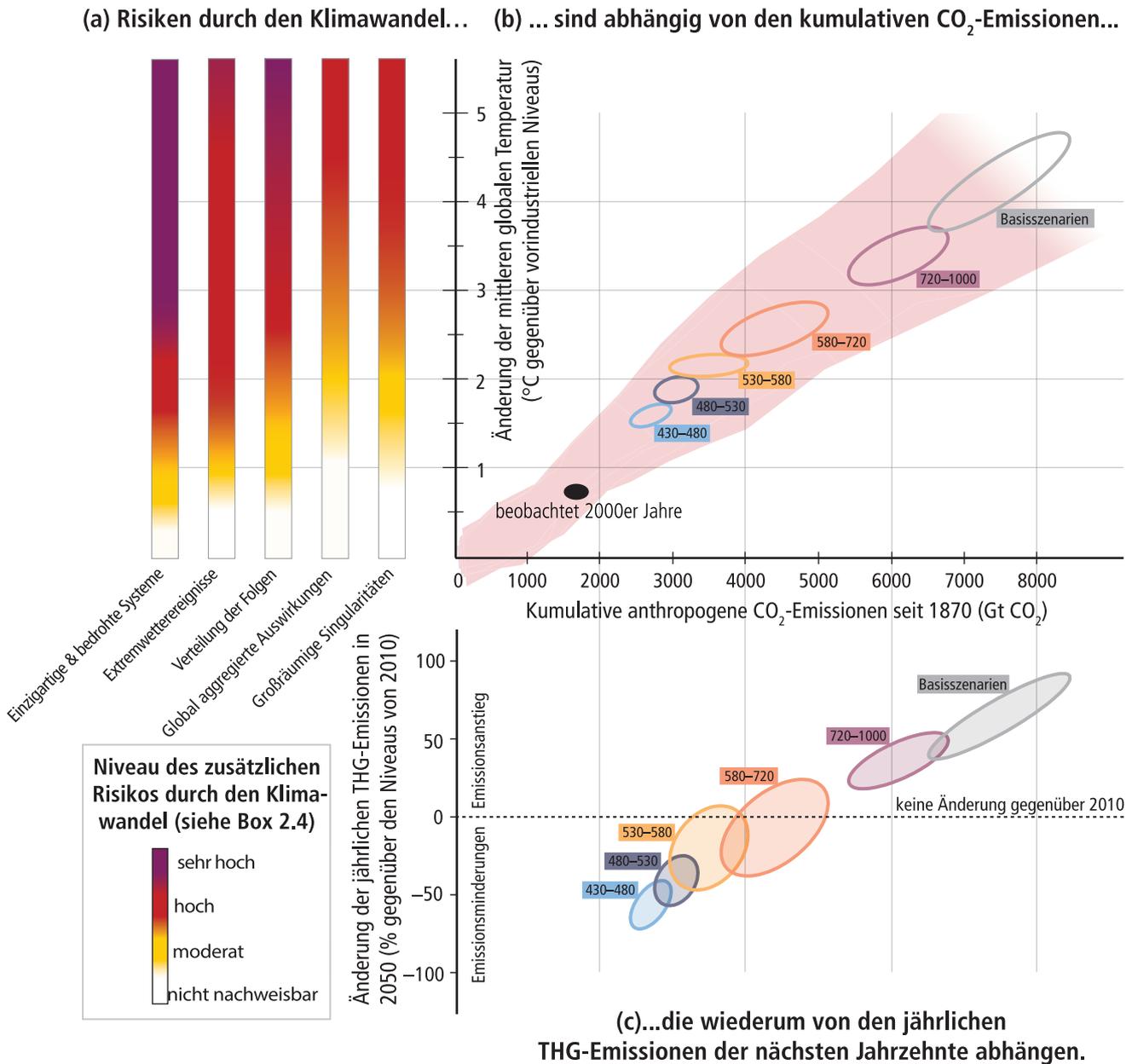
Ohne zusätzliche Minderungsbemühungen, die über heute bestehende hinausgehen, und trotz Anpassung wird die Erwärmung zum Ende des 21. Jahrhunderts zu einem hohen bis sehr hohen Risiko schwerer, weitverbreiteter und irreversibler globaler Auswirkungen führen (*hohes Vertrauen*) (Thema 2 und Abbildung 3.1a). Schätzungen für die Erwärmung im Jahr 2100 ohne zusätzliche Minderungsbemühungen reichen von 3,7 °C bis 4,8 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau (Median der Klimareaktion); der Bereich umfasst 2,5 °C bis 7,8 °C bei Verwendung des 5. bis 95. Perzentilbereichs des Medians der Klimareaktion (Abbildung 3.1). Die mit Temperaturen von 4 °C oder mehr verbundenen Risiken beinhalten schwerwiegende und weitverbreitete Folgen für einzigartige und bedrohte Systeme, ein beträchtliches Artensterben, hohe Risiken für die globale und regionale Ernährungssicherheit, sich daraus ergebende Einschränkungen alltäglicher Aktivitäten des Menschen, eine erhöhte Wahrscheinlichkeit für das Auslösen von Kipp-Punkten (kritische Schwellen) und in einigen Fällen ein begrenztes Anpassungspotenzial (*hohes Vertrauen*). Einige Risiken durch den Klimawandel, wie die Risiken für einzigartige und bedrohte Systeme und Risiken, die mit Extrem-

wetterereignissen verbunden sind, sind bei Temperaturen von 1 °C bis 2 °C über dem vorindustriellen Niveau moderat bis hoch. {WGII SPM B-1, SPM C-2, WGIII SPM.3}

Eine wesentliche Verringerung der THG-Emissionen über die nächsten Jahrzehnte kann die Risiken des Klimawandels erheblich senken, indem sie die Erwärmung in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus begrenzt (*hohes Vertrauen*). Die mittlere globale Oberflächenerwärmung wird weitgehend von kumulativen Emissionen bestimmt, die wiederum mit Emissionen über unterschiedliche Zeitskalen verbunden sind (Abbildung 3.1). Eine Begrenzung der Risiken, die mit den „Gründen zur Besorgnis“ verbunden sind, würde eine Begrenzung der kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhalten. Eine solche Begrenzung würde erfordern, dass die globalen CO<sub>2</sub>-Nettoemissionen letztendlich auf Null zurückgehen (Abbildung 3.1a, b) (*hohes Vertrauen*). Eine Verringerung der Risiken des Klimawandels durch Minderung würde beträchtliche Einschnitte in den THG-Emissionen über die nächsten Jahrzehnte beinhalten (Abbildung 3.1c). Einige Risiken durch verbleibende Schäden sind jedoch trotz Minderung und Anpassung unvermeidbar (*sehr hohes Vertrauen*). Eine Teilmenge relevanter Klimarisiken wurde unter Verwendung aggregierter wirtschaftlicher Indikatoren geschätzt. Solche wirtschaftlichen Schätzungen weisen wichtige Einschränkungen auf und sind daher eine nützliche, aber unzureichende Grundlage bei der Entscheidungsfindung über langfristige Minderungsziele (siehe Box 3.1). {WGII 19.7.1, WGIII SPM.3, Abbildung 3.1}

### Box 3.1 | Die Grenzen der ökonomischen Bewertung von Risiken des Klimawandels

Eine Teilmenge von Risiken und Folgen des Klimawandels wird oft unter Verwendung aggregierter ökonomischer Indikatoren wie dem Bruttoinlandsprodukt (BIP) oder dem aggregierten Einkommen gemessen. Schätzungen sind jedoch unvollständig und durch bedeutende konzeptionelle und empirische Begrenzungen beeinflusst. Diese unvollständigen Schätzungen der globalen jährlichen wirtschaftlichen Verluste bei Temperaturanstiegen von ~2,5 °C über dem vorindustriellen Niveau belaufen sich auf 0,2 bis 2,0 % des Einkommens (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Verluste sind eher wahrscheinlich als nicht größer als geringer als diese Bandbreite (*begrenzte Belege, hohe Übereinstimmung*). Schätzungen der schrittweisen aggregierten wirtschaftlichen Folge der Emission einer weiteren Tonne Kohlendioxid (die sozialen Kohlenstoffkosten) sind aus diesen Studien abgeleitet und liegen zwischen wenigen Dollar und mehreren hundert Dollar pro Tonne Kohlenstoff zwischen 2000 und 2015 (*belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung*). Diese Schätzungen der Folgen sind unvollständig und von einer großen Anzahl von Annahmen abhängig, von denen viele bestreitbar sind. Viele Schätzungen berücksichtigen nicht die Möglichkeit großräumiger Singularitäten und Irreversibilitäten, Kipp-Punkte und andere wichtige Faktoren, insbesondere jene, die schwer zu monetarisieren sind, wie den Verlust der biologischen Vielfalt. Schätzungen aggregierter Kosten verbergen signifikante Unterschiede in den Folgen über Sektoren, Regionen, Länder und Gemeinschaften hinweg und hängen daher von ethischen Überlegungen, insbesondere zur Aggregation von Verlusten über und innerhalb von Ländern, ab (*hohes Vertrauen*). Schätzungen der globalen aggregierten wirtschaftlichen Verluste existieren nur für begrenzte Erwärmungsniveaus. Diese Niveaus werden in Szenarien für das 21. Jahrhundert überschritten, sofern nicht zusätzliche Minderungsmaßnahmen umgesetzt werden, was zu zusätzlichen wirtschaftlichen Kosten führt. Die gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen bei unterschiedlichen Temperaturniveaus würden Minderungskosten, positive und negative Nebeneffekte der Minderung, Anpassungskosten und Klimaschäden beinhalten. Schätzungen von Minderungskosten und Klimaschäden für ein gegebenes Temperaturniveau können daher nicht miteinander verglichen werden, um die Kosten und den Nutzen der Minderung zu bewerten. Über die wirtschaftlichen Kosten einer Erwärmung um mehr als 3 °C bezogen auf das derzeitige Temperaturniveau ist nur wenig bekannt. Eine akkurate Abschätzung der Risiken des Klimawandels (und damit des Nutzens von Minderung) berücksichtigt die volle Bandbreite möglicher Folgen des Klimawandels, einschließlich jener mit schwerwiegenden Auswirkungen aber einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit. Der Nutzen von Minderung könnte andernfalls unterschätzt werden (*hohes Vertrauen*). Einige Beschränkungen der derzeitigen Schätzungen können trotz zusätzlicher Erkenntnisse unvermeidbar sein, wie beispielsweise Probleme mit der Aggregation von Folgen über die Zeit und Individuen, wenn Werte heterogen sind. Angesichts dieser Beschränkungen liegt es außerhalb des Bereichs der Wissenschaft, ein einzelnes bestmögliches Klimaziel und eine entsprechende Klimapolitik zu bestimmen. (3.1, 3.4). {WGII SPM B-2, 10.9.2, 10.9.4, 13.2, 17.2–17.3, 18.4, 19.6, WGIII 3.6}



**Abbildung 3.1** | Die Beziehung zwischen Risiken durch den Klimawandel, Temperaturänderung, kumulativen Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen und Veränderungen der jährlichen Treibhausgas (THG)-Emissionen bis 2050. Die Begrenzung der Risiken hinsichtlich aller „Gründe zur Besorgnis“ (a) würde eine Begrenzung der kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen implizieren (b), was die jährlichen THG-Emissionen über die nächsten Jahrzehnte beschränken würde (c). **Tafel a** zeigt die fünf „Gründe zur Besorgnis“ (Box 2.4). **Tafel b** verknüpft Temperaturänderungen mit den kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen (in Gt CO<sub>2</sub>) seit 1870. Diese basieren auf Simulationen des Gekoppelten Modellvergleichsprojekts Phase 5 (CMIP5) (rosa Fläche) und auf einem einfachen Klimamodell (Median der Klimareaktion in 2100) für Basisszenarien und fünf Kategorien an Minderungsszenarien (sechs Ellipsen). Einzelheiten sind in Abbildung 2.3 angegeben. **Tafel c** zeigt die Beziehung zwischen den kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen (in Gt CO<sub>2</sub>) der Szenariokategorien und der damit verbundenen Änderung der jährlichen THG-Emissionen bis 2050, ausgedrückt in prozentualer Veränderung (in Prozent Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr), bezogen auf 2010. Die Ellipsen entsprechen denselben Szenariokategorien wie in Tafel b und wurden mit einer vergleichbaren Methode erstellt (siehe Einzelheiten in Abbildung 2.3).

**Minderung beinhaltet ein gewisses Maß an positiven Nebenefekten sowie Risiken, allerdings beinhalten diese Risiken nicht dieselbe Möglichkeit schwerwiegender, weitverbreiteter und irreversibler Folgen wie die Risiken durch den Klimawandel (hohes Vertrauen).** Szenarien, die eine Erwärmung *wahrscheinlich* auf unter 2 °C oder sogar 3 °C gegenüber vorindustriellen Temperaturen begrenzen, beinhalten umfangreiche Veränderungen in den Energiesystemen und möglicherweise der Landnutzung über die kommenden Jahrzehnte (3.4). Zu den damit verbundenen Risiken gehören diejenigen, die mit einem großflächigen Einsatz von Technologieoptionen für die Produktion kohlenstoffarmer Energie verbunden sind, das Potenzial für

hohe aggregierte ökonomische Minderungskosten, sowie Folgen für verwundbare Länder und Industrien. Andere Risiken und positive Nebenefekte sind verbunden mit der Gesundheit des Menschen, Ernährungssicherheit, Energiesicherheit, Armutsbekämpfung, Erhalt der biologischen Vielfalt, Wasserverfügbarkeit, Einkommensverteilung, der Effizienz von Steuerungssystemen, dem Angebot an Arbeitskräften und Beschäftigung, Zersiedelung, Erträgen aus dem Export fossiler Brennstoffe und dem Wirtschaftswachstum von Entwicklungsländern (Tabelle 4.5). {WGIII SPM.4.1, SPM.4.2, TS.3.1.4, Tabelle TS.4, Tabelle TS.5, Tabelle TS.6, Tabelle TS.7, Tabelle TS.8, 6.6}

Die Trägheit sowohl im Wirtschafts- als auch im Klimasystem sowie die Möglichkeit irreversibler Folgen durch den Klimawandel erhöhen die Vorteile kurzfristiger Minderungsmaßnahmen (*hohes Vertrauen*). Die heute ergriffenen Maßnahmen beeinflussen die zukünftig verfügbaren Optionen für die Minderung von Emissionen, die Begrenzung von Temperaturänderungen und die Anpassung an den Klimawandel. Kurzfristige Entscheidungen können wichtige Elemente von Lock-In-Effekten, die für eine Entscheidungsfindung von Bedeutung sind, schaffen, verstärken oder begrenzen. Lock-In-Effekte und Irreversibilitäten treten im Klimasystem aufgrund der hohen Trägheit einiger seiner Komponenten auf, so wie beispielsweise die Wärmeübertragung von der Ozeanoberfläche in die Tiefe unabhängig vom Emissionsszenario zu einer anhaltenden Ozeanerwärmung über Jahrhunderte führt und ein Großteil des anthropogenen Klimawandels irreversibel ist, sofern nicht CO<sub>2</sub> in großem Maßstab durch Eingreifen des Menschen über einen längeren Zeitraum aus der Atmosphäre entfernt wird, da über mehrere Jahrhunderte bis zu einem Jahrtausend hinweg CO<sub>2</sub> emittiert wurde (siehe auch Box 3.3). Aus Infrastrukturentwicklung und langlebigen Produkten sowie aus den Folgen des Klimawandels entstehen auch Irreversibilitäten in sozioökonomischen und biologischen Systemen, wie das Artensterben. Das größere Potenzial für Irreversibilitäten und weitverbreitete Folgen durch Risiken, die vom Klimawandel ausgehen, gegenüber den Minderungsrisiken erhöht den Nutzen kurzfristiger Minderungsmaßnahmen. Verzögerte zusätzliche Minderung oder Einschränkungen technologischer Möglichkeiten begrenzen die Minderungsoptionen und erhöhen die langfristigen Minderungskosten sowie andere Risiken, die mittel- bis langfristig auftreten würden, um die Folgen des Klimawandels auf einem bestimmten Niveau zu halten (Tabelle WGIII SPM.2, blaues Segment). {WGI SPM E-8, WGII SPM B-2, 2.1, 19.7, 20.3, Box 20-4, WGIII SPM.4.1, SPM.4.2.1, 3.6, 6.4, 6.6, 6.9}

### 3.3 Eigenschaften von Anpassungspfaden

Anpassung kann die Risiken von Folgen des Klimawandels verringern, allerdings ist ihre Wirksamkeit begrenzt, insbesondere bei größerem Ausmaß und höherer Geschwindigkeit des Klimawandels. Die Wahl einer längerfristigen Perspektive – im Kontext nachhaltiger Entwicklung – erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass eher zeitnahe Anpassungsmaßnahmen auch zukünftige Handlungsoptionen und Vorsorge verbessert werden.

Anpassung kann jetzt und in der Zukunft zum Wohlergehen derzeitiger und zukünftiger Bevölkerungen, der Vermögenssicherung und der Erhaltung von Ökosystemgütern, -funktionen und -dienstleistungen beitragen. Anpassung ist orts- und kontextspezifisch, und es existiert kein einzelner Ansatz, der gleichermaßen unter allen Bedingungen zur Risikominderung geeignet ist (*hohes Vertrauen*). Wirksame Strategien zur Risikominderung und Anpassung berücksichtigen Verwundbarkeit und Exposition und deren Verknüpfung mit sozioökonomischen Prozessen, nachhaltiger Entwicklung und Klimawandel. Die Anpassungsforschung hat sich seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) von einer überwiegenden Betrachtung technischer und technologischer Anpassungspfade hin zur Einbeziehung von mehr ökosystembasierten, institutionellen und soziale Maßnahmen entwickelt. Ein früherer Fokus auf

Kosten-Nutzen-Analysen, Optimierungs- und Effizienzansätze wurde durch die Entwicklung multimetrischer Evaluierungen erweitert, die eine Integration von Risiko- und Unsicherheitsdimensionen in breitere politische und ethische Bezugssysteme beinhalten, um Zielkonflikte und Hemmnisse zu bewerten. Die Bandbreite spezifischer Anpassungsmaßnahmen hat sich ebenfalls erweitert (4.2, 4.4.2.1), wie auch die Verbindungen zu nachhaltiger Entwicklung (3.5). Es existieren viele Studien zu lokalen und sektoralen Anpassungskosten und -vorteilen, jedoch nur wenige globale Analysen, und in deren Ergebnisse besteht ein *sehr geringes Vertrauen*. {WGII SPM C-1, Tabelle SPM.1, 14.1, 14.ES, 15.2, 15.5, 17.2, 17.ES}

Anpassungsplanung und -umsetzung auf allen Entscheidungsebenen hängen von gesellschaftlichen Werten, Zielen und Risikowahrnehmung ab (*hohes Vertrauen*). Die Anerkennung unterschiedlicher Interessen, Umstände, soziokultureller Zusammenhänge und Erwartungen kann Entscheidungsfindungsprozesse begünstigen. Indigene, lokale und traditionelle Wissenssysteme und Praktiken, einschließlich der ganzheitlichen Sicht indigener Völker auf Gesellschaft und Umwelt, sind eine wesentliche Ressource für die Anpassung an den Klimawandel, aber diese wurden bei den bestehenden Anpassungsmaßnahmen nicht konsequent genutzt. Die Einbindung solcher Wissensformen in Praktiken erhöht die Wirksamkeit von Anpassung ebenso wie eine effektive Entscheidungsunterstützung, Engagement und politische Prozesse (4.4.2). {WGII SPM C-1}

Anpassungsplanung und -umsetzung können durch ein komplementäres Vorgehen auf allen Ebenen, von Einzelpersonen bis hin zu Regierungen, gefördert werden (*hohes Vertrauen*). Nationale Regierungen können die Anpassungsmaßnahmen lokaler und subnationaler Regierungen koordinieren, indem sie beispielsweise verwundbare Gruppen schützen, die wirtschaftliche Diversifikation unterstützen, Informationen zur Verfügung stellen, politische und gesetzliche Rahmenbedingungen schaffen und finanzielle Unterstützung bieten (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Lokale Regierungen und der Privatsektor werden aufgrund ihrer Rolle bei der Ausweitung von Anpassung in Gemeinden, Haushalten und der Zivilgesellschaft und beim Management von Risikoinformation und Finanzierung zunehmend als entscheidend für den Fortschritt von Anpassung erkannt (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {WGII SPM C-1}

Ein erster Schritt in Richtung Anpassung an den zukünftigen Klimawandel besteht in der Verringerung von Verwundbarkeit und Exposition gegenüber derzeitigen Klimaschwankungen (*hohes Vertrauen*), einige kurzfristige Reaktionen auf den Klimawandel können jedoch auch zukünftige Handlungsoptionen einschränken. Die Einbindung von Anpassung in Planungsprozesse, einschließlich Politikgestaltung, und Entscheidungsfindung kann Synergien mit Entwicklung und Katastrophenvorsorge fördern. Allerdings können schlechte Planung oder Umsetzung, die Überbetonung kurzfristiger Ergebnisse oder unzureichende Berücksichtigung von Konsequenzen zu Fehlanpassung führen, was die zukünftige Verwundbarkeit und Exposition der Zielgruppe bzw. die Verwundbarkeit anderer Menschen, Orte oder Sektoren erhöht (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). So kann beispielsweise der verbesserte Schutz exponierter Vermögenswerte zu einer Abhängigkeit von weiteren Schutzmaßnahmen führen. Geeignete Anpassungsmaßnahmen können besser durch die Einbindung positiver Nebeneffekte und Minderungsimplicationen bewertet werden (3.5 und 4.2). {WGII SPM C-1}

**Die Wechselwirkung zahlreicher Einschränkungen kann die Planung und die Umsetzung von Anpassung erschweren (*hohes Vertrauen*).** Übliche Einschränkungen für die Umsetzung entstehen aus begrenzten finanziellen und personellen Ressourcen, begrenzter Einbindung bzw. Koordinierung von politischer Steuerung, Unsicherheiten hinsichtlich projizierter Folgen, unterschiedlicher Wahrnehmung von Risiken, konkurrierenden Werten, dem Fehlen von entscheidenden Führungspersönlichkeiten und Verfechtern der Anpassung sowie begrenzten Mitteln zur Überwachung der Wirksamkeit der Anpassung. Weitere Einschränkungen sind unzureichende Forschung, Überwachung und Beobachtung, sowie die finanziellen und sonstigen Ressourcen, um diese zu erhalten. Wird die Komplexität von Anpassung als sozialem Prozess unterschätzt, kann dies unrealistische Erwartungen hinsichtlich der Erreichung von beabsichtigten Anpassungsergebnissen hervorrufen (siehe Abschnitt 4.1 und 4.2 zu Einzelheiten bezogen auf eine Umsetzung). *{WGII SPM C-1}*

**Höhere Geschwindigkeiten und ein größeres Ausmaß des Klimawandels erhöhen die Wahrscheinlichkeit, Anpassungsgrenzen zu überschreiten (*hohes Vertrauen*).** Grenzen der Anpassung treten auf, wenn Anpassungsmaßnahmen nicht möglich oder gegenwärtig nicht verfügbar sind, um für die Ziele eines Betroffenen oder die Bedürfnisse eines Systems untragbare Risiken zu vermeiden. Wertbasierte Beurteilungen dahingehend, was ein untragbares Risiko darstellt, können sich unterscheiden. Grenzen der Anpassung ergeben sich aus der Wechselwirkung zwischen dem Klimawandel und biophysikalischen und/oder sozioökonomischen Einschränkungen. Die Möglichkeiten, Vorteile aus positiven Synergien zwischen Anpassung und Minderung zu ziehen, können mit der Zeit abnehmen, insbesondere, wenn die Grenzen der Anpassung überschritten werden. In einigen Teilen der Welt zerstören unzureichende Maßnahmen gegen neu auftretende Folgen bereits jetzt die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung. Für die meisten Regionen und Sektoren sind empirische Belege nicht ausreichend, um die Ausmaße des Klimawandels zu quantifizieren, die eine zukünftige Anpassungsgrenze darstellen würden. Darüber hinaus können sich wirtschaftliche Entwicklung, Technologien und kulturelle Normen und Werte über die Zeit wandeln und so die Systemkapazitäten zur Vermeidung von Grenzen erhöhen oder verringern. Folglich sind einige Grenzen „weich“, dahingehend, dass sie über die Zeit abgeschwächt werden können. Andere Grenzen sind „hart“ dahingehend, dass keine vernünftigen Aussichten für eine Vermeidung untragbarer Risiken bestehen. *{WGII SPM C-2, TS}*

**Transformationen in wirtschaftlichen, sozialen, technologischen und politischen Entscheidungen und Handlungen können die Anpassung verbessern und eine nachhaltige Entwicklung fördern (*hohes Vertrauen*).** Eine Beschränkung von Anpassungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel auf schrittweise Veränderungen bestehender Systeme und Strukturen, ohne transformative Veränderung zu berücksichtigen, kann zu steigenden Kosten und Verlusten sowie verpassten Chancen führen. So kann zum Beispiel eine Verbesserung der Infrastruktur zum Schutz anderer Gebäude teuer sein und letztlich höhere Kosten und Risiken nicht decken, während Optionen wie Umsiedlungen oder die Nutzung von Ökosystemdienstleistungen zur Anpassung jetzt und in der Zukunft eine Reihe von Vorteilen bieten können. Eine transformative Anpassung kann die Einführung neuer Technologien bzw. Praktiken, die Bildung neuer Finanzstrukturen oder Regierungssysteme, eine Anpassung in größerem Umfang oder Ausmaß oder Standortverschiebungen von Aktivitäten beinhalten.

Die Planung und Umsetzung einer transformativen Anpassung könnte gestärkte, veränderte oder angegliche Paradigmen zum Ausdruck bringen und kann in der Folge neue und höhere Anforderungen an die Strukturen politischer Steuerung richten, um unterschiedliche Ziele und Visionen für die Zukunft abzustimmen und möglichen Auswirkungen auf Gleichstellung und Ethik zu begegnen; transformative Anpassungspfade werden durch iteratives Lernen, Beratungsprozesse und Innovation verbessert. Auf nationaler Ebene gilt eine Transformation dann als am wirksamsten, wenn sie die eigenen Visionen und Ansätze eines Landes zum Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung im Einklang mit den landesspezifischen Gegebenheiten und Prioritäten widerspiegelt. *{WGII SPM C-2, 1.1, 2.5, 5.5, 8.4, 14.1, 14.3, 16.2-7, 20.3.3, 20.5, 25.10, Tabelle 14-4, Tabelle 16-3, Box 16.1, Box 16.4, Box 25.1}*

**Der Aufbau von Anpassungskapazität ist für die effektive Wahl und Umsetzung von Anpassungsoptionen entscheidend (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*).** Eine erfolgreiche Anpassung erfordert nicht nur die Identifizierung von Anpassungsoptionen und die Bewertung von deren Kosten und Nutzen, sondern auch eine Verbesserung der Anpassungskapazität natürlicher Systeme und solcher des Menschen (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Dies kann komplexe Herausforderungen hinsichtlich politischer Steuerung und neue Institutionen und institutionelle Regelungen enthalten. (4.2) *{WGII 8.1, 12.3, 14.1-3, 16.2, 16.3, 16.5, 16.8}*

**Zwischen Minderung und Anpassung sowie zwischen alternativen Anpassungsmaßnahmen bestehen signifikante positive Nebeneffekte, Synergien und Zielkonflikte; Wechselwirkungen treten sowohl innerhalb von Regionen als auch regionenübergreifend auf (*sehr hohes Vertrauen*).** Zunehmende Anstrengungen bezüglich Minderung und Anpassung an den Klimawandel bringen steigende Komplexität von Wechselwirkungen mit sich, insbesondere an den Schnittpunkten von Wasser, Energie, Landnutzung und Biodiversität. Dabei bleiben allerdings die Instrumente zum Verständnis und für den Umgang mit diesen Wechselwirkungen begrenzt. Beispiele für Maßnahmen mit positiven Nebeneffekten sind (i) verbesserte Energieeffizienz und saubere Energiequellen, was zu verringerten Emissionen gesundheitsschädlicher und klimaverändernder Luftschadstoffe führt; (ii) verringerter Energie- und Wasserverbrauch in städtischen Räumen durch eine Begrünung von Städten und Wasserwiederaufbereitung; (iii) nachhaltige Land- und Forstwirtschaft; und (iv) Schutz von Ökosystemen für die Kohlenstoffspeicherung und andere Ökosystemdienstleistungen. *{WGII SPM C-1}*

### 3.4 Eigenschaften von Minderungspfaden

Es gibt mehrere Minderungspfade, die eine Erwärmung **wahrscheinlich unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau halten**. Diese Pfade würden erhebliche Emissionsminderungen über die nächsten Jahrzehnte und Emissionen nahe Null bis zum Ende des Jahrhunderts von CO<sub>2</sub> und anderen langlebigen Treibhausgasen erfordern. Die Durchführung solcher Minderungen bedeutet erhebliche technologische, wirtschaftliche, soziale und institutionelle Herausforderungen, die noch zunehmen, falls zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen verzögert werden und Schlüsseltechnologien nicht verfügbar sind. Eine Begrenzung der Erwärmung auf niedrigere oder höhere Niveaus ist mit ähnlichen Herausforderungen verbunden, jedoch über unterschiedlichen Zeitskalen hinweg.

Ohne zusätzliche Anstrengungen zur Verringerung der THG-Emissionen, die über heute bestehende hinausgehen, ist ein weiterer Anstieg der globalen Emissionen aufgrund des Wachstums der Weltbevölkerung und der wirtschaftlichen Aktivitäten zu erwarten (*hohes Vertrauen*) (Abbildung 3.2). Globale THG-Emissionen in den meisten Szenarien ohne zusätzliche Minderung (Basisszenarien) liegen zwischen etwa 75 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr und fast 140 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr im Jahr 2100<sup>35</sup>, was ungefähr zwischen den Emissionsniveaus von 2100 der RCP6.0- und RCP8.5-Pfade liegt (Abbildung 3.2)<sup>36</sup>. Basisszenarien überschreiten 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq um 2030 und erreichen CO<sub>2</sub>Äq-Konzentrationsniveaus zwischen etwa 750 ppm CO<sub>2</sub>Äq und mehr als 1300 ppm CO<sub>2</sub>Äq um 2100. Die Anstiege der mittleren globalen Oberflächentemperatur im Jahr 2100 reichen von etwa 3,7 °C bis 4,8 °C über dem Durchschnitt von 1850–1900 für den Median der Klimareaktion. Sie reichen von 2,5 °C bis 7,8 °C, wenn Klimaunsicherheiten (Bereich des 5. bis 95. Perzentils)<sup>37</sup> einbezogen werden. Die Zukunftsszenarien berücksichtigen keine möglichen Änderungen der natürlichen Antriebe im Klimasystem (siehe Box 1.1). {WGIII SPM.3, SPM.4.1, TS.2.2, TS.3.1, 6.3, Box TS.6}

Viele unterschiedliche Kombinationen von Technologie-, Verhaltens- und politischen Optionen können verwendet werden, um Emissionen zu reduzieren und eine Temperaturveränderung zu begrenzen (*hohes Vertrauen*). Um mögliche Pfade zu langfristigen Klimazielen zu bewerten, wurden für diesen Bericht ca. 900

Minderungsszenarien herangezogen, von denen jedes unterschiedliche technologische, sozioökonomische und institutionelle Veränderungen beschreibt. Emissionsminderungen in diesen Szenarien führen zu Konzentrationen im Jahr 2100 von 430 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis über 720 ppm CO<sub>2</sub>Äq, was mit den Strahlungsantriebsniveaus für das Jahr 2100 zwischen RCP2.6 und RCP6.0 vergleichbar ist. Szenarien mit Konzentrationsniveaus unterhalb von 430 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis 2100 wurden ebenfalls bewertet. {WGIII SPM.4.1, TS3.1, 6.1, 6.2, 6.3, Anhang II}

Szenarien, die zu CO<sub>2</sub>Äq-Konzentrationen im Jahr 2100 von etwa 450 ppm oder weniger führen, beschränken die Erwärmung über das 21. Jahrhundert **wahrscheinlich auf weniger als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau (hohes Vertrauen)**. Minderungsszenarien, die Konzentrationsniveaus von etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 erreichen, begrenzen *eher wahrscheinlich als nicht* die Erwärmung auf weniger als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen, sofern nicht vorübergehend Konzentrationsniveaus von ungefähr 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq vor dem Jahr 2100 überschreiten. In einem solchen Fall wäre es *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*, dass die Erwärmung unterhalb von 2 °C bezogen auf das vorindustrielle Niveau bleibt. Für Szenarien, die ca. 650 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 übersteigen, ist es *unwahrscheinlich*, die Erwärmung auf weniger als 2 °C bezogen auf das vorindustrielle Niveau zu begrenzen. Minderungsszenarien, in denen eine Erwärmung bis zum Jahr 2100 *eher wahrscheinlich als nicht* weniger als 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau beträgt, sind durch Konzentrationen von unter 430 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 gekennzeichnet. In diesen Szenarien erreicht die Temperatur während des Jahrhunderts ihren Höhepunkt und geht in der Folge zurück (Tabelle 3.1). {WGIII SPM.4.1, Tabelle SPM.1, TS.3.1, Box TS.6, 6.3}

Minderungsszenarien, die etwa 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 erreichen (entsprechend einer **wahrscheinlichen Chance**, die Erwärmung unterhalb von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten), beinhalten typischerweise ein temporäres Überschreiten<sup>38</sup> der atmosphärischen Konzentrationen, ebenso wie viele Szenarien, die etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis etwa 550 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 erreichen (Tabelle 3.1). Abhängig vom Grad der Überschreitung stützen sich Überschreitungs-szenarien typischerweise auf die Verfügbarkeit und den verbreiteten Einsatz von Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS) und Aufforstung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts (*hohes Vertrauen*). Ob und in welchem Umfang diese und andere CDR (Carbon Dioxide Removal)-Technologien und -Methoden verfügbar sind, ist ungewiss, und CDR-Technologien und -Methoden sind – in unterschiedlichem Maß – mit Herausforderungen und Risiken verbunden (siehe Box 3.3)<sup>39</sup>. CDR ist auch in vielen Szenarien

<sup>35</sup> Sofern nicht anderweitig angegeben, bezieht sich die in Thema 3 und Thema 4 zitierte Bandbreite der Szenarien auf den Bereich der 10. bis 90. Perzentile (siehe Tabelle 3.1).

<sup>36</sup> Zu einer Diskussion über CO<sub>2</sub>-Äquivalente (CO<sub>2</sub>Äq)-Emissionen und -Konzentrationen, siehe Box 3.2 zu THG-Metriken und Minderungspfaden sowie das Glossar.

<sup>37</sup> Der hier angegebene Bereich beruht auf den Erwärmungsergebnissen eines einfachen Klimamodells für die Emissionen von etwa 300 Referenzszenarien, ausgedrückt im Vergleich zum Zeitraum 1850–1900. Die in Abschnitt 2.2 angegebenen Erwärmungsergebnisse werden durch vorgeschriebene zukünftige THG-Konzentrationen in den CMIP5-Erdsystemmodellen erzielt. Dies führt zu einer mittleren Erwärmung von 1,0 °C (5. bis 95. Perzentilbereich: 0,3 °C bis 1,7 °C) für RCP2.6 und einer mittleren Erwärmung von 3,7 °C (2,6 °C bis 4,8 °C) für RCP8.5, bezogen auf den Zeitraum 1986–2005. Für dieselben Konzentrationsgetriebenen Versuche zeigt der Ansatz des einfachen Klimamodells konsistente Ergebnisse. Der Median der Erwärmung beträgt 0,9 °C (0,5 °C bis 1,6 °C) für RCP2.6 und 3,7 °C (2,5 °C bis 5,9 °C) für RCP8.5, bezogen auf den Zeitraum 1986–2005. Das obere Ende des CMIP5-Erdsystemmodellbereichs ist jedoch begrenzter. Außerdem ist der hier angegebene Anstieg der Referenztemperatur breiter als in den oben genannten Konzentrationsgetriebenen RCP8.5-Versuchen, da er auf einem breiteren Szenariensatz beruht, Unsicherheiten zur Reaktion des Kohlenstoffkreislaufs beinhaltet und ein anderes Referenzjahr verwendet (2.2, 3.4).

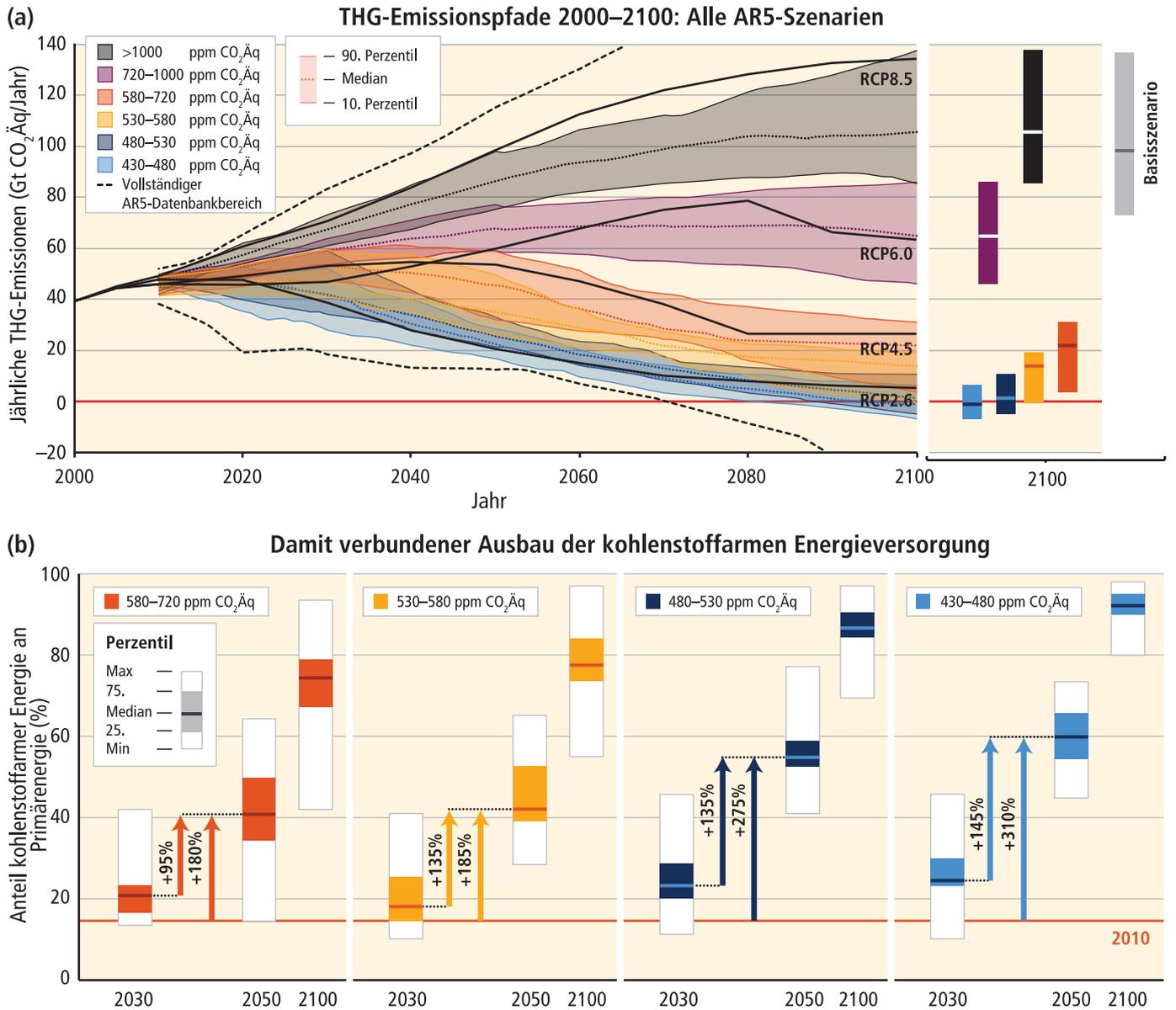
<sup>38</sup> In „Konzentrations-Überschreitungs-Szenarien“ erreichen die Konzentrationen ihren Höhepunkt während des Jahrhunderts und gehen danach zurück.

<sup>39</sup> Das Potenzial für CDR-Methoden weist auf globaler Ebene biogeochemische und technologische Grenzen auf. Das gegenwärtige Wissen reicht nicht aus, um die Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen zu quantifizieren, die im Laufe eines Jahrhunderts durch CDR teilweise kompensiert werden könnte. CDR-Methoden können Nebenwirkungen und langfristige Konsequenzen auf globaler Ebene mit sich bringen.

ohne Überschreitung verbreitet, um verbleibende Emissionen aus Sektoren zu kompensieren, für die Minderung teurer ist. {WGIII SPM.4.1, Tabelle SPM.1, TS.3.1, 6.3, 6.9.1, Abbildung 6.7, 7.11, 11.13}

Die **wahrscheinliche Chance einer Begrenzung der Erwärmung auf weniger als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau würde erhebliche Einschnitte in den anthropogenen THG-Emissionen bis zur Jahrhundertmitte durch umfassende Veränderungen in den Energiesystemen und möglicherweise der Landnutzung erfordern. Eine Begrenzung der Erwärmung auf höhere**

**Niveaus würde vergleichbare Änderungen erfordern, allerdings weniger schnell. Eine Begrenzung der Erwärmung auf niedrigere Niveaus würde diese Veränderungen schneller erfordern (hohes Vertrauen).** Szenarien, die eine Erwärmung **wahrscheinlich** unterhalb von 2 °C halten können, zeichnen sich durch eine Verringerung der THG-Emissionen um 40 bis 70 % bis zum Jahr 2050, bezogen auf die Niveaus im Jahr 2010<sup>40</sup>, sowie Emissionsniveaus nahe Null oder darunter im Jahr 2100 aus (Abbildung 3.2, Tabelle 3.1). Szenarien mit höheren Emissionen in 2050 sind durch eine größere Abhängigkeit von CDR-Technologien über die Jahrhundertmitte hinaus gekennzeichnet



**Abbildung 3.2 |** Globale Treibhausgasemissionen (Gigatonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro Jahr, Gt CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr) in Basis- und Minderungsszenarien für unterschiedliche langfristige Konzentrationsniveaus (a) und damit verbundener notwendiger Ausbau kohlenstoffarmer Energie (in % der Primärenergie) für 2030, 2050 und 2100, verglichen mit den Niveaus für 2010 in Minderungsszenarien (b). {WGIII SPM.4, Abbildung 6.7, Abbildung 7.16} [Anmerkung: CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen beinhalten die Gruppe der Kyoto-Gase (Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) sowie F-Gase), berechnet auf der Grundlage der Werte des auf 100 Jahre bezogenen Globalen Erwärmungspotenzials (GWP<sub>100</sub>) aus dem Zweiten Sachstandsbericht].

<sup>40</sup> Diese Bandbreite unterscheidet sich von der für eine vergleichbare Konzentrationskategorie im AR4 angegebenen (50 bis 85 % geringer als 2000 für CO<sub>2</sub> allein). Gründe für diese Differenz sind unter anderem, dass dieser Bericht eine wesentlich größere Anzahl von Szenarien als der AR4 bewertet hat und dass alle THG betrachtet werden. Darüber hinaus beinhaltet ein großer Teil der neuen Szenarien CDR-Technologien. Weitere Faktoren sind die Verwendung von Konzentrationsniveaus im Jahr 2100 anstelle von Stabilisierungsniveaus und die Verschiebung des Referenzjahres von 2000 auf 2010. Szenarien mit höheren Emissionen im Jahr 2050 zeichnen sich durch eine größere Abhängigkeit von CDR-Technologien über die Jahrhundertmitte hinaus aus.

Tabelle 3.1 | Wichtigste Eigenschaften der für WGIII im AR5 erfassten und bewerteten Szenarien. Für alle Parameter ist das 10. bis 90. Perzentil der Szenarien angegeben<sup>a</sup>.

CO <sub>2</sub> -Äq-Konzentrationen in 2100 (ppm CO <sub>2</sub> -Äq) <sup>f</sup> Kategorie-kennzeichnung (Konzentrationsbereich)	Unterkategorien	Relative Einordnung der RCP <sup>d</sup>	Änderung der CO <sub>2</sub> -Äq-Emissionen gegenüber 2010 (in %) <sup>c</sup>		Wahrscheinlichkeit dafür, im Verlauf des 21. Jahrhunderts unterhalb eines bestimmten Temperaturniveaus zu bleiben (bezogen auf 1850–1900) <sup>d, e</sup>			
			2050	2100	1,5 °C	2 °C	3 °C	4 °C
<430	Nur eine begrenzte Anzahl individueller Modellstudien hat das Niveau unter 430 ppm CO <sub>2</sub> -Äq untersucht <sup>j</sup>							
450 (430 bis 480)	Gesamtbereich <sup>a, g</sup>	RCP2.6	-72 bis -41	-118 bis -78	Eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Wahrscheinlich	Wahrscheinlich
500 (480 bis 530)	Kein Überschreiten von 530 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-57 bis -42	-107 bis -73	Unwahrscheinlich	Eher wahrscheinlich als nicht		
	Überschreiten von 530 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-55 bis -25	-114 bis -90		Etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht		
550 (530 to 580)	Kein Überschreiten von 580 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-47 bis -19	-81 bis -59	Unwahrscheinlich	Eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich <sup>i</sup>	Wahrscheinlich	Wahrscheinlich
	Überschreiten von 580 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		-16 bis 7	-183 bis -86				
(580 bis 650)	Gesamtbereich	RCP4.5	-38 bis 24	-134 bis -50	Unwahrscheinlich	Unwahrscheinlich	Eher wahrscheinlich als nicht	Wahrscheinlich
(650 bis 720)	Gesamtbereich		-11 bis 17	-54 bis -21				
(720 bis 1000) <sup>b</sup>	Gesamtbereich	RCP6.0	18 bis 54	-7 bis 72	Unwahrscheinlich <sup>h</sup>	Unwahrscheinlich <sup>h</sup>	Eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich	Wahrscheinlich
>1000 <sup>b</sup>	Gesamtbereich	RCP8.5	52 bis 95	74 bis 178			Unwahrscheinlich	

Anmerkungen:

<sup>a</sup> Der "Gesamtbereich" der 430 bis 480 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Szenarien entspricht der Bandbreite des 10. bis 90. Perzentsils der in Tabelle 6.3 des Berichts von Arbeitsgruppe III dargestellten Unterkategorie dieser Szenarien.

<sup>b</sup> Basisszenarien fallen in die Kategorien >1000 und 720 bis 1000 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. Letztere Kategorie schließt auch Minderungsszenarien ein. Die Referenzszenarien dieser Kategorie gelangen im Jahr 2100 zu einer Temperaturänderung von 2,5 °C bis 5,8 °C über dem Durchschnitt der Jahre 1850–1900. Zusammen mit den Basisszenarien der Kategorie >1000 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bedeutet dies eine Gesamtbandbreite der Temperaturänderung für Basisszenarien aus beiden Kategorien für das Jahr 2100 von 2,5 °C bis 7,8 °C (Bandbreite basierend auf dem Median der Klimareaktion: 3,7 °C bis 4,8 °C).

<sup>c</sup> Die globalen Emissionen im Jahr 2010 liegen um 31 % über den Emissionen des Jahres 1990 (in Übereinstimmung mit den in diesem Bericht vorgelegten historischen THG-Emissionsschätzungen). CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen beinhalten die Gruppe der Kyoto-Gase (Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) sowie F-Gase).

<sup>d</sup> Dieser Bericht schließt eine große Anzahl von Szenarien ein, die in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlicht wurden, und ist daher nicht auf die Repräsentativen Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways, RCP) beschränkt. Um die CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentration und die klimatischen Auswirkungen dieser Szenarien zu bewerten, wurde das „Modell zur Abschätzung des durch Treibhausgase verursachten Klimawandels“ (Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change – MAGICC) in einem wahrscheinlichkeitstheoretischen Modus verwendet. Für einen Vergleich zwischen den Ergebnissen des MAGICC-Modells und den Ergebnissen der in WGI verwendeten Modelle siehe Abschnitt WGI 12.4.1.2 und WGI 12.4.8 sowie WGIII 6.3.2.6.

<sup>e</sup> Die in dieser Tabelle dargestellte Bewertung basiert auf den Wahrscheinlichkeiten, die für sämtliche Szenarien der WGIII unter Verwendung des Modells MAGICC errechnet wurden sowie auf der Bewertung der Unsicherheit in den nicht von Klimamodellen abgedeckten Temperaturprojektionen aus WGI. Die Aussagen sind also konsistent mit den Aussagen von WGI, die auf CMIP5-Läufen der RCP und den ermittelten Unsicherheiten basieren. Daher repräsentieren die Wahrscheinlichkeitsaussagen unterschiedliche Belegketten aus beiden Arbeitsgruppen. Diese Methode von WGI wurde auch auf Szenarien mit mittleren Konzentrationsniveaus angewendet, für die keine CMIP5-Läufe verfügbar sind. Die Wahrscheinlichkeitsaussagen sind lediglich indikativ (WGIII 6.3) und folgen weitgehend den in der WGI SPM verwendeten Begriffen für Temperaturprojektionen: wahrscheinlich 66–100 %, eher wahrscheinlich als nicht > 50–100 %, etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht 33–66 % und unwahrscheinlich 0–33 %. Darüber hinaus wird der Ausdruck eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich 0–50 % verwendet.

<sup>f</sup> Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentration (siehe Glossar) wird auf der Basis des gesamten Strahlungsantriebs aus einem einfachen Kohlenstoffkreislauf-/Klimamodell, MAGICC, berechnet. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentration im Jahr 2011 wird auf 430 ppm (Unsicherheitsbereich 340 bis 520 ppm) geschätzt. Dies beruht auf der Bewertung des gesamten anthropogenen Strahlungsantriebs für 2011 im Verhältnis zu 1750 in WGI, d. h. 2,3 W/m<sup>2</sup>, Unsicherheitsbereich 1,1 bis 3,3 W/m<sup>2</sup>.

<sup>g</sup> Die überwiegende Mehrheit der Szenarien dieser Kategorie überschreitet die Kategoriengrenze von 480 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentration.

<sup>h</sup> Für Szenarien dieser Kategorie bleibt kein CMIP5-Lauf und keine MAGICC-Realisierung unterhalb des entsprechenden Temperaturniveaus. Sie werden dennoch als *unwahrscheinlich* eingeordnet, um Unsicherheiten darzustellen, die möglicherweise nicht durch die derzeitigen Klimamodelle reflektiert werden.

<sup>i</sup> Szenarien in der 580 bis 650 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Kategorie beinhalten sowohl Überschreitungsszenarien als auch Szenarien, die das Konzentrationsniveau am oberen Ende der Kategorie nicht überschreiten (wie RCP4.5). Letztere werden meist mit einer Wahrscheinlichkeit von *eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich* bewertet, unterhalb des Temperaturniveaus von 2 °C zu bleiben, während die erstgenannten diesbezüglich meist als *unwahrscheinlich* bewertet werden.

<sup>j</sup> In diesen Szenarien liegen die globalen CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen im Jahr 2050 um 70 bis 95 % unter den Emissionen von 2010 und im Jahr 2100 um 110 bis 120 % unter den Emissionen von 2010.

und umgekehrt. Szenarien, die die Erwärmung *wahrscheinlich* unterhalb von 2 °C halten können, beinhalten auch schnellere Verbesserungen der Energieeffizienz und eine Verdreifachung bis annähernd Vervielfachung des Anteils der kohlenstofffreien und kohlenstoffarmen Energieversorgung durch Erneuerbare Energien, Atomenergie und fossile Energie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS) bzw. Bioenergie mit CCS (BECCS) bis zum Jahr 2050 (Abbildung 3.2b). Diese Szenarien beschreiben eine große Bandbreite an Änderungen in der Landnutzung und reflektieren damit unterschiedliche Annahmen über das Ausmaß an Bioenergie-Produktion, Aufforstung und verringerter Entwaldung. Szenarien, die zu Konzentrationen von 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 führen, sind durch eine Verringerung der THG-Emissionen um 25 bis 55 % bis 2050, bezogen auf das Niveau von 2010, gekennzeichnet. Szenarien, die eine Erwärmung *wahrscheinlich* auf 3 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen können, verringern Emissionen weniger schnell als jene, die eine Erwärmung auf 2 °C begrenzen. Lediglich eine begrenzte Anzahl von Studien liefert Szenarien, die eine Erwärmung *eher wahrscheinlich als nicht* auf 1,5 °C bis zum Jahr 2100 begrenzen; diese Szenarien sind durch Konzentrationen unterhalb von 430 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis 2100 und eine Emissionsminderung um 70 bis 95 % bis 2050 gegenüber 2010 gekennzeichnet. Für einen umfassenden Überblick über die Eigenschaften von Emissionsszenarien, deren CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen und ihre Wahrscheinlichkeit, die Erwärmung unterhalb eines bestimmten Temperaturbereiches zu halten, siehe Tabelle 3.1. {WGIII SPM.4.1, TS.3.1, 6.3, 7.11}

**Die Emissionsminderung von klimawirksamen Nicht-CO<sub>2</sub>-Substanzen kann ein wichtiger Bestandteil von Minderungsstrategien sein.** Emissionen von Nicht-CO<sub>2</sub>-Gasen (Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und F-Gase) trugen zu etwa 27 % der Gesamtemissionen der Kyoto-Gase im Jahr 2010 bei. Für die meisten Nicht-CO<sub>2</sub>-Gase sind kurzfristige kostengünstige Optionen verfügbar, um ihre Emissionen zu verringern. Einige Quellen dieser Nicht-CO<sub>2</sub>-Gase sind jedoch schwer zu mindern, wie beispielsweise N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem Einsatz von Düngemitteln und CH<sub>4</sub>-Emissionen aus der Viehzucht. Infolgedessen werden die Emissionen der meisten Nicht-CO<sub>2</sub>-Gase auch unter strengen Minderungsstrategien nicht auf Null verringert (siehe Abbildung 4.1). Die Unterschiede in Strahlungseigenschaften und Lebensdauer von CO<sub>2</sub> und Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibern haben wichtige Konsequenzen für Minderungsstrategien (siehe auch Box 3.2). {WGIII 6.3.2}

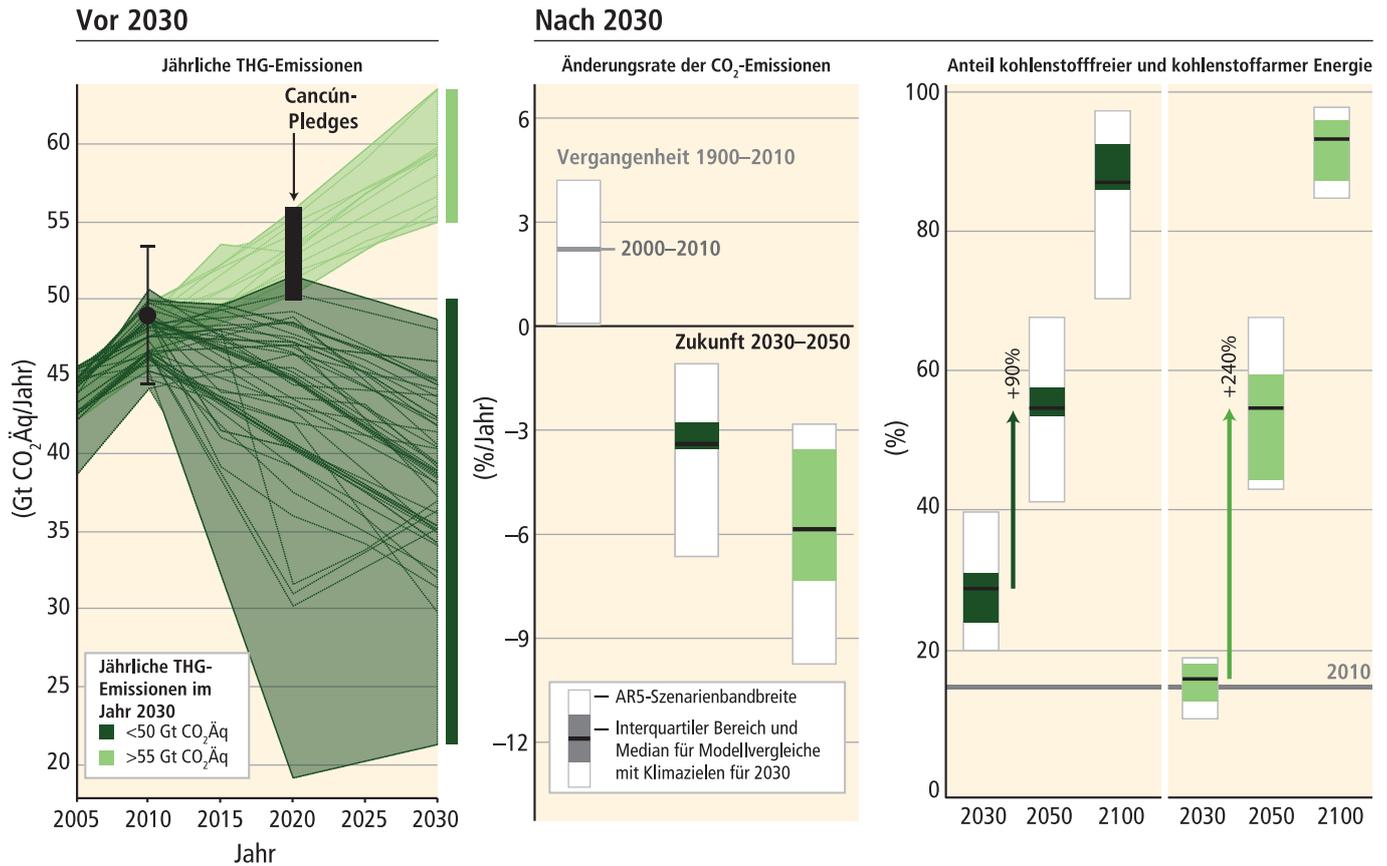
**Alle derzeitigen THG-Emissionen und weitere klimawirksame Substanzen beeinflussen die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Klimawandels über die nächsten Jahrzehnte.** Die Verringerung von Emissionen bestimmter kurzlebiger klimawirksamer Substanzen kann die Erwärmungsrate kurzfristig verringern, wird jedoch nur begrenzte Auswirkungen auf die langfristige Erwärmung haben, die hauptsächlich von CO<sub>2</sub>-Emissionen angetrieben wird. Es bestehen große Unsicherheiten im Zusammenhang mit den klimatischen Folgen einiger kurzlebiger klimawirksamer Substanzen. Obwohl die Auswirkungen von CH<sub>4</sub>-Emissionen hinlänglich bekannt sind, bestehen große Unsicherheiten hinsichtlich der Auswirkungen von Ruß. Co-emittierte Komponenten mit Abkühlungseffekten können die klimatischen Folgen von Emissionsminderungen verkomplizieren und verringern. Eine Verringerung der Emissionen von Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) würde eine Erwärmung verursachen. Kurzfristige Verringerungen von kurzlebigen klimawirksa-

men Substanzen können sich relativ schnell auf den Klimawandel auswirken und mögliche positive Nebeneffekte für die Luftverschmutzung haben. {WGI 8.2.3, 8.3.2, 8.3.4, 8.5.1, 8.7.2, FAQ 8.2, 12.5, WGIII 6.6.2.1}

**Eine Verzögerung zusätzlicher Minderung bis zum Jahr 2030 wird die Herausforderungen, die mit einer Begrenzung der Erwärmung über das 21. Jahrhundert auf unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau verbunden sind, beträchtlich erhöhen (hohes Vertrauen).** THG-Emissionen im Jahr 2030 liegen zwischen ca. 30 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr und 50 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr in kosteneffizienten Szenarien, die *wahrscheinlich bis etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* eine Erwärmung auf weniger als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau in diesem Jahrhundert begrenzen können (atmosphärische Konzentrationsniveaus im Jahr 2100 von etwa 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq) (Abbildung 3.3, linke Tafel). Szenarien mit THG-Emissionsniveaus oberhalb von 55 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr erfordern wesentlich höhere Emissionsminderungsraten zwischen 2030 und 2050 (Median der Schätzungen bei 6 % pro Jahr verglichen mit 3 % pro Jahr in kosteneffizienten Szenarien; Abbildung 3.3, mittlere Tafel); einen erheblich schnelleren Ausbau kohlenstofffreier und kohlenstoffarmer Energie über diesen Zeitraum (mehr als eine Verdreifachung, verglichen mit einer Verdoppelung des Anteils kohlenstoffarmer Energie bezogen auf 2010; Abbildung 3.3, rechte Tafel); eine langfristig größere Abhängigkeit von CDR-Technologien, sowie größere vorübergehende und langfristige wirtschaftliche Folgen (Tabelle 3.2). (3.5, 4.3) {WGIII SPM.4.1, TS.3.1, 6.4, 7.11}

**Die geschätzten globalen Emissionsniveaus im Jahr 2020, basierend auf den Cancún-Pledges, stehen nicht im Einklang mit kosteneffizienten Minderungspfaden, die mindestens etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht die Temperaturänderung auf 2 °C im Verhältnis zum vorindustriellen Niveau begrenzen (Konzentrationen im Jahr 2100 von ca. 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq oder darunter), sie schließen jedoch die Option, dieses Ziel zu erreichen, nicht aus (hohes Vertrauen).** Die Cancún-Pledges sind annähernd vereinbar mit kosteneffizienten Szenarien, die die Temperaturänderung *wahrscheinlich* unterhalb von 3 °C im Verhältnis zu vorindustriellen Niveaus halten. {WGIII SPM.4.1, 6.4, 13.13, Abbildung TS.11}

**Schätzungen der aggregierten wirtschaftlichen Minderungskosten schwanken je nach Vorgehensweise und Annahmen stark, erhöhen sich jedoch mit der Stringenz der Minderung (hohes Vertrauen).** Szenarien, in denen alle Länder der Erde sofort mit einer Minderung beginnen und in denen von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis und der Verfügbarkeit aller Schlüsseltechnologien ausgegangen wird, wurden als kosteneffiziente Bezugsgröße für die Schätzung makroökonomischer Minderungskosten verwendet (Abbildung 3.4). Unter diesen Annahmen führen Minderungsstrategien, die die Erwärmung *wahrscheinlich* auf unter 2 °C im 21. Jahrhundert gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen, zu globalen Konsumverlusten – die Vorteile eines geminderten Klimawandels (3.2) sowie positive und negative Nebeneffekte einer Minderung (3.5, 4.3) nicht eingeschlossen – von 1 bis 4 % (Median: 1,7 %) im Jahr 2030, 2 % bis 6 % (Median: 3,4 %) im Jahr 2050, und 3 % bis 11 % (Median: 4,8 %) im Jahr 2100 im Verhältnis zum Konsum in Basisszenarien, welcher im Laufe des Jahrhunderts um 300 % bis hin zu über 900 %



**Abbildung 3.3** | Die Auswirkung unterschiedlicher Treibhausgas (THG)-Emissionsniveaus im Jahr 2030 auf die Geschwindigkeit der Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionsminderungen und den Ausbau kohlenstoffarmer Energie in Minderungsszenarien, die mindestens *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* die Erwärmung über das 21. Jahrhundert unterhalb von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau halten (CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen von 430 bis 530 ppm im Jahr 2100). Die Szenarien sind entsprechend unterschiedlicher Emissionsniveaus im Jahr 2030 gruppiert (in unterschiedlichen Grüntönen). Die linke Tafel zeigt die Verläufe von THG-Emissionspfaden (Gt CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr), die zu diesen Niveaus im Jahr 2030 führen. Der schwarze Punkt mit Antennen zeigt die historischen THG-Emissionsniveaus und die damit verbundenen Unsicherheiten im Jahr 2010, wie in Abbildung 1.6 dargestellt. Der schwarze Balken zeigt die geschätzte Unsicherheitsbandbreite der mit den Cancún-Pledges verbundenen THG-Emissionen. Die mittlere Tafel stellt die durchschnittlichen jährlichen Verringerungsraten für CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zeitraum 2030–2050 dar. Der Median und die interquartile Bandbreite aller Szenarien aus aktuellen Intermodellvergleichen mit expliziten Zwischenzielen für 2030 werden darin mit der Gesamtbandbreite von Szenarien der Szenariendatenbank von WGIII für den AR5 verglichen. Jährliche Raten historischer Emissionsänderungen (fortlaufend über einen Zeitraum von 20 Jahren) sind ebenfalls angegeben. Die Pfeile in der rechten Tafel zeigen die Größenordnung des Ausbaus kohlenstofffreier und kohlenstoffarmer Energieversorgung zwischen 2030 und 2050 in Abhängigkeit von unterschiedlichen THG-Emissionsniveaus im Jahr 2030. Kohlenstofffreie und -arme Energieversorgung beinhaltet Erneuerbare Energien, Atomenergie, fossile Energie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS) sowie Bioenergie mit CCS (BECCS). Es sind nur Szenarien abgebildet, die das vollständige, unbeschränkte Portfolio an Minderungstechnologien der zugrundeliegenden Modelle (Standard-Technologieannahme) einsetzen. Ausgenommen sind Szenarien mit hohen negativen globalen Nettoemissionen (> 20 Gt CO<sub>2</sub>-Äq/Jahr), Szenarien mit der Annahme eines exogenen Kohlenstoffpreises sowie Szenarien mit Emissionen für 2010, die signifikant außerhalb der historischen Bandbreite liegen. {WGIII Abbildung SPM.5, Abbildung 6.32, Abbildung 7.16, 13.13.1.3}

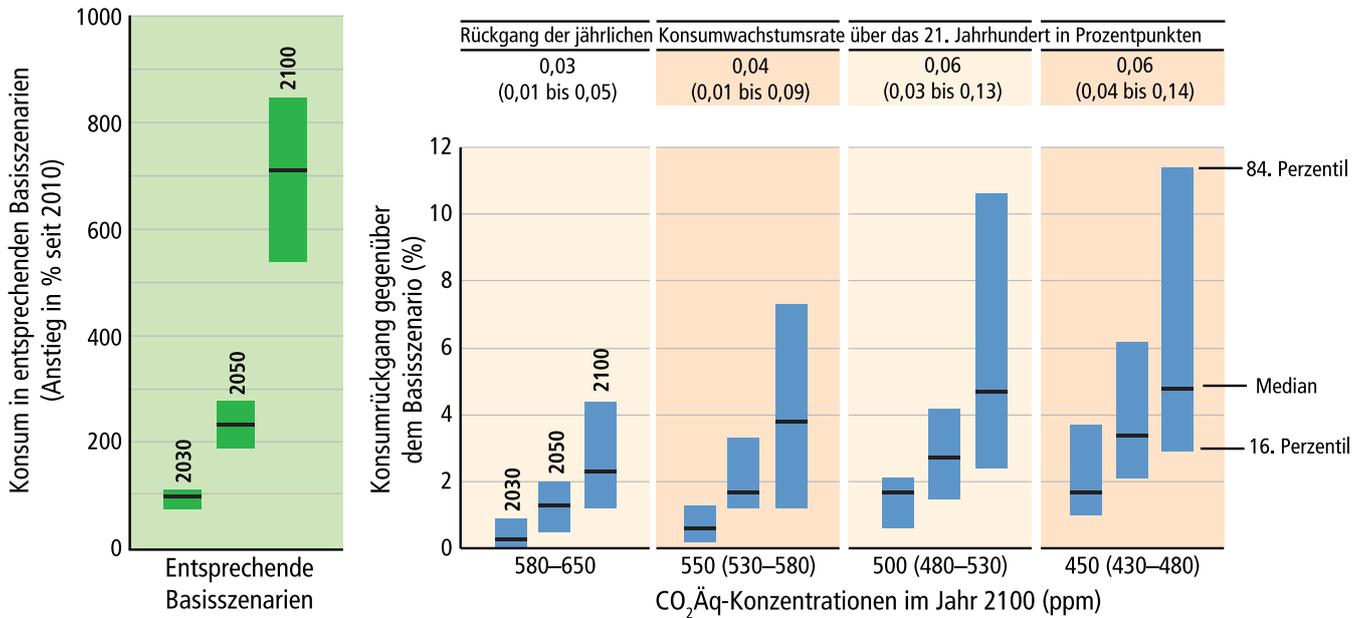
steigt<sup>41</sup>. Diese Zahlen entsprechen einer auf das Jahr gerechneten Verzögerung des Konsumwachstums um 0,04 bis 0,14 (Median: 0,06) Prozentpunkte im Laufe des Jahrhunderts im Verhältnis zum Referenzwert der jährlichen Konsumsteigerung zwischen 1,6 % und 3 % pro Jahr (Abbildung 3.4). Bei Fehlen oder begrenzter Verfügbarkeit von Minderungstechnologien (wie Bioenergie, CCS und deren Kombination BECCS, Atom-, Wind- und Solarenergie), können sich die Minderungskosten abhängig von der betrachteten Technologie wesentlich erhöhen (Tabelle 3.2). Eine Verzögerung zusätzlicher Minderung verringert die kurzfristigen Kosten, erhöht die Minderungskosten jedoch mittel- bis

langfristig (Tabelle 3.2). Viele Modelle können die *wahrscheinliche* Erwärmung nicht auf unter 2 °C über das 21. Jahrhundert gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen, wenn zusätzliche Minderung erheblich verzögert würde oder die Verfügbarkeit von Schlüsseltechnologien wie Bioenergie, CCS und deren Kombination (BECCS) begrenzt wäre (*hohes Vertrauen*) (Tabelle 3.2). {WGIII SPM.4.1, Tabelle SPM.2, Tabelle TS.2, TS.3.1, 6.3, 6.6}

**Es wird erwartet, dass sich die Minderungsbemühungen und die damit verbundenen Kosten je nach Land unterscheiden. Die**

<sup>41</sup> Die hier genannte Bandbreite der Minderungskosten bezieht sich auf das 16. bis 84. Perzentil der zugrunde liegenden Probe (siehe Abbildung 3.4).

Globale Minderungskosten und Konsumwachstum in Basisszenarien



**Abbildung 3.4** | Globale Minderungskosten in kosteneffizienten Szenarien für unterschiedliche atmosphärische Konzentrationsniveaus im Jahr 2100 (rechte Tafel) und Wachstum des wirtschaftlichen Konsums in den entsprechenden Basisszenarien (jene ohne zusätzliche Minderung) (linke Tafel). Die obere Tabelle zeigt in Prozentpunkten die auf das Jahr gerechnete Verringerung des Konsumwachstums bezogen auf das Konsumwachstum der Referenzentwicklung von 1,6 bis 3 % pro Jahr (wenn z. B. der Rückgang aufgrund von Minderung 0,06 Prozentpunkte pro Jahr beträgt und das Referenzwachstum 2,0 % pro Jahr, beläuft sich die Wachstumsrate mit Minderung auf 1,94 % pro Jahr). Kosteneffiziente Szenarien gehen von einer sofortigen Minderung in allen Ländern sowie von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis aus und sehen keine zusätzlichen Technologie-Einschränkungen im Verhältnis zu den Standard-Technologie-Annahmen der Modelle vor. Konsumverluste sind bezogen auf eine Referenzentwicklung ohne Klimapolitik angegeben. Die in dieser Tabelle dargestellten Kostenschätzungen berücksichtigen weder die Vorteile eines geminderten Klimawandels noch die positiven und negativen Nebeneffekte von Minderung. Schätzungen am oberen Ende dieser Kostenbandbreite stammen aus Modellen, die verhältnismäßig unflexibel bei der Verwirklichung der langfristig für diese Ziele erforderlichen einschneidenden Emissionsminderungen sind und/oder Annahmen über Marktunvollkommenheiten beinhalten, die zu Kostensteigerungen führen würden. {WGIII Tabelle SPM.2, Abbildung TS.12, 6.3.6, Abbildung 6.21}

**Kostenverteilung kann sich von der Verteilung der Maßnahmen selbst unterscheiden (hohes Vertrauen).** In global kosteneffizienten Szenarien erfolgt ein Großteil der Minderungsbemühungen in den Ländern, die in Basisszenarien die höchsten zukünftigen Emissionen zeigen. Einige Studien, die bestimmte Lastenteilungssysteme unter der Annahme eines globalen Kohlenstoffmarktes untersuchen, schätzten erhebliche globale Finanzströme im Zusammenhang mit Minderung für Szenarien, die *wahrscheinlich bis eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich* die Erwärmung über das 21. Jahrhundert auf weniger als

2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen können. {WGIII SPM.4.1, TS.3.1, Box 3.5, 4.6, 6.3.6, Tabelle 6.4, Abbildung 6.9, Abbildung 6.27, Abbildung 6.28, Abbildung 6.29, 13.4.2.4}

**Tabelle 3.2** | Anstieg der globalen Minderungskosten aufgrund von begrenzter Verfügbarkeit bestimmter Technologien oder von Verzögerungen zusätzlicher Minderungsmaßnahmen<sup>a</sup> im Verhältnis zu kosteneffizienten Szenarien<sup>b</sup>. Der Kostenanstieg ist als Median der Schätzung und als Bereich des 16. bis 84. Perzils der Szenarien (in Klammern) angegeben. Der Probenumfang jedes Szenariensatzes ist auf den farbigen Symbolen dargestellt. Die Farben der Symbole selbst geben den Anteil der Modelle aus systematischen Modellvergleichen an, die das angestrebte Konzentrationsniveau erfolgreich erreichen konnten. [WGIII Tabelle SPM.2, Tabelle TS.2, Abbildung TS.13, Abbildung 6.24, Abbildung 6.25]

Anstieg der Minderungskosten in Szenarien mit begrenzter Technologie-Verfügbarkeit <sup>d</sup>					Anstieg der Minderungskosten aufgrund verzögerter zusätzlicher Minderung bis 2030	
[Anstieg der gesamten diskontierten Minderungskosten (2015–2100) in % im Verhältnis zu Standard-Technologie-Annahmen]					[Anstieg der Minderungskosten in % im Verhältnis zu einer sofortigen Minderung]	
Konzentrationen im Jahr 2100 (ppm CO <sub>2</sub> Äq)	Kein CCS	Atomausstieg	begrenzte Solar-/Windenergie	begrenzte Bioenergie	mittelfristige Kosten (2030–2050)	langfristige Kosten (2050–2100)
450 (430 bis 480)	138 % (29 bis 297%) 	7 % (4 bis 18%) 	6 % (2 bis 29%) 	64 % (44 bis 78%) 	44 % (2 bis 78 %) 	37 % (16 bis 82 %) 
500 (480 to 530)	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar		
550 (530 bis 580)	39% (18 bis 78 %) 	13% (2 bis 23 %) 	8% (5 bis 15 %) 	18% (4 bis 66 %) 	15 % (3 bis 32 %)	16 % (5 bis 24 %)
580 bis 650	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar	nicht verfügbar		

**Legende der Symbole – Anteil der Modelle, die erfolgreich Szenarien produzieren konnten (Ziffern geben die Anzahl erfolgreicher Modelle an)**

 : alle Modelle erfolgreich	 : zwischen 50 und 80 % der Modelle erfolgreich
 : zwischen 80 und 100 % der Modelle erfolgreich	 : weniger als 50 % der Modelle erfolgreich

Anmerkungen:

<sup>a</sup> Szenarien mit verzögerten Minderung sind mit Treibhausgasemissionen von mehr als 55 Gt CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2030 verbunden, und der Anstieg der Minderungskosten wird im Verhältnis zu kosteneffizienten Minderungsszenarien für dasselbe langfristige Konzentrationsniveau ermittelt.

<sup>b</sup> Kosteneffiziente Szenarien gehen von einer sofortigen Minderung in allen Ländern sowie von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis aus und sehen keine zusätzlichen Technologie-Einschränkungen im Verhältnis zu den Standard-Technologie-Annahmen der Modelle vor.

<sup>c</sup> Die Bandbreite wird durch die in der Mitte liegenden Szenarien, die das 16. bis 84. Perzentil des Szenariensatzes umspannen, bestimmt. Es wurden nur Szenarien mit einem Zeithorizont bis 2100 berücksichtigt. Einige Modelle, die in den Kostenbandbreiten für Konzentrationsniveaus oberhalb von 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 enthalten sind, konnten unter Annahmen einer begrenzten Verfügbarkeit an Technologien und/oder einer verzögerten zusätzlichen Minderung keine entsprechenden Szenarien für Konzentrationsniveaus unterhalb von 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 entwickeln.

<sup>d</sup> Kein CCS: Kohlendioxidabscheidung und -speicherung ist in diesen Szenarien nicht enthalten. Atomausstieg: Keine zusätzlichen Atomanlagen über die im Bau befindlichen hinaus und Betrieb der bestehenden Anlagen bis zum Ende ihrer Laufzeit. Begrenzte Solar-/Windenergie: Höchstens 20 % der globalen Elektrizitätserzeugung aus Solar- und Windkraft für jedes Jahr in diesen Szenarien. Begrenzte Bioenergie: Höchstens 100 EJ pro Jahr moderne Bioenergie-Versorgung weltweit (die für Wärme, Strom, Kombinationen und Industrie genutzte moderne Bioenergie belief sich 2008 auf ca. 18 EJ pro Jahr). EJ = Exajoule = 10<sup>18</sup> Joule.

<sup>e</sup> Prozentualer Anstieg des gegenwärtigen Nettowertes von Konsumverlusten in Prozent des Referenzkonsums (für Szenarien aus Allgemeinen Gleichgewichtsmodellen) sowie Vermeidungskosten in Prozent des Referenz-Bruttoinlandsproduktes (BIP, für Szenarien aus Partialgleichgewichtsmodellen) für den Zeitraum 2015–2100, diskontiert mit 5 % pro Jahr.

### Box 3.2 | Treibhausgasmetriken und Minderungspfade

Diese Box konzentriert sich auf emissionsbasierte Metriken, die zur Berechnung von CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen für die Formulierung und Bewertung von Minderungsstrategien verwendet werden. Diese Emissionsmetriken unterscheiden sich von den im Synthesebericht verwendeten konzentrationsbasierten Metriken (CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentration). Zu einer Erklärung von CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen und CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen, siehe Glossar.

**Emissionsmetriken erleichtern Mehrkomponenten-Klimapolitik, indem sie es ermöglichen, Emissionen unterschiedlicher Treibhausgase (THG) und andere klimawirksame Substanzen in einer gemeinsamen Einheit auszudrücken (sogenannte „CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen“).** Das Globale Erwärmungspotenzial (Global Warming Potential, GWP) wurde im Ersten Sachstandsbericht des IPCC vorgestellt, in dem es auch dafür verwendet wurde, um die Schwierigkeiten beim Vergleich von Komponenten mit unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften unter Verwendung einer einzelnen Metrik zu verdeutlichen. Das 100-Jahres-GWP (GWP<sub>100</sub>) wurde vom Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) und deren Kyoto-Protokoll übernommen und wird nun verbreitet als Standardmetrik verwendet. Es ist lediglich eine von verschiedenen möglichen Emissionsmetriken und Zeithorizonten. *{WGI 8.7, WGIII 3.9}*

**Die Wahl der Emissionsmetrik und des Zeithorizontes hängt von der Art der Anwendung und dem politischen Kontext ab; daher ist keine einzelne Metrik optimal für alle Politikziele.** Alle Metriken haben Schwächen und die Auswahl enthält Werturteile, wie den berücksichtigten Klimaeffekt und die Gewichtung der Effekte über die Zeit (welche ausdrücklich oder implizit die Folgen über die Zeit diskontiert), das klimapolitische Ziel und den Grad, bis zu dem Metriken wirtschaftliche oder lediglich physikalische Erwägungen einbinden. Es bestehen signifikante Unsicherheiten in Bezug auf Metriken, und das Ausmaß der Unsicherheiten unterscheidet sich je nach Metrikart und Zeithorizont. Grundsätzlich erhöht sich die Unsicherheit für Metriken entlang der Ursache-Wirkung-Kette von Emissionen zu Auswirkungen. *{WGI 8.7, WGIII 3.9}*

**Die Gewichtung, die den Nicht-CO<sub>2</sub>-Klimatreibern bezogen auf CO<sub>2</sub> zugeordnet wird, hängt stark von der Wahl der Metrik und des Zeithorizontes ab (belastbare Belege, hohe Übereinstimmung).** Das GWP vergleicht Komponenten basierend auf dem Strahlungsantrieb, integriert bis zu einem gewählten Zeithorizont. Das Globale Temperaturänderungspotenzial (Global Temperature Change Potential, GTP; siehe Glossar) beruht auf der Temperaturreaktion zu einem bestimmten Zeitpunkt ohne Gewichtung der Temperaturreaktion vor oder nach dem gewählten Zeitpunkt. Die Annahme eines festen Horizontes von beispielsweise 20, 100 oder 500 Jahren für diese Metriken wird zwangsläufig kein Gewicht auf klimatische Ergebnisse jenseits dieses Zeithorizontes legen, was für CO<sub>2</sub> sowie für andere langlebige Gase signifikant ist. Die Wahl des Zeithorizontes beeinflusst die Gewichtung vor allem von kurzlebigen klimawirksamen Substanzen, wie Methan (CH<sub>4</sub>), merklich (siehe Box 3.2, Tabelle 1; Box 3.2, Abbildung 1a). Für einige Metriken (z. B. das dynamische GTP; siehe Glossar) verändert sich die Gewichtung über die Zeit mit dem Näherrücken eines gewählten Zieljahres. *{WGI 8.7, WGIII 3.9}*

Box 3.2, Tabelle 1 | Beispiele für Emissionsmetrikerwerte aus WGI <sup>a</sup>.

	Lebensdauer (Jahr)	GWP		GTP	
		Kumulativer Antrieb über 20 Jahre	Kumulativer Antrieb über 100 Jahre	Temperaturänderung nach 20 Jahren	Temperaturänderung nach 100 Jahren
CO <sub>2</sub>	<sup>b</sup>	1	1	1	1
CH <sub>4</sub>	12,4	84	28	67	4
N <sub>2</sub> O	121,0	264	265	277	234
CF <sub>4</sub>	50 000,0	4 880	6 630	5 270	8 040
HFKW-152a	1,5	506	138	174	19

Anmerkungen:

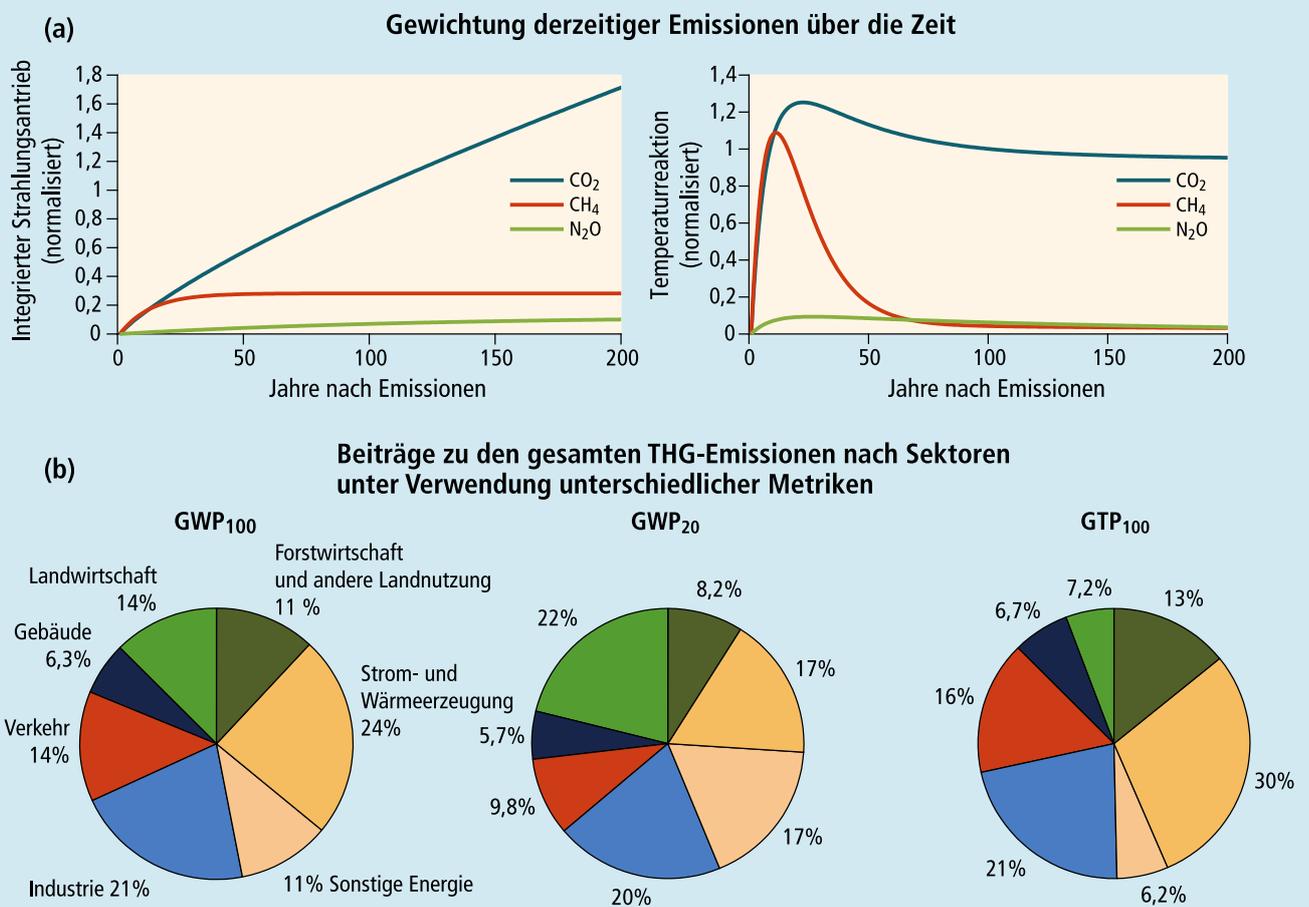
<sup>a</sup> Die Werte des Globalen Erwärmungspotenzials (GWP) wurden in aufeinander folgenden IPCC-Berichten aktualisiert; die AR5 GWP<sub>100</sub>-Werte unterschieden sich von jenen, die für den ersten Verpflichtungszeitraum des Kyoto-Protokolls angenommen wurden, welche aus dem Zweiten Sachstandsbericht des IPCC (SAR) stammen. Es ist zu beachten, dass aus Gründen der Konsistenz äquivalente CO<sub>2</sub>-Emissionen, die an anderer Stelle dieses Syntheseberichts genannt werden, ebenfalls auf den Werten des SAR und nicht des AR5 beruhen. Für einen Vergleich von Emissionen unter Verwendung der GWP<sub>100</sub>-Werte aus dem SAR und dem AR5 für Emissionen aus dem Jahr 2010, siehe Abbildung 1.6.

<sup>b</sup> Für CO<sub>2</sub> kann keine einheitliche Lebensdauer angegeben werden. *{WGI Box 6.1, 6.1.1, 8.7}*



Box 3.2 (Fortsetzung)

Die Wahl der Emissionsmetrik beeinflusst den Zeitpunkt von und die Schwerpunktsetzung auf die Senkung von kurz- und langlebigen klimawirksamen Substanzen. Für die meisten Metriken sind die globalen Kostenunterschiede in Szenarien mit globaler Beteiligung und für kostenminimierende Minderungspfade gering, jedoch könnten die Auswirkungen für einige einzelne Länder und Sektoren von größerer Bedeutung sein (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Unterschiedliche Metriken und Zeithorizonte beeinflussen die Beiträge der verschiedenen Quellen/Sektoren und Komponenten signifikant, insbesondere der kurzlebigen klimawirksamen Substanzen (Box 3.2, Abbildung 1b). Eine feste zeitunabhängige Metrik, die kurzlebigen Faktoren wie CH<sub>4</sub> weniger Gewicht verleiht (z. B. bei Verwendung von GTP<sub>100</sub> anstelle von GWP<sub>100</sub>), würde frühere und strengere CO<sub>2</sub>-Senkungen erfordern, um dasselbe Klimaergebnis für das Jahr 2100 zu erreichen. Die Verwendung einer zeitabhängigen Metrik, wie des dynamischen GTP, führt kurzfristig zu einer geringeren Minderung von CH<sub>4</sub>, jedoch langfristig zu einer höheren Minderung, wenn das Zieldatum näher rückt. Dies bedeutet, dass für einige (kurzlebige) Faktoren die Wahl der Metrik die Wahl von Klimaschutzmaßnahmen und den Zeitpunkt der Minderung beeinflusst (insbesondere für Sektoren und Länder mit hohen Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionsniveaus). {WGI 8.7, WGIII 6.3}



**Box 3.2, Abbildung 1 |** Die Bedeutung der Metrikwahl für die Gewichtung von Treibhausgasemissionen und die Beiträge nach Sektoren für beispielhafte Zeithorizonte. Tafel (a): integrierter Strahlungsantrieb (linke Tafel) und die Erwärmung zu einem bestimmten zukünftigen Zeitpunkt (rechte Tafel) resultierend aus globalen Nettoemissionen von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) im Jahr 2010 (und keine Emissionen danach), für Zeithorizonte von bis zu 200 Jahren. Der integrierte Strahlungsantrieb wird in der Berechnung des Globalen Erwärmungspotenzials (GWP) verwendet, während die Erwärmung zu einem zukünftigen Zeitpunkt in der Berechnung des Globalen Temperaturänderungspotenzials (GTP) verwendet wird. Strahlungsantrieb und Erwärmung wurden auf der Grundlage der globalen Emissionsdaten für 2010 von WGIII 5.2 sowie den absoluten GWP und absoluten GTP von WGI 8.7 berechnet, normalisiert auf den Strahlungsantrieb bzw. die Erwärmung nach 100 Jahren aufgrund der Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Jahr 2010. Tafel (b): Veranschaulichende Beispiele, die Beiträge aus unterschiedlichen Sektoren zu den gesamten metrik-gewichteten globalen THG-Emissionen des Jahres 2010 zeigen, berechnet unter Verwendung des 100-Jahres-GWP (GWP<sub>100</sub>, links), des 20-Jahres-GWP (GWP<sub>20</sub>, Mitte) oder des 100-Jahres-GTP (GTP<sub>100</sub>, rechts) sowie der WGIII 2010 Emissionsdatenbank. {WGIII 5.2} Es ist zu beachten, dass die Prozentsätze im Falle des GWP<sub>100</sub> leicht abweichen, wenn Werte aus dem Zweiten Sachstandsbericht des IPCC verwendet werden; siehe Thema 1 Abbildung 1.7. Siehe WGIII zu den Einzelheiten der Aktivitäten, die in jedem Sektor zu Emissionen führen.

### Box 3.3 | Geoengineering-Technologien zur Kohlendioxidentnahme und zu Solar Radiation Management – Mögliche Funktionen, Optionen, Risiken und Status

Geoengineering bezieht sich auf eine umfangreiche Reihe von großräumig angelegten Methoden und Technologien, die darauf ausgerichtet sind, das Klimasystem vorsätzlich zu verändern, um die Folgen des Klimawandels zu mildern. Die meisten Methoden versuchen entweder die Menge der vom Klimasystem absorbierten Sonnenenergie zu verringern (Solar Radiation Management, SRM), oder die Entnahme von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Atmosphäre mithilfe von Senken zu erhöhen, um das Klima zu ändern (Kohlendioxidentnahme, CDR, siehe Glossar). Begrenzte Belege schließen eine umfassende Bewertung von Machbarkeit, Kosten, Nebeneffekten und Umweltauswirkungen von CDR bzw. SRM aus. {WGI SPM E.8, 6.5, 7.7, WGII 6.4, Tabelle 6-5, Box 20-4, WGIII TS.3.1.3, 6.9}

**CDR spielt in vielen Minderungsszenarien eine bedeutende Rolle.** Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS) und Aufforstung sind die einzigen CDR-Methoden, die in diesen Szenarien enthalten sind. CDR-Technologien sind insbesondere in Szenarien wichtig, die atmosphärische Konzentrationen vorübergehend überschreiten, sie sind jedoch auch in vielen Szenarien ohne Überschreitung verbreitet, um verbleibende Emissionen aus Sektoren zu kompensieren, in denen Minderung teurer ist. Ähnlich wie eine Minderung müsste CDR in großem Maßstab und über einen langen Zeitraum eingesetzt werden, um CO<sub>2</sub>-Konzentrationen signifikant zu verringern (siehe Abschnitt 3.1). {WGII 6.4, WGIII SPM 4.1, TS.3.1.2, TS 3.1.3, 6.3, 6.9}

**Verschiedene CDR-Techniken könnten atmosphärische Treibhausgas- (THG)-Niveaus potenziell senken. Es bestehen jedoch biogeochemische, technische und gesellschaftliche Beschränkungen, die – in unterschiedlichem Ausmaß – quantitative Schätzungen des Potenzials für CDR erschweren.** Die Emissionsminderung durch CDR ist geringer als das entfernte CO<sub>2</sub>, da eine gewisse Menge des vorher in Ozeanen und terrestrischen Kohlenstoffreservoirs gespeicherten CO<sub>2</sub> freigesetzt wird. Die geologische Meeresgrundspeicherung wurde auf regionaler Ebene umgesetzt, bis heute ohne Belege für Auswirkungen auf den Ozean aus Leckagen. Die klimatischen und ökologischen Nebeneffekte von CDR hängen von der Technologie und dem Umfang ab. Es gibt Beispiele im Zusammenhang mit veränderter Oberflächenreflexion durch Aufforstung und Sauerstoffentzug im Ozean durch Ozeandüngung. Die meisten terrestrischen CDR-Techniken würden einen konkurrierenden Bedarf an Land nach sich ziehen und könnten mit lokalen und regionalen Risiken einhergehen, während maritime CDR-Techniken möglicherweise signifikante Risiken für Meeresökosysteme beinhalten können, so dass ihr Einsatz zusätzliche Herausforderungen für eine Zusammenarbeit zwischen Ländern schaffen könnte. {WGI 6.5, FAQ 7.3, WGII 6.4, Tabelle 6.5, WGIII 6.9}

**SRM ist ungetestet und in keinem der Minderungsszenarien enthalten, könnte jedoch – sofern realisierbar – bis zu einem gewissen Grad den globalen Temperaturanstieg und einige seiner Auswirkungen ausgleichen. Sie könnte möglicherweise eine schnelle Abkühlung im Vergleich zu einer CO<sub>2</sub>-Minderung bewirken.** Es besteht *mittleres Vertrauen*, dass SRM durch stratosphärische Aerosolzufuhr skalierbar ist, um dem Strahlungsantrieb eines zweifachen Anstiegs der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und einigen mit der Erwärmung verbundenen Klimareaktionen entgegenzuwirken. Aufgrund eines unzureichenden Verständnisses besteht keine Einigkeit darüber, ob ein vergleichbar hoher negativer entgegengesetzter Strahlungsantrieb durch Wolkenaufhellung erreicht werden könnte. Eine Veränderung der Land-Albedo scheint keinen großen entgegengesetzten Strahlungsantrieb bewirken zu können. Selbst wenn SRM der mittleren globalen Erwärmung entgegenwirken könnte, würden Unterschiede in räumlichen Mustern weiterhin bestehen. Der Mangel an Literatur zu anderen SRM-Techniken schließt deren Bewertung aus. {WGI 7.7, WGIII TS.3.1.3, 6.9}

**Sofern sie umgesetzt würde, wäre SRM mit zahlreichen Unsicherheiten, Nebeneffekten, Risiken und Defiziten verbunden.** Verschiedene Belegketten deuten darauf hin, dass SRM selbst eine geringe, aber signifikante Abnahme der globalen Niederschläge bewirken würde (mit größeren regionalen Unterschieden). Eine SRM mit stratosphärischen Aerosolen wird Ozonverluste in der polaren Stratosphäre *wahrscheinlich* mäßig erhöhen. SRM würde die CO<sub>2</sub>-Auswirkungen auf Ökosysteme und die Ozeanversauerung, welche nicht mit einer Erwärmung verbunden sind, nicht verhindern. Es könnten auch weitere unvorhergesehene Konsequenzen auftreten. Für alle im AR5 berücksichtigten Zukunftsszenarien müsste der Einsatz von SRM entsprechend erhöht werden, um der mittleren globalen Erwärmung entgegenzuwirken, was die Nebeneffekte verstärken würde. Darüber hinaus besteht *hohes Vertrauen*, dass bei einer Erhöhung von SRM auf erhebliche Niveaus und einer dann folgenden Beendigung die Oberflächentemperaturen sehr schnell (innerhalb von ein oder zwei Jahrzehnten) ansteigen würden. Dies würde Systeme belasten, die empfindlich gegenüber der Erwärmungsgeschwindigkeit sind. {WGI 7.6–7.7, FAQ 7.3, WGII 19.5, WGIII 6.9}

**SRM-Technologien werfen Fragen zu Kosten, Risiken, politischer Steuerung und ethischen Auswirkungen hinsichtlich der Entwicklung und des Einsatzes auf. Es ergeben sich besondere Herausforderungen für internationale Institutionen und Mechanismen, die eine Forschung koordinieren könnten und möglicherweise Erprobung und Einsatz beschränken könnten.** Selbst wenn SRM den durch den Menschen verursachten globalen Temperaturanstieg verringern könnte, würde dies eine räumliche und zeitliche Neuverteilung von Risiken bedeuten. SRM wirft daher wichtige Fragen zur Gerechtigkeit innerhalb und zwischen den Generationen auf. Die Forschung zu SRM sowie deren möglicher Einsatz sind Gegenstand ethischer Einwände gewesen. Trotz der geschätzten geringen potenziellen Kosten einiger SRM-Technologien bestehen diese nicht notwendigerweise eine Kosten-Nutzen-Prüfung, die die Bandbreite von Risiken und Nebeneffekten berücksichtigt. Die Bedeutung von SRM für die politische Steuerung stellt eine besondere Herausforderung dar, insbesondere, da ein einseitiges Vorgehen zu signifikanten Folgen und Kosten für andere führen kann. {WGIII TS.3.1.3, 1.4, 3.3, 6.9, 13.4}

### 3.5 Interaktionen zwischen Minderung, Anpassung und nachhaltiger Entwicklung

Der Klimawandel ist eine Bedrohung für eine gerechte und nachhaltige Entwicklung. Anpassung, Minderung und nachhaltige Entwicklung sind eng verknüpft und bieten Potenzial für Synergien und Zielkonflikte.

Der Klimawandel stellt eine wachsende Bedrohung für eine gerechte und nachhaltige Entwicklung dar (*hohes Vertrauen*). Einige klimabezogenen Folgen auf die Entwicklung werden bereits beobachtet. Der Klimawandel vervielfacht Bedrohungen. Er verstärkt andere Bedrohungen für soziale und natürliche Systeme, belastet insbesondere die Armen zusätzlich und schränkt mögliche Entwicklungspfade für alle ein. Eine Entwicklung entlang derzeitiger globaler Pfade kann zu Klimarisiken und Verwundbarkeiten beitragen und somit die Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung weiter aushöhlen. {WGII SPM B-2, 2.5, 10.9, 13.1–13.3, 20.1, 20.2, 20.6, WGIII SPM.2, 4.2}

Die Ausrichtung der Klimapolitik an einer nachhaltigen Entwicklung erfordert sowohl die Beachtung von Anpassung als auch von Minderung (*hohes Vertrauen*). Eine Wechselwirkung zwischen Anpassung, Minderung und nachhaltiger Entwicklung tritt sowohl innerhalb von Regionen als auch regionenübergreifend auf, häufig im Kontext mehrfacher Stressfaktoren. Einige Optionen zur Reaktion auf den Klimawandel könnten Risiken anderer ökologischer und sozialer Kosten aufwerfen, nachteilige Verteilungseffekte haben und Ressour-

cen von anderen Entwicklungsprioritäten, einschließlich der Armutsbeseitigung, abziehen. {WGII 2.5, 8.4, 9.3, 13.3–13.4, 20.2–20.4, 21.4, 25.9, 26.8, WGIII SPM.2, 4.8, 6.6}

Sowohl Anpassung als auch Minderung können beträchtliche positive Nebeneffekte mit sich bringen (*mittleres Vertrauen*). Beispiele für Maßnahmen mit positiven Nebeneffekten sind (i) verbesserte Luftqualität (siehe Abbildung 3.5); (ii) erhöhte Energiesicherheit; (iii) verringerter Energie- und Wasserverbrauch in städtischen Räumen durch Stadtbegrünung und Wasserwiederaufbereitung; (iv) nachhaltige Land- und Forstwirtschaft; und (v) Schutz von Ökosystemen für die Kohlenstoffspeicherung und andere Ökosystemdienstleistungen. {WGII SPM C-1, WGIII SPM.4.1}

Es können nun Strategien und Maßnahmen in Richtung klimaresilienter Pfade für eine nachhaltige Entwicklung verfolgt werden, die gleichzeitig dabei helfen, Existenzgrundlagen, das soziale und wirtschaftliche Wohlergehen und ein effektives Umweltmanagement zu verbessern (*hohes Vertrauen*). Die Chancen für klimaresiliente Pfade sind grundsätzlich damit verbunden, was die Welt im Bereich der Minderung des Klimawandels erreicht (*hohes Vertrauen*). Da Minderung sowohl die Geschwindigkeit als auch das Ausmaß der Erwärmung verringert, verlängert sie auch die Zeit, die für Anpassung an einen bestimmten Grad des Klimawandels zur Verfügung steht, möglicherweise um mehrere Jahrzehnte. Eine Verzögerung von Minderungsmaßnahmen könnte die Optionen für zukünftige klimaresiliente Pfade verringern. {WGII SPM C-2, 20.2, 20.6.2}

Positive Nebeneffekte für die Luftqualität durch Minderung des Klimawandels  
Folge einer stringenten Klimapolitik auf Luftschadstoffemissionen (Global, 2005–2050)

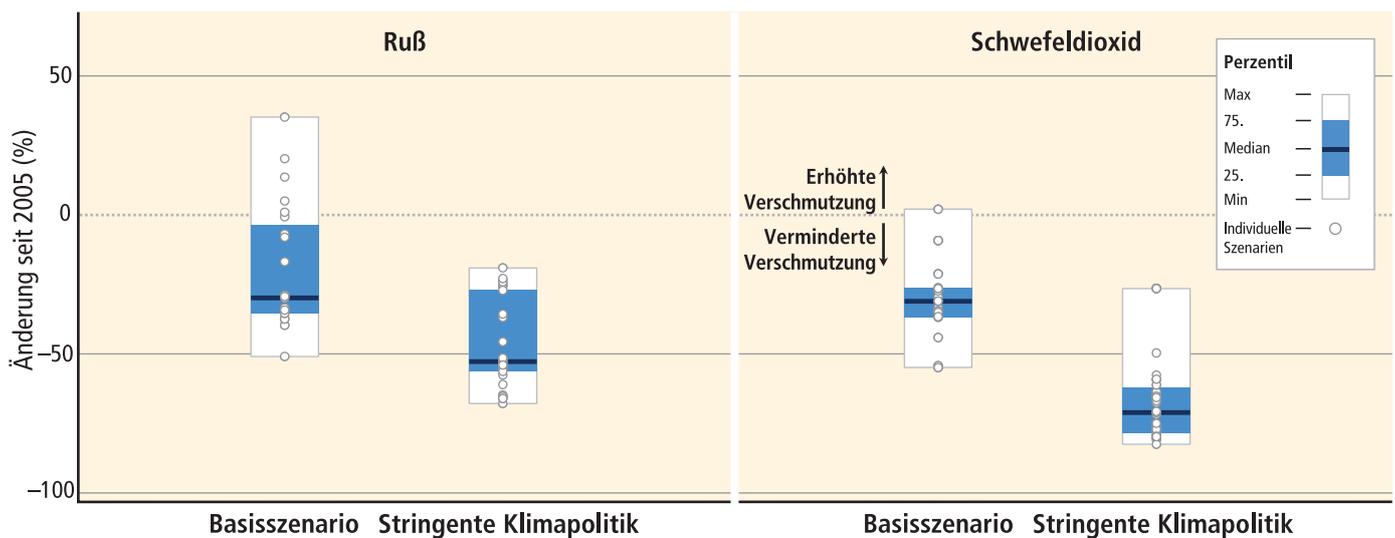


Abbildung 3.5 | Emissionsniveaus für die Luftschadstoffe Ruß (Black Carbon, BC) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) im Jahr 2050 gegenüber 2005 (0 = Niveau von 2005). Basisszenarien ohne zusätzliche Bemühungen zur Verringerung von THG-Emissionen über die heute bestehenden hinaus werden mit Szenarien mit ambitionierten Minderungsmaßnahmen verglichen, die mit dem Erreichen von etwa 450 bis etwa 500 (430 bis 530) ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentrationsniveaus bis zum Jahr 2100 vereinbar sind. {WGIII Abbildung SPM.6, Abbildung TS.14, Abbildung 6.33}

### Box 3.4 | Positive und negative Nebeneffekte

**Eine Regierungspolitik oder eine Maßnahme, die für das Erreichen eines Ziels gedacht ist, beeinflusst häufig andere Ziele, entweder positiv oder negativ.** Beispielsweise können Minderungsmaßnahmen die lokale Luftqualität beeinflussen (siehe Abbildung 3.5). Wenn die Auswirkungen positiv sind, werden sie als „positive Nebeneffekte“, auch als „Zusatzeffekte“ bezeichnet. Negative Auswirkungen werden als „negative Nebeneffekte“ bezeichnet. Einige nennt man „no oder low regret“ Maßnahmen, wenn ihre positiven Nebeneffekte ausreichen, um ihre Umsetzung zu rechtfertigen, auch wenn kein unmittelbarer direkter Nutzen besteht. Positive und negative Nebeneffekte können in monetären und nicht-monetären Einheiten gemessen werden. Die Auswirkung positiver und negativer Nebeneffekte aus Klimaschutzmaßnahmen auf das gesamte Gemeinwohl wurde bislang noch nicht quantitativ untersucht, mit Ausnahme einiger jüngster zielübergreifender Studien. Davon wurden viele nicht ausreichend quantifiziert und Auswirkungen können fall- und standortspezifisch sein, da sie von lokalen Gegebenheiten abhängig sind. {WGII 11.9, 16.3.1, 17.2, 20.4.1, WGIII Box TS.11, 3.6, 5.7}

**Positive Nebeneffekte einer Minderung könnten das Erreichen anderer Ziele beeinflussen, wie jene, die mit Energiesicherheit, Luftqualität, Bemühungen im Umgang mit Ökosystemauswirkungen, Einkommensverteilung, dem Angebot an Arbeitskräften und Beschäftigung sowie Zersiedelung einhergehen (siehe Tabelle 4.2 und Tabelle 4.5).** Bei fehlenden komplementären Maßnahmen können einige Minderungsmaßnahmen allerdings negative Nebeneffekte (zumindest kurzfristig) haben, beispielsweise für biologische Vielfalt, Ernährungssicherheit, Energiezugang, Wirtschaftswachstum und Einkommensverteilung. Zu den positiven Nebeneffekten von Anpassungsmaßnahmen können ein verbesserter Zugang zu Infrastruktur und Dienstleistungen, erweiterte Bildungs- und Gesundheitssysteme, verringerte Katastrophenverluste, bessere politische Steuerung u. A. gehören. {WGII 4.4.4, 11.9, 15.2, 17.2, 20.3.3, 20.4.1, WGIII Box TS.11, 6.6}

**Umfassende Strategien in Reaktion auf den Klimawandel, die mit einer nachhaltigen Entwicklung vereinbar sind, berücksichtigen die positiven und negativen Nebeneffekte sowie die Risiken, die sich sowohl aus Anpassungs- als auch aus Minderungsoptionen ergeben können.** Die Bewertung der Folgen auf das gesamte Gemeinwohl wird durch diese Wechselwirkungen zwischen Klimaschutzoptionen und bestehenden Maßnahmen, die nicht im Zusammenhang mit dem Klimawandel stehen, kompliziert. So hängt beispielsweise hinsichtlich Luftqualität der Wert der Reduktion einer zusätzlichen Tonne Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), die mit einer durch den Klimaschutz bedingten verringerten Nutzung fossiler Brennstoffe einhergeht, in hohem Maße von der Stringenz der SO<sub>2</sub>-Kontrollmaßnahmen ab. Sofern die SO<sub>2</sub>-Maßnahmen schwach sind, kann der Wert der SO<sub>2</sub>-Reduktion groß sein, bestehen jedoch stringente SO<sub>2</sub>-Maßnahmen, so kann er nahe Null liegen. Ebenso können schwache Maßnahmen hinsichtlich Anpassung und Katastrophenrisikomanagement zu einem Anpassungsdefizit führen, das wirtschaftliche Verluste und die von Menschenleben durch natürliche Klimavariabilität erhöht. „Anpassungsdefizit“ bezieht sich auf den Mangel an Kapazität, nachteiligen Auswirkungen der derzeitigen Klimavariabilität zu begegnen. Ein bestehendes Anpassungsdefizit erhöht den Nutzen von Anpassungsmaßnahmen, die den Umgang mit Klimaschwankungen und Klimawandel verbessern. {WGII 20.4.1, WGIII Box TS.11, 6.3}



# 4

## Anpassung und Minderung

## Thema 4: Anpassung und Minderung

Viele Anpassungs- und Minderungsoptionen können helfen, den Klimawandel zu bewältigen, jedoch ist keine einzelne Maßnahme allein ausreichend. Die wirksame Umsetzung hängt von Vorgehensweisen und Kooperation auf allen Ebenen ab und kann durch integrierte Maßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel unterstützt werden, die Minderung und Anpassung mit anderen gesellschaftlichen Zielen verknüpfen.

Thema 3 stellt die Notwendigkeit und strategische Überlegungen sowohl für Anpassung als auch globale Minderung dar, um Risiken des Klimawandels zu begegnen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen zeigt Thema 4 kurzfristige Reaktionsmöglichkeiten auf, die beim Erreichen solcher strategischen Ziele helfen könnten. Kurzfristige Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen werden sich je nach Sektor und Region unterscheiden und Entwicklungsstand, Reaktionskapazität sowie kurz- und langfristige Bestrebungen im Hinblick auf klimatische und nicht-klimatische Ergebnisse widerspiegeln. Da Anpassung und Minderung immer im Kontext mehrerer Ziele verfolgt werden, wird hier der Möglichkeit besondere Aufmerksamkeit gewidmet, integrierte Ansätze zu entwickeln und umzusetzen, die auf positiven Nebeneffekten aufbauen und Zielkonflikte berücksichtigen können.

### 4.1 Gemeinsame begünstigende Umstände und Grenzen für Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel

Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel werden durch gemeinsame begünstigende Umstände gefördert. Hierzu zählen effektive Institutionen und politische Steuerung, Innovation und Investitionen in umweltfreundliche Technologien und Infrastruktur, nachhaltige Existenzgrundlagen sowie Verhaltens- und Lebensstilentscheidungen.

Innovation und Investitionen in umweltfreundliche Infrastruktur und Technologien können THG-Emissionen verringern und die Resilienz gegenüber dem Klimawandel verbessern (*sehr hohes Vertrauen*). Innovation und Veränderung können die Verfügbarkeit und/oder Wirksamkeit von Anpassungs- und Minderungsoptionen erweitern. So können beispielsweise Investitionen in kohlenstoffarme und kohlenstofffreie Energietechnologien die Energieintensität wirtschaftlicher Entwicklung, die Kohlenstoffintensität von Energie, THG-Emissionen und die langfristigen Minderungskosten senken. Ebenso können neue Technologien und Infrastrukturen die Resilienz von Systemen des Menschen erhöhen und die negativen Auswirkungen auf natürliche Systeme verringern. Investitionen in Technologien und Infrastrukturen sind auf ein förderliches politisches Umfeld, den Zugang zu Finanzen und Technologie und eine breite wirtschaftliche Entwicklung angewiesen, die Kapazität schafft (Tabelle 4.1, Abschnitt 4.4). {WGII SPM C-2, Tabelle SPM.1, Tabelle TS.8, WGIII SPM.4.1, Tabelle SPM.2, TS.3.1.1, TS 3.1.2, TS.3.2.1}

Anpassung und Minderung werden begrenzt durch die Trägheit globaler und regionaler Trends wirtschaftlicher Entwicklung, der THG-Emissionen, des Ressourcenverbrauchs, von Infrastruktur- und Siedlungsmustern, institutionellen Verhaltens und von Technologien (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Solche Trägheit kann die Kapazität begrenzen THG-Emissionen zu verringern, bestimmte klimatische Schwellenwerte nicht zu überschreiten oder nachteilige Folgen zu vermeiden (Tabelle 4.1). Einige Hemmnisse können durch neue Technologien, finanzielle Ressourcen, erhöhte institutionelle Wirksamkeit und politische Steuerung, oder durch Änderungen sozialer und kultureller Ansichten und Verhaltensweisen überwunden werden. {WGII SPM C-1, WGIII SPM.3, SPM.4.2, Tabelle SPM.2}

Die Verwundbarkeit gegenüber dem Klimawandel, THG-Emissionen und die Fähigkeit zu Anpassung und Minderung werden stark von Existenzgrundlagen, Lebensstilen, Verhalten und Kultur beeinflusst (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*) (Tabelle 4.1). Wechsel zu energieintensiveren Lebensstilen können zu höherem Energie- und Ressourcenverbrauch beitragen, höhere Energieproduktion und THG-Emissionen antreiben sowie Minderungskosten ansteigen lassen. Hingegen können Emissionen durch Änderungen der Konsummuster beträchtlich gesenkt werden (siehe 4.3 zu Einzelheiten). Die gesellschaftliche Akzeptanz und/oder Wirksamkeit von Klimaschutzmaßnahmen wird von dem Umfang beeinflusst, in dem sie Anreize für regional geeignete Lebensstil- oder Verhaltensänderungen schaffen oder von diesen abhängen. Ebenso können Existenzgrundlagen, die von klimasensitiven Sektoren oder Ressourcen abhängig sind, besonders verwundbar gegenüber dem Klimawandel und Minderungsmaßnahmen sein. Die wirtschaftliche Entwicklung und Urbanisierung von Landschaftsräumen, die Klimagefährdungen ausgesetzt sind, kann die Exposition von Siedlungen erhöhen und die Resilienz natürlicher Systeme verringern. {WGII SPM A-2, SPM B-2, Tabelle SPM.1, TS A-1, TS A-2, TS C-1, TS C-2, 16.3.2.7, WGIII SPM.4.2, TS.2.2, 4.2}

Für viele Regionen und Sektoren gehören verbesserte Minderungs- und Anpassungskapazitäten zu den Grundvoraussetzungen für den Umgang mit Risiken des Klimawandels (*hohes Vertrauen*). Solche Kapazitäten sind orts- und kontextspezifisch und es existiert daher kein einzelner Ansatz, der gleichermaßen unter allen Bedingungen für die Risikominderung geeignet ist. So haben beispielsweise Entwicklungsländer mit geringen Einkommensniveaus die geringsten finanziellen, technologischen und institutionellen Kapazitäten, um kohlenstoffarme, klimaresiliente Entwicklungspfade zu beschreiten. Obwohl Industrienationen meist über größere relative Kapazitäten verfügen, Risiken des Klimawandels zu bewältigen, führt diese Kapazität nicht zwangsläufig zur Umsetzung von Anpassungs- und Minderungsoptionen. {WGII SPM B-1, SPM B-2, TS B-1, TS B-2, 16.3.1.1, 16.3.2, 16.5, WGIII SPM.5.1, TS.4.3, TS.4.5, 4.6}

Die Verbesserung von Institutionen sowie von Koordination und Kooperation zwischen politischen Entscheidungsebenen kann dazu beitragen, regionale Einschränkungen zu überwinden, die mit Minderung, Anpassung und der Katastrophenvorsorge verbunden sind (*sehr hohes Vertrauen*). Obwohl sich eine Vielzahl von multilateralen, nationalen und subnationalen Institutionen auf Anpassung und Minderung konzentriert, steigen die globalen THG-Emissionen weiter und den identifizierten Anpassungsbedürfnissen wird

Tabelle 4.1 | Verbreitete Faktoren, die die Umsetzung von Anpassungs- und Minderungsoptionen begrenzen

Hemmender Faktor	Potenzielle Auswirkungen auf Anpassung	Potenzielle Auswirkungen auf Minderung
Nachteilige externe Effekte aufgrund von Bevölkerungswachstum und Urbanisierung	Erhöhung der Exposition von Bevölkerungen gegenüber Klimaschwankungen und Klimawandel sowie Bedarf an und Belastungen für natürliche Ressourcen und Ökosystemdienstleistungen {WGII 16.3.2.3, Box 16-3}	Antrieb des Wirtschaftswachstums, Energiebedarfs und Energieverbrauchs, resultierend in steigenden Treibhausgasemissionen. {WGIII SPM.3}
Defizite in Wissen, Bildung und Humankapital	mindern die Wahrnehmung von Risiken des Klimawandels sowie von Kosten und Nutzen verschiedener Anpassungsoptionen auf nationaler, institutioneller und individueller Ebene {WGII 16.3.2.1}	mindern die Risikowahrnehmung auf nationaler, institutioneller und individueller Ebene, die Bereitschaft zur Änderung von Verhaltensmustern und -weisen sowie zur Annahme sozialer und technologischer Innovationen zur Emissionsminderung {WGIII SPM.3, SPM.5.1, 2.4.1, 3.10.1.5, 4.3.5, 9.8, 11.8.1}
Divergenz sozialer und kultureller Ansichten, von Werten und Verhaltensweisen	verringern den gesellschaftlichen Konsens zu Klimarisiken und daher den Bedarf für spezifische Anpassungsverfahren und -maßnahmen {WGII 16.3.2.7}	beeinflussen Emissionsmuster, gesellschaftliche Wahrnehmung des Nutzens von Minderungsmaßnahmen und -technologien, sowie die Bereitschaft nachhaltige Verhaltensweisen und Technologien anzunehmen. {WGIII SPM.2, 2.4.5, 2.6.6.1, 3.7.2.2, 3.9.2, 4.3.4, 5.5.1}
Herausforderungen für politische Steuerung und Koordination sowie institutionelle Ausgestaltung	verringern die Möglichkeit zur Koordinierung von Anpassungsverfahren und -maßnahmen und der Befähigung von Akteuren zur Planung und Umsetzung von Anpassung {WGII 16.3.2.8}	untergraben Maßnahmen, Anreize und Kooperation im Hinblick auf die Entwicklung von Minderungsmaßnahmen und die Implementierung effizienter, kohlenstoffneutraler Technologien und solcher mit Erneuerbaren Energien {WGIII SPM.3, SPM.5.2, 4.3.2, 6.4.3, 14.1.3.1, 14.3.2.2, 15.12.2, 16.5.3}
Fehlender Zugang zu nationaler und internationaler Klimafinanzierung	verringert das Maß an Investitionen in Anpassungsverfahren und -maßnahmen und daher deren Wirksamkeit {WGII 16.3.2.5}	verringert die Kapazität von Industrie- und insbesondere Entwicklungsländern, Maßnahmen und Technologien zu verfolgen, die Emissionen mindern. {WGIII TS.4.3, 12.6.2, 16.2.2.2}
Unzureichende Technologie	verringert die Bandbreite verfügbarer Anpassungsoptionen sowie deren Wirksamkeit für die Verringerung bzw. Vermeidung von Risiken aus größerem oder schneller fortschreitendem Klimawandel {WGII 16.3.2.1}	mindert die Geschwindigkeit, mit der Gesellschaften die Kohlenstoffintensität von Energieleistungen verringern und den Übergang zu kohlenstoffarmen und kohlenstoffneutralen Technologien bewirken können {WGIII TS.3.1.3, 4.3.6, 6.3.2.2, 11.8.4}
Unzureichende Qualität und/oder Quantität natürlicher Ressourcen	verringert das Bewältigungsvermögen von Akteuren; Verwundbarkeit gegenüber nicht-klimatischen Faktoren und potenzieller Wettbewerb um Ressourcen, der zur Erhöhung von Verwundbarkeiten führt {WGII 16.3.2.3}	verringert die langfristige Nachhaltigkeit unterschiedlicher Energietechnologien {WGIII 4.3.7, 4.4.1, 11.8.3}
Anpassungs- und Entwicklungsdefizite	erhöhen die Verwundbarkeit gegenüber derzeitigen Klimaschwankungen sowie dem zukünftigen Klimawandel {WGII TS A-1, Tabelle TS 5, 16.3.2.4}	verringern die Minderungskapazität und untergraben internationale Kooperationsbemühungen aufgrund umstrittener Altlasten aus Entwicklungskooperationen {WGIII 4.3.1, 4.6.1}
Ungleichverteilung	führt dazu, dass diejenigen, die am verwundbarsten sind, unverhältnismäßig stark von den Folgen des Klimawandels und den Belastungen durch Anpassung betroffen sind und/oder überträgt diese Folgen auf zukünftige Generationen {WGII TS B-2, Box TS 4, Box 13-1, 16.7}	beschränkt die Möglichkeiten von Entwicklungsländern mit geringen Einkommensniveaus bzw. von verschiedenen Gemeinden oder Sektoren innerhalb von Ländern, zur Treibhausgasreduzierung beizutragen {WGIII 4.6.2.1}

nicht adäquat begegnet. Die Umsetzung wirksamer Anpassungs- und Minderungsoptionen kann neue Institutionen und institutionelle Ausgestaltungen auf mehreren Maßstäben erfordern (*mittleres Vertrauen*) (Tabelle 4.1). {WGII SPM B-2, TS C-1, 16.3.2.4, 16.8, WGIII SPM.4.2.5, SPM.5.1, SPM.5.2, TS.1, TS.3.1.3, TS.4.1, TS.4.2, TS.4.4}

## 4.2 Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

Anpassungsoptionen bestehen in allen Sektoren. Jedoch unterscheiden sich je nach Sektor und Region das Umfeld der Umsetzung und das Potenzial zur Verringerung klimabezogener Risiken. Einige Anpassungsmaßnahmen sind mit signifikanten positiven Nebeneffekten, Synergien und Zielkonflikten verbunden. Zunehmender Klimawandel wird die Anforderungen an viele Anpassungsmöglichkeiten erhöhen.

**Menschen, Regierungen und der private Sektor beginnen sich an das sich ändernde Klima anzupassen. Seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) ist das Verständnis der Reaktionsmöglichkeiten gewachsen, einschließlich eines besseren Wissens über ihre Vorteile, Kosten und Zusammenhänge mit nachhaltiger Entwicklung.** Abhängig von ihrer Einbettung in Verwundbarkeitsverringering, Katastrophenrisikomanagement oder proaktive Anpassungsplanung kann Anpassung durch verschiedene Ansätze erfolgen. Dazu gehören (siehe Tabelle 4.2 zu Beispielen und Einzelheiten):

- Soziale, ökologische Vermögens- und Infrastrukturentwicklung
- Technologische Prozessoptimierung
- Integriertes Management natürlicher Ressourcen
- Wandel oder Bestärkung von Institutionen, Bildung und Verhalten
- Finanzielle Leistungen, einschließlich Risikotransfer
- Informationssysteme zur Unterstützung von Frühwarnung und proaktiver Planung

Tabelle 4.2 | Ansätze für den Umgang mit Risiken des Klimawandels durch Anpassung. Diese Ansätze sollten als überlappend und nicht als getrennt voneinander betrachtet werden, und sie werden häufig gleichzeitig verfolgt. Die angeführten Beispiele folgen keiner bestimmten Reihenfolge und können für mehr als eine Kategorie relevant sein. [WGII Tabelle SPM. 1]

Sich überschneidende Ansätze	Kategorie	Beispiele	WGII Referenzen
<p><b>Verringerung von Verwundbarkeit &amp; Exposition</b>                      durch Entwicklung, Planung und praktische Maßnahmen, einschließlich vieler Low-Regret-Maßnahmen</p> <p><b>Anpassung</b>                      einschließlich schrittweiser und transformativer Umstellungen</p>	Entwicklung	Verbesserter Zugang zu Bildung, Nahrung, Gesundheitseinrichtungen, Energie, sicheren Wohn- und Siedlungsstrukturen und sozialen Sicherungssystemen; Verringerung von Geschlechterdiskriminierung und sozialer Ausgrenzung anderer Art.	8.3, 9.3, 13.1-3, 14.2-3, 22.4
	Armutslinderung	Verbesserter Zugang zu und Kontrolle von lokalen Ressourcen; Grundbesitzverhältnisse; Katastrophenvorsorge; soziale Sicherungsnetze und sozialer Schutz; Versicherungssysteme.	8.3-4, 9.3, 13.1-3
	Sicherung von Existenzgrundlagen	Diversifikation von Einkommen, Vermögen und Lebensunterhalt; verbesserte Infrastruktur; Zugang zu Technologie- und Entscheidungsgremien; verstärkte Beteiligung an Entscheidungen; veränderte Anbau-, Viehhaltungs- und Aquakultur-Verfahren; belastbare soziale Netzwerke.	7.5, 9.4, 13.1-3, 22.3-4, 23.4, 26.5, 27.3, 29.6, Tabelle SM24-7
	Management von Katastrophenrisiko	Frühwarnsysteme; systematische Erfassung von Gefährdungen und Verwundbarkeiten; Diversifikation von Wasserressourcen; verbesserte Entwässerung; Schutzräume gegen Überschwemmungen und Stürme; Bauvorschriften und -verfahren; Niederschlagswasser- und Abwassermanagement; Verbesserungen von Transport- und Verkehrsinfrastruktur.	8.2-4, 11.7, 14.3, 15.4, 22.4, 24.4, 26.6, 28.4, Box 25-1, Tabelle 3-3
	Ökosystemmanagement	Erhalt von Feuchtgebieten und städtischen Grünflächen; Küstenbewaldung; Management von Wassereinzugsgebieten und Staubecken; Verringerung sonstiger Stressoren für Ökosysteme und der Fragmentierung natürlicher Lebensräume; Erhalt genetischer Vielfalt; Beeinflussung von Störungsregimen; Management natürlicher Ressourcen auf Gemeindeebene.	4.3-4, 8.3, 22.4, Tabelle 3-3, Boxen 4-3, 8-2, 15-1, 25-8, 25-9 & CC-EA
	Raum- oder Landnutzungsplanung	Bereitstellung geeigneter Wohnbedingungen, Infrastruktur und Dienstleistungen; Erschließungsmanagement in hochwassergefährdeten und anderen Gebieten mit hohem Risiko; Stadtplanungs- und Modernisierungsprogramme; Gesetze zur Raumordnung; Nutzungsrechte; Schutzgebiete.	4.4, 8.1-4, 22.4, 23.7-8, 27.3, Box 25-8
	Strukturell/physisch	<b>Großtechnische und bauliche Optionen:</b> Uferdämme und Küstenschutzmaßnahmen; Hochwasserdeiche; Wasserspeicher; verbesserte Entwässerung; Schutzräume gegen Überschwemmung und Stürme; Bauvorschriften und -verfahren; Niederschlagswasser- und Abwassermanagement; Verbesserung der Transport- und Verkehrsinfrastruktur; schwimmende Häuser; Anpassungen von Kraftwerken und Stromnetzen.	3.5-6, 5.5, 8.2-3, 10.2, 11.7, 23.3, 24.4, 25.7, 26.3, 26.8, Boxen 15-1, 25-1, 25-2 & 25-8
		<b>Technologische Optionen:</b> Neue Nutzpflanzen- und Tierzüchtungen; indigenes, traditionelles und lokales Wissen, Technologien und Methoden; effiziente Bewässerung; wassersparende Technologien; Entsalzung; bodenschonende Landwirtschaft; Einrichtungen zur Lagerung und Konservierung von Nahrungsmitteln; Systematische Erfassung und Überwachung von Gefährdungen und Verwundbarkeiten; Frühwarnsysteme; Gebäudedämmung, mechanische und passive Kühlung; Technologieentwicklung, -transfer und -verbreitung.	7.5, 8.3, 9.4, 10.3, 15.4, 22.4, 24.4, 26.3, 26.5, 27.3, 28.2, 28.4, 29.6-7, Boxen 20-5 & 25-2, Tabellen 3-3 & 15-1
		<b>Ökosystembasierte Optionen:</b> Renaturierung; Bodenschutz, Aufforstung und Wiederaufforstung; Schutz und Neupflanzung von Mangroven; Grüne Infrastruktur (z. B. Schattenbäume, Gründächer); Begrenzung der Überfischung; Mitbestimmung in der Fischerei; unterstützte Artenmigration und -ausbreitung; ökologische Korridore, Saatgut- und Genbanken und andere <i>Ex-situ</i> -Erhaltungsmaßnahmen; Management natürlicher Ressourcen auf Gemeindeebene.	4.4, 5.5, 6.4, 8.3, 9.4, 11.7, 15.4, 22.4, 23.6-7, 24.4, 25.6, 27.3, 28.2, 29.7, 30.6, Boxen 15-1, 22-2, 25-9, 26-2 & CC-EA
		<b>Dienstleistungen:</b> Soziale Sicherheitsnetze und sozialer Schutz; Lebensmittelbanken und Verteilung von Nahrungsmittelüberschüssen, städtische Dienstleistungen einschließlich Wasserversorgung und Abwasserentsorgung; Impfprogramme; öffentliche Gesundheits-Grundversorgung; verbesserte Notfallmedizinische Leistungen.	3.5-6, 8.3, 9.3, 11.7, 11.9, 22.4, 29.6, Box 13-2
	Institutionell	<b>Wirtschaftliche Optionen:</b> Finanzielle Anreize; Versicherungen; Katastrophenschutzfonds, Zahlungen für Ökosystemdienstleistungen, Bepreisung von Wasser als Anreiz zur allgemeinen Versorgung und zur sparsamen Verwendung; Mikrofinanzierung; Sicherheitsrücklagen für den Katastrophenfall; Bargeldtransfer; öffentlich-private Partnerschaften.	8.3-4, 9.4, 10.7, 11.7, 13.3, 15.4, 17.5, 22.4, 26.7, 27.6, 29.6, Box 25-7
		<b>Gesetze und Vorschriften:</b> Raumordnungsgesetze; Baunormen und -verfahren; Nutzungsrechte; Wasservorschriften und -abkommen; Gesetze zur Katastrophenvorsorge; Gesetze zur Förderung von Versicherungsabschlüssen; Schaffung klar definierter Eigentumsrechte und sicherer Grundbesitzverhältnisse; Schutzgebiete; Fischfangquoten; Patentpools und Technologietransfer.	4.4, 8.3, 9.3, 10.5, 10.7, 15.2, 15.4, 17.5, 22.4, 23.4, 23.7, 24.4, 25.4, 26.3, 27.3, 30.6, Tabelle 25-2, Box CC-CR
		<b>Politische Maßnahmen und Programme auf nationaler und Regierungsebene:</b> Nationale und regionale Anpassungspläne, einschließlich Mainstreaming (Integration in bestehende Politikbereiche); subnationale und lokale Anpassungspläne; wirtschaftliche Diversifikation; urbane Aufwertungsprogramme; städtische Wasserwirtschaftsprogramme; Katastrophenschutzplanung und -vorsorge; integriertes Wasserressourcenmanagement; integriertes Küstenzonenmanagement; ökosystembasiertes Management; gemeindebasierte Anpassung.	2.4, 3.6, 4.4, 5.5, 6.4, 7.5, 8.3, 11.7, 15.2-5, 22.4, 23.7, 25.4, 25.8, 26.8-9, 27.3-4, 29.6, Boxen 25-1, 25-2 & 25-9, Tabellen 9-2 & 17-1
	Sozial	<b>Bildungsbezogene Optionen:</b> Sensibilisierung und Integration in die Bildung; Geschlechtergleichstellung in der Bildung; Erwachsenenbildung; Bereitstellung von indigenem, traditionellem und lokalem Wissen; Erforschung partizipativen Vorgehens und soziales Lernen, Plattformen für Wissensaustausch und Lernen.	8.3-4, 9.4, 11.7, 12.3, 15.2-4, 22.4, 25.4, 28.4, 29.6, Tabellen 15-1 & 25-2
		<b>Informatorische Optionen:</b> Systematische Erfassung von Gefährdungen und Verwundbarkeiten; Frühwarn- und Reaktionssysteme; systematische Überwachung und Fernerkundung; Klimadienleistungen; Nutzung indigener Klimabeobachtungen; partizipative Entwicklung von Szenarien; integrierte Bewertung.	2.4, 5.5, 8.3-4, 9.4, 11.7, 15.2-4, 22.4, 23.5, 24.4, 25.8, 26.6, 26.8, 27.3, 28.2, 28.5, 30.6, Tabelle 25-2, Box 26-3
<b>Verhaltensoptionen:</b> Vorbereitung der Haushalte und Evakuierungsplanung; Migration; Boden- und Wasserschutz; Freilegung von Regenwasserkanälen; Diversifikation von Existenzgrundlagen; veränderte Anbau-, Viehhaltungs- und Aquakultur-Verfahren; belastbare soziale Netzwerke.		5.5, 7.5, 9.4, 12.4, 22.3-4, 23.4, 23.7, 25.7, 26.5, 27.3, 29.6, Tabelle SM24-7, Box 25-5	
Bereiche der Veränderung	<b>Praktisch:</b> Soziale und technische Neuerungen; Verhaltensänderungen oder institutionelle und betriebswirtschaftliche Änderungen, die zu wesentlichen Ergebnisverschiebungen führen.	8.3, 17.3, 20.5, Box 25-5	
	<b>Politisch:</b> Politische, soziale, kulturelle und ökologische Entscheidungen und Handlungen im Einklang mit der Verringerung von Verwundbarkeit und Risiken und der Unterstützung von Anpassung, Minderung und nachhaltiger Entwicklung.	14.2-3, 20.5, 25.4, 30.7, Tabelle 14-1	
	<b>Persönlich:</b> Anschauungen, Überzeugungen, Werte und Weltanschauungen des Einzelnen und von Gesellschaften, die Reaktionen auf den Klimawandel beeinflussen.	14.2-3, 20.5, 25.4, Tabelle 14-1	

Der Wert gesellschaftlicher (einschließlich lokaler und indigener), institutioneller und ökosystembasierter Maßnahmen und das Ausmaß von Anpassungseinschränkungen werden zunehmend wahrgenommen. Wirksame Strategien und Maßnahmen berücksichtigen das Potenzial für positive Nebeneffekte und Chancen im Rahmen breiter angelegter strategischer Ziele und Entwicklungspläne. {WGII SPM A-2, SPM C-1, TSA-2, 6.4, 8.3, 9.4, 15.3}

**Gelegenheiten Anpassungsplanung und -umsetzung zu ermöglichen bestehen in allen Sektoren und Regionen, kontextbedingt mit unterschiedlichen Potenzialen und Ansätzen. Es wird erwartet, dass sich der Anpassungsbedarf und die damit verbundenen Herausforderungen mit dem Klimawandel erhöhen (sehr hohes Vertrauen).** Beispiele für entscheidende Anpassungsansätze für bestimmte Sektoren – einschließlich der Hemmnisse und Grenzen – sind nachstehend zusammengefasst. {WGII SPM B, SPM C, 16.4, 16.6, 17.2, 19.6, 19.7, Tabelle 16.3}

#### **Süßwasserressourcen**

**Adaptive Wassermanagement-Techniken, einschließlich der Szenario-Planung, lernbasierter Ansätze sowie flexibler und „Low-Regret“-Lösungen können zur Anpassung an unsichere hydrologische Veränderungen aufgrund des Klimawandels und an ihre Folgen beitragen (begrenzte Belege, hohe Übereinstimmung).** Zu den Strategien gehören die Einführung integrierter Wassermanagements, eine Aufstockung der Versorgung, Verringerung der Diskrepanz zwischen Wasserversorgung und -bedarf, Verringerung nicht-klimatischer Stressoren, Stärkung institutioneller Kapazitäten und die Einführung wassereffizienterer Technologien und von Strategien zum Wassersparen. {WGII SPM B-2, Bewertungs-Box SPM.2 Tabelle 1, SPM B-3, 3.6, 22.3–22.4, 23.4, 23.7, 24.4, 27.2–27.3, Box 25-2}

#### **Terrestrische und Süßwasser-Ökosysteme**

**Managementmaßnahmen können die Risiken von Folgen des Klimawandels für terrestrische und Süßwasser-Ökosysteme verringern, jedoch nicht ganz beseitigen (hohes Vertrauen).** Zu den Maßnahmen zählen der Erhalt genetischer Vielfalt, unterstützte Migration und Umsiedlung von Arten, Beeinflussung von Störungsregimen (z. B. Feuer, Überschwemmungen) und Verringerung anderer Stressfaktoren. Managementoptionen, die nicht-klimatische Stressfaktoren, wie etwa Lebensraumveränderungen, Raubbau, Verschmutzung und invasive Arten, verringern, erhöhen die inhärente Kapazität von Ökosystemen und ihren Arten, sich an ein sich änderndes Klima anzupassen. Weitere Optionen sind unter anderem der Ausbau von Frühwarnsystemen und der damit verbundenen Reaktionssysteme. Auch eine verbesserte Konnektivität verwundbarer Ökosysteme könnte die autonome Anpassung fördern. Die Umsiedlung von Arten ist umstritten und wird voraussichtlich schwerer durchführbar, wenn ganze Ökosysteme bedroht sind. {WGII SPM B-2, SPM B-3, Abbildung SPM.5, Tabelle TS.8, 4.4, 25.6, 26.4, Box CC-RF}

#### **Küstensysteme und niedrig liegende Gebiete**

**Zunehmend beinhaltet Küstenanpassung Optionen, die auf einem integrierten Küstenzonenmanagement, lokaler Gemeinschaftsbeteiligung, ökosystembasierten Ansätzen und Katastrophenvorsorge beruhen und die in relevante Strategien und Managementpläne eingeflossen sind (hohes Vertrauen).** Die Analyse und Umsetzung von Küstenanpassung ist in Industrieländern

weiter fortgeschritten als in Entwicklungsländern (*hohes Vertrauen*). Voraussichtlich variieren die relativen Kosten der Küstenanpassung zwischen und innerhalb von Regionen und Ländern stark. {WGII SPM B-2, SPM B-3, 5.5, 8.3, 22.3, 24.4, 26.8, Box 25-1}

#### **Marine Systeme und Ozeane**

**Marine Vorhersagen und Frühwarnsysteme sowie die Verringerung nicht-klimatischer Stressfaktoren haben das Potenzial, Risiken für einige Fischereien und Aquakulturindustrien zu senken, jedoch sind die Optionen für einzigartige Ökosysteme wie Korallenriffe begrenzt (hohes Vertrauen).** Hoch-technologische und/oder gut finanzierte Fischereien und einige Aquakulturindustrien haben aufgrund weiter entwickelter ökologischer Überwachung, Modellierung und Ressourcenbewertung große Anpassungskapazitäten. Anpassungsoptionen beinhalten die großräumige Verlagerung industrieller Fischfangaktivitäten und flexibles Management, das auf Variabilität und Wandel reagieren kann. Für kleinere Fischereien und Länder mit begrenzten Anpassungskapazitäten sind der Aufbau sozialer Resilienz, alternativer Existenzgrundlagen und beruflicher Flexibilität wichtige Strategien. Anpassungsoptionen für Korallenriffsysteme sind im Allgemeinen begrenzt auf die Verringerung anderer Stressfaktoren, hauptsächlich durch Verbesserung der Wasserqualität und die Begrenzung von Belastungen durch Tourismus und Fischfang, ihre Wirksamkeit wird jedoch durch steigenden Temperaturstress und zunehmende Ozeanversauerung stark verringert werden. {WGII SPM B-2, SPM Bewertungs-Box SPM.2 Tabelle 1, TS B-2, 5.5, 6.4, 7.5, 25.6.2, 29.4, 30.6-7, Box CC-MB, Box CC-CR}

#### **Nahrungsmittelproduktionssystem/Ländliche Gebiete**

**Anpassungsoptionen für die Landwirtschaft beinhalten technologische Reaktionen, die Verbesserung des Zugangs zu Krediten und anderen notwendigen Produktionsmitteln für Kleinbauern, die Stärkung von Institutionen auf lokaler bis regionaler Ebene und die Verbesserung des Marktzugangs durch Handelsreformen (mittleres Vertrauen).** Zu den Reaktionen auf eine verringerte Nahrungsmittelproduktion und -qualität gehören: Entwicklung neuer Pflanzensorten, die an Veränderungen von CO<sub>2</sub>, Temperaturen sowie Dürren angepasst sind; Ausbau der Kapazitäten für Klimarisikomanagement, sowie Ausgleich der wirtschaftlichen Auswirkungen von Landnutzungsänderungen. Eine Verbesserung der finanziellen Unterstützung und Investitionen in die Produktion durch Kleinbetriebe können ebenfalls vorteilhaft sein. Die Ausweitung landwirtschaftlicher Märkte und eine Verbesserung der Vorhersagbarkeit und Verlässlichkeit des Welthandelssystems könnten die Marktvolatilität verringern und bei der Bewältigung durch Klimawandel verursachter Nahrungsmittelknappheiten helfen. {WGII SPM B-2, SPM B-3, 7.5, 9.3, 22.4, 22.6, 25.9, 27.3}

#### **Städtische Räume/Wirtschaftliche Schlüsselsektoren und -dienstleistungen**

**Urbane Anpassung profitiert von einer effektiven mehrstufigen politischen Steuerung, einer Abstimmung von politischen Maßnahmen und Anreizen, einer gestärkten Anpassungskapazität der Kommunalregierungen und örtlichen Gemeinden, Synergien mit dem Privatsektor sowie angemessener Finanzierung und institutioneller Entwicklung (mittleres Vertrauen).** Die Kapazität von einkommensschwachen Gruppen und verwundbaren Gemeinschaften, sowie deren Beteiligung an kommunalen Regierungen auszubauen kann ebenfalls eine wirksame urbane Anpassungsstrategie

sein. Beispiele für Anpassungsmechanismen sind etwa groß angelegte öffentlich-private Initiativen zur Risikoverringerung, sowie wirtschaftliche Diversifikation und staatliche Absicherungen für den Anteil nicht zu diversifizierender Risiken. An einigen Standorten, insbesondere am oberen Ende der projizierten Klimaänderungen, könnten Reaktionen auch transformative Änderungen wie einen geordneten Rückzug erfordern. {WGII SPM B-2, 8.3–8.4, 24.4, 24.5, 26.8, Box 25-9}

**Gesundheit des Menschen, Sicherheit und Existenzgrundlagen Anpassungsoptionen, die sich auf die Stärkung bestehender Versorgungssysteme und Institutionen konzentrieren sowie auf Versicherung und Sozialschutzstrategien, können schon kurzfristig Gesundheit, Sicherheit und Existenzgrundlagen verbessern (hohes Vertrauen).** Die wirksamsten Maßnahmen zur Verringerung der Verwundbarkeit im Hinblick auf Gesundheit in der näheren Zukunft sind Programme, die grundlegende Maßnahmen öffentlicher Gesundheitssysteme wie die Bereitstellung sauberen Wassers und von Sani-

tärversorgung implementieren und verbessern, eine gesundheitliche Grundversorgung einschließlich Impfung und Gesundheitsleistungen für Kinder sicherstellen, die Fähigkeit zur Katastrophenvorsorge und den Umgang damit verbessern sowie die Armut lindern (*sehr hohes Vertrauen*). Optionen zur Vermeidung hitzebedingter Sterblichkeit beinhalten mit Reaktionsstrategien verbundene Frühwarnsysteme, Stadtplanung und Verbesserungen des bebauten Raumes, um Hitzestress zu verringern. Robuste Institutionen können viele grenzüberschreitende Auswirkungen des Klimawandels bewältigen, um das Risiko von Konflikten um gemeinsame natürliche Ressourcen zu verringern. Versicherungsprogramme, Sozialschutzmaßnahmen und Katastrophenrisikomanagement können die langfristige Resilienz von Existenzgrundlagen armer und benachteiligter Menschen verbessern, wenn die politischen Maßnahmen auf mehrdimensionale Armut ausgerichtet sind. {WGII SPM B-2, SPM B-3, 8.2, 10.8, 11.7–11.8, 12.5–12.6, 22.3, 23.9, 25.8, 26.6, Box CC-HS}

**Tabelle 4.3** | Beispiele möglicher Zielkonflikte, die mit einer illustrativen Auswahl von Anpassungsoptionen verbunden sind, die von Akteuren implementiert werden könnten, um bestimmte Managementziele zu erreichen. {WGII Tabelle 16-2}

Sektor	Anpassungsziel des Akteurs	Anpassungsoption	Tatsächliche oder wahrgenommene Zielkonflikte
Landwirtschaft	Resistenz gegenüber Dürren und Schädlingen verbessern, Erträge erhöhen	Biotechnologie und genetisch veränderte Pflanzen	vermeintliche Risiken für öffentliche Gesundheit und Sicherheit; ökologische Risiken im Zusammenhang mit der Einführung neuer genetischer Varianten in natürliche Umgebungen
	Finanzielle Sicherheitsnetze für Landwirte bereitstellen, um die Fortführung landwirtschaftlicher Betriebe sicherzustellen	Subventionierte Dürre-Hilfe; Ernteversicherung	Schafft bei nicht sachgerechter Ausführung moralische Risiken und Ungleichverteilungen
	Ernteerträge erhalten oder verbessern; opportunistische landwirtschaftliche Schädlinge und invasive Arten unterdrücken	Vermehrter Einsatz von chemischem Dünger und Pestiziden	Vermehrte Freisetzung von Nährstoffen und chemischen Schadstoffen in die Umwelt, negative Auswirkungen des Pestizideinsatzes auf Nicht-Zielarten; erhöhte Emissionen von Treibhausgasen; erhöhte Exposition von Menschen gegenüber Schadstoffen
Biologische Vielfalt	Die Kapazität für natürliche Anpassung und Migration gegenüber veränderten klimatischen Bedingungen verbessern	Migrationskorridore; Ausweitung von Schutzgebieten	Unbekannte Wirksamkeit, Bedenken hinsichtlich Eigentumsrechte im Hinblick auf Landerwerb; Herausforderungen für politische Steuerung und Koordination
	Den regulatorischen Schutz für potenziell durch klimatische und nicht-klimatische Veränderungen bedrohte Arten verbessern	Schutz kritischer Lebensräume für verwundbare Arten	Bewältigung sekundärer statt primärer Belastungen für Arten; Bedenken hinsichtlich Eigentumsrechte; regulatorische Hemmnisse für regionale wirtschaftliche Entwicklung
	Den Erhalt wertvoller Arten erleichtern, indem Populationen in andere Gebiete verlagert werden, wenn sich das Klima ändert	Assistierte Migration	Letztlicher Erfolg einer assistierten Migration schwer vorhersehbar; mögliche negative Auswirkungen auf indigene Flora und Fauna durch die Einführung neuer Arten in neuen ökologischen Regionen
Küsten	Zeitnahen Schutz finanzieller Güter vor Überflutungen und/oder Erosion bereitstellen	Strandmauern	Hohe direkte und Opportunitätskosten; Billigkeitsbedenken, ökologische Auswirkungen auf Küstenfeuchtgebiete
	Den Ablauf natürlicher küstennaher und ökologischer Prozesse zulassen; langfristige Risiken für Eigentum und Vermögen verringern	Geordneter Rückzug	Untergräbt private Eigentumsrechte; signifikante Herausforderungen bezüglich politischer Steuerung und Koordination bei der Umsetzung
	Öffentliche Gesundheit und Sicherheit erhalten; Vermögensschäden und das Risiko verlorener Investitionen minimieren	Auswanderung aus niedrig liegenden Gebieten	Verlust von Raumwahrnehmung und kultureller Identität; Beschädigung von verwandtschaftlichen und familiären Bindungen; Folgen für aufnehmende Gemeinden
Wasserressourcenmanagement	Verlässlichkeit von Wasserressourcen und Dürre-Resilienz erhöhen	Entsalzung	Ökologisches Risiko von Salzwasseraustritt; hoher Energiebedarf und damit verbundene Kohlenstoffemissionen; bietet negative Anreize zum Erhalt
	Wirksamkeit von Wasserverwaltung und -nutzung maximieren, Flexibilität erhöhen	Wasserhandel	Untergräbt öffentliche Güter/soziale Aspekte in Bezug auf Wasser
	Effizienz verfügbarer Wasserressourcen erhöhen	Wasserwiederaufbereitung/-wiederverwendung	vermeintliche Risiken für öffentliche Gesundheit und Sicherheit

Zwischen Minderung und Anpassung sowie zwischen verschiedenen Anpassungsreaktionen bestehen **signifikante positive Nebeneffekte, Synergien und Zielkonflikte**; Wechselwirkungen treten sowohl innerhalb von Regionen und Sektoren als auch regionen- und sektorenübergreifend auf (*sehr hohes Vertrauen*).

So können beispielsweise Investitionen in an den Klimawandel angepasste Nutzpflanzensorten die Kapazität zur Bewältigung von Dürren erhöhen und öffentliche Gesundheitsmaßnahmen zur Bekämpfung von Vektorkrankheiten können die Kapazität von Gesundheitssystemen zur Bewältigung anderer Herausforderungen verbessern. Ebenso hilft die Errichtung von Infrastrukturen fern von tief liegenden Küstengebiete Siedlungen und Ökosystemen bei der Anpassung an den Meeresspiegelanstieg und schützt diese gleichzeitig vor Tsunamis. Einige Anpassungsoptionen können jedoch negative Nebeneffekte haben, die auf tatsächliche oder wahrgenommene Zielkonflikte mit anderen Anpassungszielen (siehe Tabelle 4.3 zu Beispielen), Minderungszielen oder breiteren Entwicklungszielen schließen lassen. Während beispielsweise der Schutz von Ökosystemen die Anpassung an den Klimawandel unterstützen und die Kohlenstoffspeicherung steigern kann, kann die zunehmende Verwendung von Klimaanlage zum Erhalt des Komforts in Gebäuden oder die Meerwasserentsalzung zur Sicherung von Wasserressourcen den Energiebedarf und damit die THG-Emissionen erhöhen. {WGII SPM B-2, SPM C-1, 5.4.2, 16.3.2.9, 17.2.3.1, Tabelle 16-2}

### 4.3 Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels

**Minderungsoptionen bestehen in jedem wichtigen Sektor. Minderung kann kosteneffizienter sein, wenn ein integrierter Ansatz verfolgt wird, der Maßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasintensität von Endverbrauchssektoren, zur Dekarbonisierung der Energieversorgung, zur Verringerung von Nettoemissionen und zur Stärkung von Kohlenstoffsinken in landbasierten Sektoren kombiniert.**

Es ist eine große Bandbreite sektoraler Minderungsoptionen verfügbar, die die THG-Emissionsintensität verringern können, die Energieintensität durch eine Verbesserung von Technologie, Verhalten, Produktion und Ressourceneffizienz verbessern können sowie strukturelle Veränderungen oder Aktivitätsänderungen ermöglichen. Darüber hinaus beinhalten direkte Optionen in Landwirtschaft, Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (AFOLU) eine Verringerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen durch eine Reduzierung von Entwaldung, Waldschädigungen und Waldbränden; Speicherung von Kohlenstoff in terrestrischen Systemen (beispielsweise durch Aufforstung) sowie die Bereitstellung von Bioenergie-Brennstoffen. Optionen

zur Verringerung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen existieren in allen Sektoren, insbesondere jedoch in den Sektoren Landwirtschaft, Energieversorgung und Industrie. Tabelle 4.4 gibt eine Übersicht über die sektoralen Minderungsoptionen und -potenziale. {WGIII TS 3.2.1}

**Gut gestaltete systemische und sektorenübergreifende Minderungsstrategien sind kosteneffizienter in der Emissionsminderung als ein Fokus auf einzelne Technologien und Sektoren, wobei die Bemühungen in einem Sektor den Minderungsbedarf in anderen beeinflussen (mittleres Vertrauen).** Basisszenarien ohne neue Minderungsmaßnahmen projizieren einen Anstieg der THG-Emissionen für alle Sektoren, mit Ausnahme der Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen im AFOLU-Sektor (Abbildung 4.1, linke Tafel). Minderungsszenarien, die Konzentrationen von etwa 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq<sup>42</sup> bis zum Jahr 2100 erreichen<sup>43</sup> (*wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über dem vorindustriellen Niveau) zeigen großskalige globale Veränderungen im Energieversorgungssektor (Abbildung 4.1, mittlere und rechte Tafel). Während eine schnelle Dekarbonisierung der Energieversorgung im Allgemeinen mehr Flexibilität für die Endverbrauchssektoren und den AFOLU-Sektor bedeutet, verringern stärkere Bedarfsreduzierungen die Minderungsherausforderung für die Versorgerseite des Energiesystems (Abbildungen 4.1 und 4.2). Es gibt also starke Wechselbeziehungen zwischen den Sektoren und die daraus resultierende Verteilung der Minderungsbemühungen wird erheblich durch die Verfügbarkeit und Wirkung zukünftiger Technologien beeinflusst, insbesondere BECCS und großräumige Aufforstung (Abbildung 4.1, mittlere und rechte Tafel). Die nächsten beiden Jahrzehnte sind ein Zeitfenster zur Minderung in städtischen Räumen, da ein Großteil der weltweiten städtischen Räumen in diesem Zeitraum erschlossen werden wird. {WGIII SPM.4.2, TS.3.2}

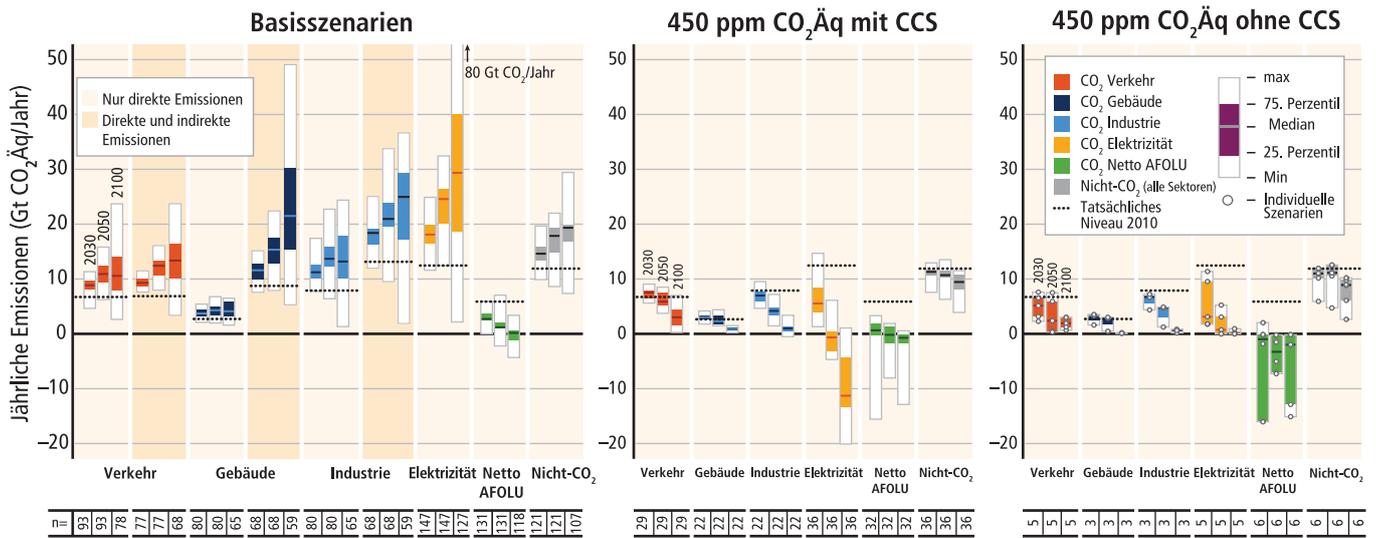
**Die Dekarbonisierung (d. h. die Verringerung der Kohlenstoffintensität) der Stromerzeugung ist ein wesentlicher Bestandteil kosteneffizienter Minderungsstrategien, um niedrige Stabilisierungsniveaus zu erreichen (von etwa 450 bis etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq, Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über dem vorindustriellen Niveau mindestens etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht) (mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung)** In den meisten Szenarien Integrierter Modelle erfolgt die Dekarbonisierung der Stromerzeugung schneller als in den Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr. In Szenarien, die Konzentrationen von 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 erreichen, wird ein Rückgang der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieversorgungssektor über das nächste Jahrzehnt projiziert, und sie sind durch Verringerungen um 90 % oder mehr unter das Niveau von 2010 zwischen 2040 und 2070 gekennzeichnet. {WGIII SPM.4.2.4, 6.8, 7.11}

**Effizienzsteigerungen und Verhaltensänderungen, die den Energiebedarf gegenüber Basisszenarien verringern, ohne die Entwicklung einzuschränken, sind eine entscheidende Minderungsstrategie in Szenarien, die atmosphärische CO<sub>2</sub>Äq-Konzentrationen von ca. 450 bis etwa 500 ppm bis zum Jahr 2100**

<sup>42</sup> Siehe Glossar für Definitionen von CO<sub>2</sub>Äq-Konzentrationen und -Emissionen; ebenso Box 3.2 zu Metriken zur Berechnung der CO<sub>2</sub>-Äquivalenz von Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen und deren Einfluss auf sektorale Minderungsstrategien.

<sup>43</sup> Zum Vergleich: Die CO<sub>2</sub>Äq-Konzentration im Jahr 2011 wird auf 430 [340 bis 520] ppm geschätzt.

Sektorale CO<sub>2</sub>- und Nicht-CO<sub>2</sub>-THG-Emissionen in Basis- und Minderungsszenarien mit und ohne CCS



**Abbildung 4.1 |** Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen nach Wirtschaftssektor und gesamte Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgas (THG)-Emissionen (Kyoto-Gase) über alle Sektoren hinweg in Basis- (linke Tafel) und Minderungsszenarien, die etwa 450 (430 bis 480) ppm CO<sub>2</sub>Äq (wahrscheinliche Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über dem vorindustriellen Niveau) mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS, mittlere Tafel) und ohne CCS (rechte Tafel) erreichen. Ein hellgelber Hintergrund kennzeichnet direkte CO<sub>2</sub>- und Nicht-CO<sub>2</sub>-THG-Emissionen sowohl für Basis- als auch für Minderungsszenarien. Darüber hinaus ist für die Basis Szenarien die Summe direkter und indirekter Emissionen aus den Energie-Endverbrauchssektoren (Verkehr, Gebäude und Industrie) ebenfalls angegeben (dunkelgelber Hintergrund). Minderungsszenarien zeigen lediglich direkte Emissionen. Minderung in den Endverbrauchssektoren führt jedoch auch zu Rückgängen indirekter Emissionen im vorgelagerten Energieversorgungssektor. Direkte Emissionen aus den Endverbrauchssektoren beinhalten also nicht das Emissionsminderungspotenzial auf der Versorgungsseite, z. B. aufgrund eines verringerten Strombedarfs. Es ist zu beachten, dass zur Berechnung der indirekten Emissionen lediglich Stromemissionen aus dem Energieversorgungssektor den Endverbrauchssektoren zugerechnet wurden. Die Zahlen am unteren Rand der Grafiken beziehen sich auf die Anzahl von Szenarien, die innerhalb der jeweiligen Bandbreite liegen. Diese Anzahl variiert je nach Sektor und Zeit aufgrund unterschiedlicher Auflösungen der Sektorenbeschreibungen und Zeithorizonte der Modelle. Es ist zu beachten, dass viele Modelle ohne CCS eine CO<sub>2</sub>Äq-Konzentration von 450 ppm bis zum Jahr 2100 nicht erreichen können, was zu einer geringen Anzahl von Szenarien für die rechte Tafel führt. Negative Emissionen im Stromsektor sind auf die Anwendung von Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS) zurückzuführen. „Netto“-Emissionen aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (AFOLU) berücksichtigen Aufforstungs-, Wiederaufforstungs- und auch Entwaldungsmaßnahmen. {WGIII Abbildung SPM.7, Abbildung TS.15}

**erreichen (belastbare Belege, hohe Übereinstimmung).** Zeitnahe Verringerungen des Energiebedarfs stellen ein wichtiges Element kosteneffizienter Minderungsstrategien dar, erlauben eine größere Flexibilität zur Verringerung der Kohlenstoffintensität im Energieversorgungssektor, bieten eine Absicherung gegen damit einhergehende Versorgungsrisiken, vermeiden einen Lock-In-Effekt im Hinblick auf kohlenstoffintensive Infrastrukturen und sind mit bedeutenden positiven Nebeneffekten verbunden (Abbildung 4.2, Tabelle 4.4). Emissionen können durch Änderungen von Konsummustern (z. B. Mobilitätsbedarf und -weise, Energieverbrauch in Haushalten, Entscheidung für langlebigere Produkte) sowie durch Ernährungsumstellung und Verringerung von Nahrungsmittelverschwendung erheblich gesenkt werden. Eine Reihe von Möglichkeiten einschließlich monetärer und nicht-monetärer Anreize sowie Informationsmaßnahmen können Verhaltensänderungen unterstützen. {WGIII SPM.4.2}

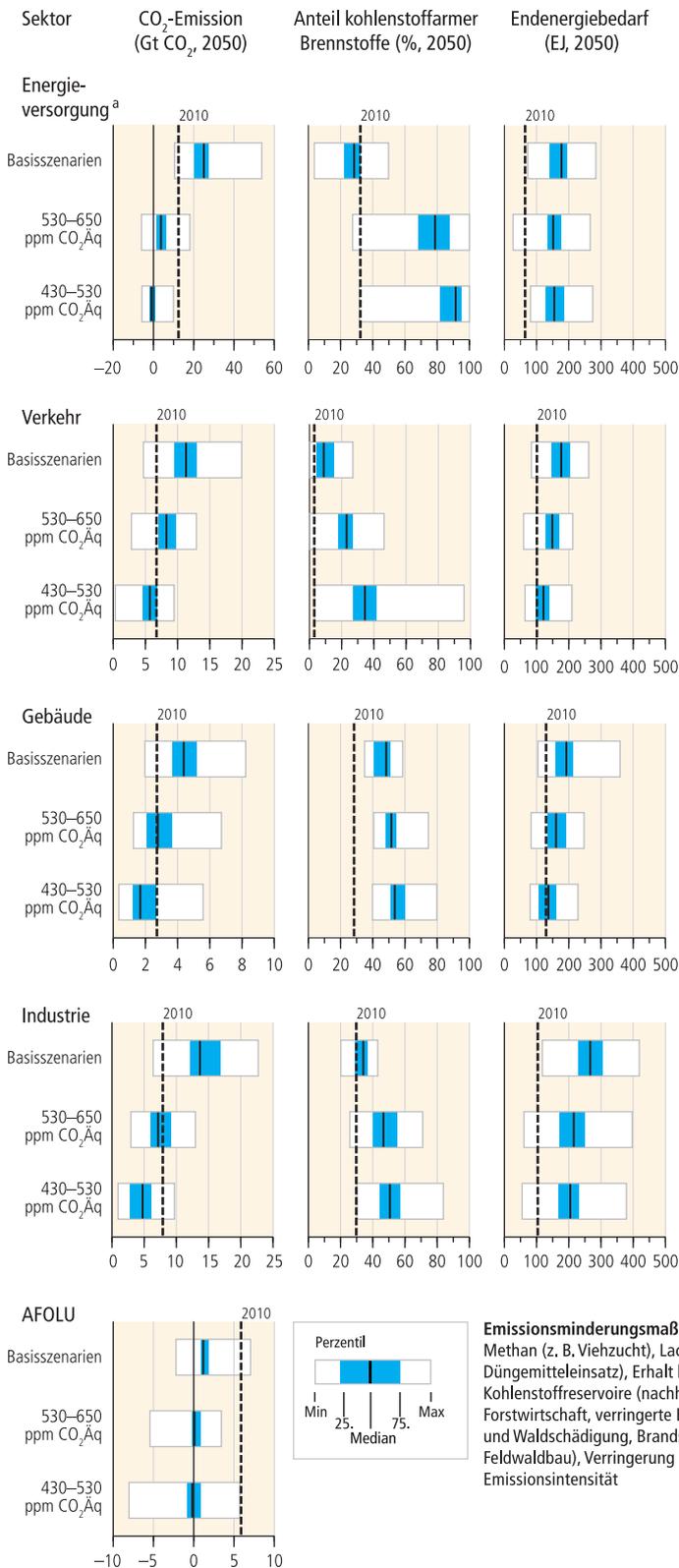
**Eine Dekarbonisierung des Energieversorgungssektors (d. h. Verringerung der Kohlenstoffintensität) erfordert den Ausbau kohlenstoffarmer und kohlenstofffreier Stromerzeugungstechnologien (hohes Vertrauen).** In den meisten Stabilisierungsszenarien mit niedrigen Konzentrationen (etwa 450 bis etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq, Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellen Niveaus mindestens etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht), steigt der Anteil kohlenstoffarmer Stromversorgung (bestehend aus Erneuerbaren Energien (EE), Atomenergie und CCS einschließlich BECCS) vom derzeitigen

Anteil von ungefähr 30 % auf mehr als 80 % bis zum Jahr 2050 und 90 % bis zum Jahr 2100, und der Ausstieg aus der Stromerzeugung mittels fossiler Brennstoffe ohne CCS ist bis 2100 fast vollständig vollzogen. Unter diesen kohlenstoffarmen Technologien hat eine wachsende Anzahl von EE-Technologien einen Reifegrad erreicht, der ihren Einsatz in signifikantem Ausmaß seit dem AR4 ermöglicht (belastbare Belege, hohe Übereinstimmung), und Atomenergie ist eine ausgereifte Grundlaststromquelle mit geringen THG-Emissionen, ihr Anteil an der globalen Stromerzeugung ist jedoch zurückgegangen (seit 1993). THG-Emissionen aus der Energieversorgung können signifikant verringert werden, indem Kohlekraftwerke, die dem derzeitigen weltweiten Durchschnitt entsprechen, durch moderne, hocheffiziente erdgasbefeuerte Kombikraftwerke oder Heizkraftwerke ersetzt werden, vorausgesetzt, dass Erdgas verfügbar ist und die mit der Extraktion und Versorgung verbundenen flüchtigen Emissionen gering sind oder gemindert werden. {WGIII SPM.4.2}

**Verhalten, Lebensstil und Kultur haben beträchtlichen Einfluss auf die Energienutzung und damit verbundene Emissionen, mit einem hohen Minderungspotenzial in einigen Sektoren, insbesondere als Ergänzung zu Technologie- und Strukturwandel (mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung).** Im Verkehrssektor könnten technische und verhaltensbezogene Minderungsmaßnahmen für alle Verkehrsarten, plus Investitionen in neue Infrastrukturen und Stadterneuerung, den Endenergiebedarf signifikant unter das

**Tabelle 4.4 |** Sektorale Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen, damit verbundene Energiesystemänderungen und Beispiele für Minderungsmaßnahmen (einschließlich für Nicht-CO<sub>2</sub>-Gase; siehe Box 3.2 zu Metriken in Bezug auf Gewichtung und Verminderung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen). *{WGIII Abbildung SPM.7, Abbildung SPM.8, Tabelle TS.2, 7.11.3, 7.13, 7.14}*

**Sektorale CO<sub>2</sub>-Emissionen und damit verbundene Energiesystemänderungen**



**Beispiele für sektorale Minderungsmaßnahmen**

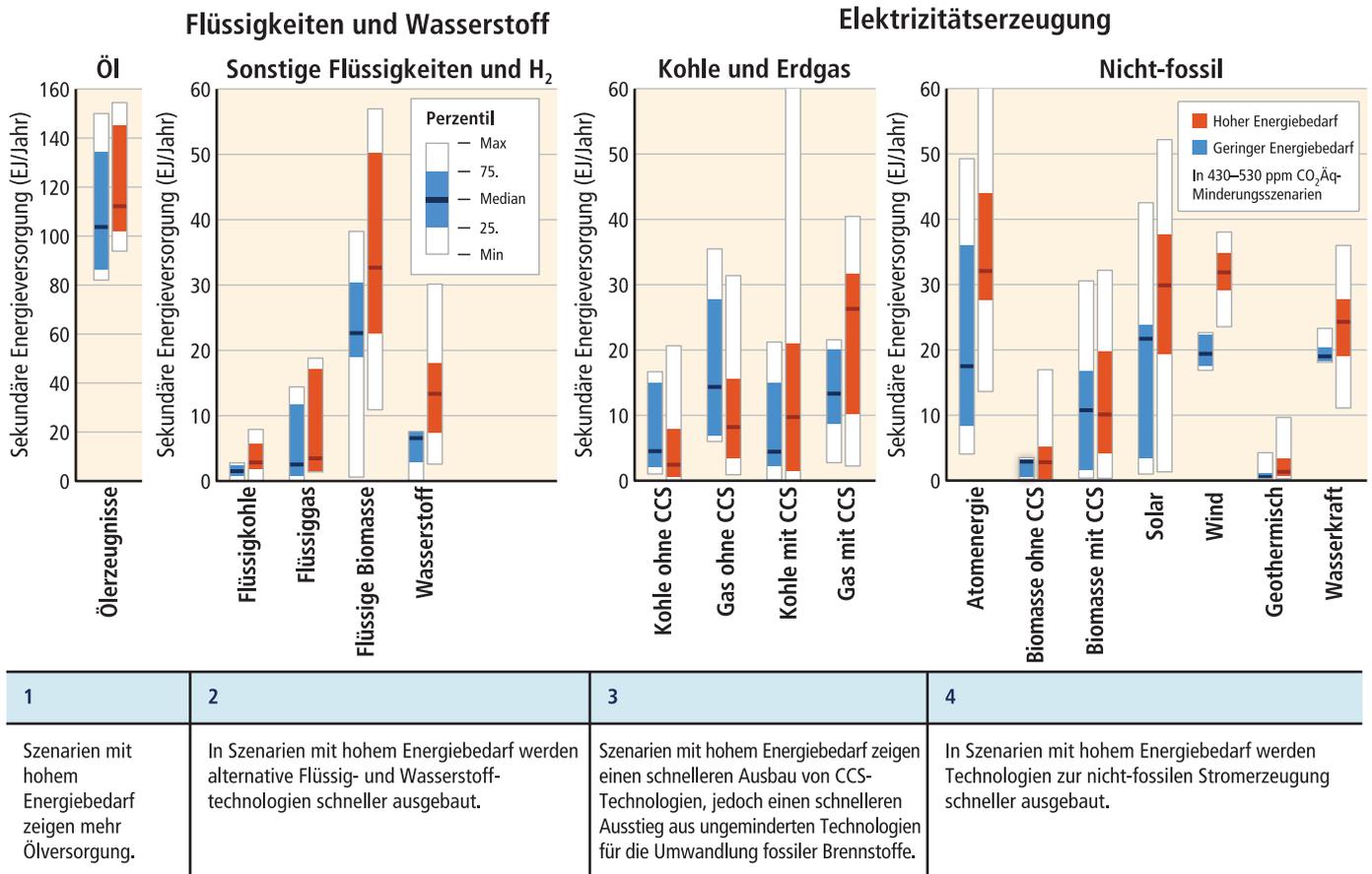
Schlüsseloptionen für kohlenstoffarme Energie	Schlüsseloptionen zur Energieeinsparung	Sonstige Optionen
Erneuerbare Energien (Wind, solare Bioenergie, geothermisch, Wasserkraft usw.), Atomkraft, CCS, BECCS, Umstellung fossiler Brennstoffe	Verbesserungen der Energieeffizienz von Energieversorgungstechnologien, verbesserte Übertragung und Verteilung, KWK	Einschränkung flüchtiger CH <sub>4</sub> -Emissionen
Kraftstoffumstellung auf kohlenstoffarme Kraftstoffe (z. B. Wasserstoff/Strom aus kohlenstoffarmen Quellen), Biokraftstoffe	Effizienzverbesserungen (Motoren, Fahrzeugdesign, Geräte, leichtere Materialien), modale Verschiebungen (z. B. von Kraftfahrzeugen auf öffentliche Transportmittel oder von Flugverkehr auf Schwerlastfahrzeuge und Bahn), spritsparendes Fahren, verbesserte Frachtlogistik, Vermeidung von Fahrten, höhere Auslastung	Verkehrsplanung inkl. Infrastruktur, Stadtplanung
Aufbau integrierter RES, Brennstoffumstellung auf kohlenstoffarme Brennstoffe (z. B. Elektrizität aus kohlenstoffarmen Quellen, Biobrennstoffe)	Geräteeffizienz (Heizungs-/Kühlungssysteme, Warmwasserbereitung, Kochen, Beleuchtung, Geräte), Systemeffizienz (integriertes Design, Energiespar-/Nullenergie-Gebäude, Fernwärme/-kühlung, Kraft-Wärme-Kopplung, intelligente Zähler/Netze), Verhaltens- und Lebensstiländerungen (z. B. Gerätenutzung, Thermostateinstellung, Wohnungsgröße)	Stadtplanung, Lebensdauer von Gebäuden, Haltbarkeit von Gebäudebestandteilen und Geräten, energiearme/THG-intensive Konstruktion und Materialien
Prozessemissionsminderungen, Nutzung von Abfällen und CCS in der Industrie, Brennstoffumstellung unter fossilen Brennstoffen und Umstellung auf kohlenstoffarme Energie (z. B. Elektrizität) oder Biomasse	Energieeffizienz und BVT (z. B. Öfen/Boiler, Dampfsysteme, Elektromotoren und Regelungssysteme, (Ab-)Wärmetausch, Recycling), Verringerung des Bedarfs an Gütern, intensivere Nutzung von Gütern (z. B. Verbesserung der Haltbarkeit oder Car Sharing)	Ersatz für H-FKW und Leckagereparatur, Materialeffizienz (z. B. Prozessinnovation, Wiederverwendung von Altmaterialien, Produktdesign usw.)

**Emissionsminderungsmaßnahmen:** Methan (z. B. Viehzucht), Lachgas (z. B. Düngemiteleininsatz), Erhalt bestehender Kohlenstoffspeicher (nachhaltige Forstwirtschaft, verringerte Entwaldung und Waldschädigung, Brandschutz, Feldwaldbau), Verringerung der Emissionsintensität

**Sequestrierungsoptionen:** Erhöhung bestehender Kohlenstoffspeicher (z. B. Aufforstung, Wiederaufforstung, integrierte Systeme, Kohlenstoffsequestrierung in Böden)

**Substituierungsoptionen:** Verwendung biologischer Produkte anstelle von fossilen/THG-intensiven Produkten (z. B. Bioenergie, Dämmstoffe)

**Nachfrageseitige Maßnahmen:** Verringerung von Nahrungsmittelverlusten und -verschwendung, Ernährungsumstellung, Verwendung langlebiger Holzprodukte



**Abbildung 4.2 |** Einfluss des Energiebedarfs auf den Einsatz von Energieversorgungstechnologien im Jahr 2050 in Minderungszenarien, die Konzentrationen von etwa 450 bis etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>-Äq bis zum Jahr 2100 erreichen (Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über dem vorindustriellen Niveau mindestens *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*). Blaue Balken für einen „geringen Energiebedarf“ zeigen den Anwendungsumfang von Technologien in Szenarien mit einem begrenzten Wachstum des Endenergiebedarfs von < 20 % im Jahr 2050 gegenüber 2010. Rote Balken zeigen den Anwendungsumfang von Technologien im Falle eines „hohen Energiebedarfs“ (> 20 % Wachstum im Jahr 2050 gegenüber 2010). Für jede Technologie ist der Median, interquartile und vollständige Anwendungsumfang dargestellt. Anmerkungen: Szenarien, die Technologiebeschränkungen annehmen, sind ausgeschlossen. Die Bandbreiten enthalten Ergebnisse vieler verschiedener Integrierter Modelle. Mehrere Szenarienergebnisse aus demselben Modell wurden gemittelt, um Stichprobenverzerrungen zu vermeiden. {WGIII Abbildung TS.16}

4

Niveau von Basisszenarien senken (*belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung*) (Tabelle 4.4). Während Gelegenheiten zum Wechsel zu kohlenstoffarmen Brennstoffen bestehen, begrenzen Herausforderungen, die mit Energiespeicherung und der relativ geringen Energiedichte kohlenstoffarmer Kraftstoffe verbunden sind, die Dekarbonisierungsrate im Verkehrssektor (*mittleres Vertrauen*). Im Gebäudesektor schaffen die jüngsten Fortschritte in Technologien, Know-how und politischen Maßnahmen Möglichkeiten, den globalen Energieverbrauch auf etwa derzeitige Niveaus bis zur Jahrhundertmitte zu stabilisieren oder zu verringern. Darüber hinaus machen jüngste Verbesserungen von Leistung und Kosten Niedrigenergiebauten und Sanierungen wirtschaftlich attraktiv, bisweilen sogar zu negativen Nettokosten (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Im Industriesektor könnten Verbesserungen der THG-Emissionseffizienz sowie der Effizienz des Verbrauchs, des Recyclings und der Wiederverwertung von Materialien und Produkten sowie allgemeine Verringerungen des Produkt- (z. B. durch eine intensivere Nutzung von Produkten) und des Servicebedarfs – zusätzlich zur Energieeffizienz – dabei helfen, die THG-Emissionen unter das Niveau in den Basisszenarien zu senken. Verbreitete Ansätze zur Förderung der Energieeffizienz in der Industrie beinhalten Informationsprogramme, gefolgt von wirtschaftlichen Instrumenten, regulatorischen Ansätzen und freiwilligen Maßnahmen. Wichtige Optionen für eine Minderung

in der Abfallwirtschaft sind Abfallverringerung, gefolgt von Wiederverwertung, Recycling und Energierückgewinnung (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). {WGIII SPM.4.2, Box TS.12, TS.3.2}

**Die kosteneffizientesten Minderungsoptionen in der Forstwirtschaft sind Aufforstung, nachhaltige Forstwirtschaft und eine Reduzierung der Entwaldung, wobei regional große Unterschiede hinsichtlich ihrer relativen Bedeutung bestehen. In der Landwirtschaft stellen geeignete Bewirtschaftung von Anbau- und Weideflächen sowie die Sanierung organischer Böden die kosteneffizientesten Minderungsoptionen dar (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*).** Etwa ein Drittel des Minderungspotenzials in der Forstwirtschaft kann mit Kosten von < 20 USD pro Tonne CO<sub>2</sub>-Äq-Emission erreicht werden. Nachfrageorientierte Maßnahmen wie Ernährungsumstellung und eine Verringerung der Verluste in der Nahrungsmittellieferkette besitzen ein bedeutendes, jedoch unsicheres Potenzial zur Verringerung von THG-Emissionen aus der Nahrungsmittelproduktion (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). {WGIII SPM.4.2.4}

**Bioenergie kann für die Minderung eine entscheidende Rolle spielen, es sind jedoch Fragen wie die Nachhaltigkeit von**

**Tabelle 4.5 |** Potenzielle positive (blauer Text) und negative Nebeneffekte (roter Text) von Minderungsmaßnahmen in den wichtigsten Sektoren. Positive und negative Auswirkungen insgesamt sind abhängig von lokalen Umständen sowie von Art, Geschwindigkeit und Ausmaß der Implementierung. Für eine Bewertung der mit Minderungsmaßnahmen verbundenen makroökonomischen, sektorenübergreifenden Auswirkungen, siehe Abschnitt 3.4. Die Unsicherheitsqualifizierungen in Klammern kennzeichnen die Belege für und den Übereinstimmungsgrad über die entsprechenden Auswirkungen. Abkürzungen für Belege: l = begrenzt (limited), m = mittelstark (medium), r = belastbar (robust); für Übereinstimmung: l = gering (low), m = mittel (medium), h = hoch (high). (WGIII Tabelle TS.3, Tabelle TS.4, Tabelle TS.5, Tabelle TS.6, Tabelle TS.7, Tabelle 6.7)

Auswirkungen auf weitere Ziele/Anliegen		Ökologisch
Sektorale Minderungsmaßnahmen	Wirtschaftlich	Sozial
<b>Energieversorgung</b>		
Atomkraft als Ersatz für Kohlekraft	Energiesicherheit (verringerte Exposition gegenüber Kraftstoffpreisschwankungen) (m/m); Folgen für lokale Beschäftigung (jedoch unsicherer Nettoeffekt) (l/m); <b>Altlasten/Kosten aus Abfall und aufgegebenen Reaktoren (m/h)</b>	Gemischte Folgen für die Gesundheit durch verringerte Luftverschmutzung und weniger Kohlebergbau (l/h), <b>nukleare Unfälle (m/m)</b> ; <b>Sicherheits- und Abfallbedenken (r/h)</b> ; <b>Proliferationsrisiken (m/m)</b>
Erneuerbare Energien (Wind, PV, CSP, Wasserkraft, Geothermie, Bioenergie) als Ersatz für Kohle	Energiesicherheit (r/m); lokale Beschäftigung (jedoch unsicherer Nettoeffekt) (m/m); Wassermanagement (für Teile der Wasserkraft) (m/h); <b>vermehrter Einsatz kritischer Metalle für PV und Windkraftanlagen mit Direktantrieb (r/m)</b>	Gemischte Folgen für Ökosysteme durch reduzierte Luftverschmutzung (mit Ausnahme von Bioenergie) (m/h), und weniger Kohlebergbau (l/h), <b>Folgen für Lebensräume (für Teile der Wasserkraft) (m/m)</b> ; <b>Folgen für Landschaften sowie Flora und Fauna (m/m)</b> ; <b>geringerer/höherer Wasserverbrauch (für wind, PV (m/m); Bioenergie, CSP, Geothermie und Wasserspeicherkraftwerke) (m/h)</b>
Fossile Energie mit CCS als Ersatz für Kohle	Erhaltung vs. lock-in von Human- und physischem Kapital in der Fossilindustrie (m/m); <b>langfristige Überwachung der CO<sub>2</sub>-Speicherung (m/h)</b>	<b>Folgen für Ökosysteme durch zusätzliche Upstream-Aktivitäten in der Lieferkette (m/m) und höherer Wasserverbrauch (m/h)</b>
Verhinderung, Einschluss oder Bewältigung von CH <sub>4</sub> -Leckagen	Energiesicherheit (Potential zur Verwendung von Gas in einigen Fällen) (l/h)	Geringere Folgen für Ökosysteme durch reduzierte Luftverschmutzung (l/m)
<b>Verkehr</b>		
Verringerung der Kohlenstoffintensität von Kraftstoffen	Energiesicherheit (Diversifikation, verringerte Abhängigkeit von Öl und verringertes Ausgesetztsein gegenüber Ölpreisschwankungen) (m/m); <b>technologische Übertragungseffekte (l/h)</b>	Gemischte Folgen von Elektrizität und Wasserstoff für Ökosysteme durch verringerte Luftverschmutzung in Städten (m/m) und <b>Materialeinsatz (nicht nachhaltiger Abbau) (l/h)</b>
Verringerung der Energieintensität	Energiesicherheit (verringerte Abhängigkeit von Öl und verringertes Ausgesetztsein gegenüber Ölpreisschwankungen) (m/m)	Verringerte Folgen für Ökosysteme und biologische Vielfalt durch reduzierte Luftverschmutzung in Städten (m/h)
Kompakte Stadtform und verbesserte Verkehrsinfrastruktur Verkehrsverlagerung	Energiesicherheit (verringerte Abhängigkeit von Öl und verringertes Ausgesetztsein gegenüber Ölpreisschwankungen) (m/m); <b>Produktivität (verringerte Stau- und Fahrzeiten in Städten, bezahlbare und zugängliche Verkehrsmittel) (m/h)</b>	Verringerte Folgen für Ökosysteme durch reduzierte Luftverschmutzung in Städten (r/h) und <b>Landnutzungswettbewerb (m/m)</b>
Verringerung der Reisedistanz und Vermeidung von Reise	Energiesicherheit (verringerte Abhängigkeit von Öl und verringertes Ausgesetztsein gegenüber Ölpreisschwankungen) (r/h); <b>Produktivität (verringerte Stau- und Fahrzeiten in Städten, Zufließen) (r/h)</b>	Gemischte Folgen für Ökosysteme durch verringerte Luftverschmutzung in Städten (r/h), <b>neue/kürzere Transportrouten (r/h)</b> ; <b>verringertes Landnutzungswettbewerb durch Verkehrsinfrastruktur (r/h)</b>
<b>Gebäude</b>		
Verringerung der THG-Emissionsintensität (z. B. Brennstoffumstellung, RES-Einbindung, grüne Dächer)	Zu möglichen <b>Upstream-Effekten einer Brennstoffumstellung und RES, siehe Energieversorgung</b> . Energiesicherheit (m/h); Folgen für die Beschäftigung (m/m); <b>geringerer Bedarf an Energiesubventionen (l/h)</b> ; <b>Vermögenswerte von Gebäuden (l/m)</b>	Geringere Folgen für die Gesundheit in Wohngebäuden und geringere Folgen für Ökosysteme (durch verringerte Energiearmut (r/h), Luftverschmutzung inner- und außerhalb von Gebäuden (r/h) und UHI-Effekt) (l/m); <b>städtische biologische Vielfalt (bei grünen Dächern) (m/m)</b>

Fortsetzung auf Folgeseite

Tabelle 4.5 (Fortsetzung)

Auswirkungen auf weitere Ziele/Anliegen	
Sektorale Minderungsmaßnahmen	Wirtschaftlich
Umbauten bestehender Gebäude Beispielhafte neue Gebäude Effiziente Ausstattung	Energiesicherheit (m/h); Folgen für die Beschäftigung (m/m); Produktivität (für gewerbliche Gebäude) (m/h); weniger Bedarf an Energiesubventionen (l/h); Vermögenswert von Gebäuden (l/m); Katastrophenresilienz (l/m)
Verhaltensänderungen, die den Energiebedarf verringern	Energiesicherheit (m/h); weniger Bedarf an Energiesubventionen (l/h)
<b>Industrie</b>	<b>Zu möglichen Upstream-Effekten kohlenstoffarmer Energieversorgung (inkl. CCS), siehe Energieversorgung, und zur Biomasseversorgung, siehe AFOLU:</b>
Verringerung der CO <sub>2</sub> /Nicht-CO <sub>2</sub> -THG-Emissionsintensität	Wettbewerbsfähigkeit und Produktivität (m/h)
Technische Energieeffizienzverbesserungen durch neue Verfahren/Technologien	Energiesicherheit (durch geringere Energieintensität) (m/m); Folgen für die Beschäftigung (l/h); Wettbewerbsfähigkeit und Produktivität (m/h); technologische Übertragungseffekte in Entwicklungsländern (l/h)
Materialeffizienz von Gütern, Recycling	<b>Mittelfristiger Rückgang der nationalen Umsatzsteuererträge (l/h)</b> ; Folgen für die Beschäftigung (Abfall-Recycling) (l/h); Wettbewerbsfähigkeit in der Herstellung (l/h); neue Infrastrukturen für industrielle Cluster (l/h)
Verringerung der Produktnachfrage	<b>Mittelfristiger Rückgang der nationalen Umsatzsteuererträge (l/h)</b>
<b>AFOLU</b>	<b>Anmerkung: Positive und negative Nebeneffekte hängen vom Entwicklungskontext und dem Ausmaß der Intervention (Größe) ab.</b>
Versorgungsseite: Forstwirtschaft, landbasierte Landwirtschaft, Viehzucht, integrierte Systeme und Bioenergie	Erhöhte Produktion von Nahrungspflanzen durch integrierte Systeme und nachhaltige Landwirtschaftsensitivierung (r/m); <b>verringerte Nahrungsmittelproduktion (lokal) aufgrund großräumiger Monokulturen nicht zum Verzehr bestimmter Nutzpflanzen (r/h)</b> ; Mehr Kulturlandsräume und Erholungsflächen durch (nachhaltige) Forstwirtschaft und Waldschutz (m/m); verbesserte Gesundheit von Mensch und Tier (z. B. durch weniger Einsatz von Pestiziden, verringerte Brandrodung sowie Feldwaidbau und Waldweidwirtschaftssysteme) (m/h); <b>Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen durch Brandrodung (in Landwirtschaft oder Bioenergie) (m/m)</b> ; gemischte Folgen für die Gleichberechtigung der Geschlechter sowie innerhalb und zwischen Generationen durch Beteiligung und faire Gewinnverteilung (r/h) und <b>höhere Gewinnkonzentrationen (m/m)</b>
Nachfrageseite: geringere Verluste in der Nahrungsmittelieferkette, Ernährungsumstellung und veränderter Bedarf an Holz- und Forstwirtschaftsprodukten	Geringere Folgen für Ökosysteme durch geringere lokale Luft- und Wasserverschmutzung und Abfallentsorgung (m/m); geringere Nutzung von Rohstoffen und natürlichen Ressourcen und damit Verringerung des nicht nachhaltigen Ressourcenabbaus (l/h) Weniger Verbrauchsabfälle (l/h)
<b>Siedlungen und Infrastruktur</b>	<b>Zu kompakter Stadtform und verbesserter Verkehrsinfrastruktur, siehe auch Verkehr:</b>
Kompakte Entwicklung und Infrastruktur	Erhöhte Innovation und effizienter Einsatz von Ressourcen (r/h); höhere Mieten und Grundstückspreise (m/m)
Erhöhte Verfügbarkeit	Einsparungen für Pendler (r/h)
Gemischte Landnutzung	Einsparungen für Pendler (r/h); höhere Mieten und Grundstückspreise (m/m)
	Verbesserte Gesundheit durch vermehrte körperliche Aktivität: <b>siehe Verkehr</b>
	Verbesserte Gesundheit durch vermehrte soziale Interaktion und geistige Gesundheit (m/m)
	Verbesserte Gesundheit durch vermehrte körperliche Aktivität (r/h); soziale Interaktion und geistige Gesundheit (l/m)
	Erhöhtes Wohlergehen durch diverse Lebensstilmöglichkeiten (l/h)
	Erhöhte Produktion von Nahrungspflanzen durch integrierte Systeme und nachhaltige Landwirtschaftsensitivierung (r/m); <b>verringerte Nahrungsmittelproduktion (lokal) aufgrund großräumiger Monokulturen nicht zum Verzehr bestimmter Nutzpflanzen (r/h)</b> ; Mehr Kulturlandsräume und Erholungsflächen durch (nachhaltige) Forstwirtschaft und Waldschutz (m/m); verbesserte Gesundheit von Mensch und Tier (z. B. durch weniger Einsatz von Pestiziden, verringerte Brandrodung sowie Feldwaidbau und Waldweidwirtschaftssysteme) (m/h); <b>Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen durch Brandrodung (in Landwirtschaft oder Bioenergie) (m/m)</b> ; gemischte Folgen für die Gleichberechtigung der Geschlechter sowie innerhalb und zwischen Generationen durch Beteiligung und faire Gewinnverteilung (r/h) und <b>höhere Gewinnkonzentrationen (m/m)</b>
	Gemischte Folgen für Ökosystemdienstleistungen durch <b>großräumige Monokulturen (r/h)</b> , Ökosystemerhaltung, nachhaltiges Management sowie nachhaltige Landwirtschaft (r/h); <b>stärkerer Landnutzungswettbewerb (r/m)</b> ; erhöhte Bodenqualität (r/h); weniger Erosion (r/h); erhöhte Resilienz von Ökosystemen (m/h); Albedo und Verdunstung (r/h)
	Institutionelle Aspekte: gemischte Folgen für Besitz- und Nutzungsrechte auf lokaler Ebene (für indigene Bevölkerungsgruppen und lokale Gemeinden) (r/h) und auf den Zugang zu partizipativen Mechanismen für Landbewirtschaftungsentscheidungen (r/h); Durchsetzung bestehender Maßnahmen für ein nachhaltiges Ressourcenmanagement (r/h)
	Erhalt von Grünflächen (m/m)
	Verbesserte Luftqualität und verringerte Folgen für Ökosysteme und Gesundheit (m/h)
	Verbesserte Luftqualität und geringere Folgen für Ökosysteme und Gesundheit (m/h)

**Methoden und die Wirksamkeit von Bioenergiesystemen zu bedenken (belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung).** Es gibt Belege, die dafür sprechen, dass Bioenergieoptionen mit geringen Lebenszyklusemissionen – von denen einige bereits verfügbar sind – THG-Emissionen verringern können; die Ergebnisse sind ortsspezifisch und auf effiziente integrierte „Biomasse-zu-Bioenergie-Systeme“ sowie auf nachhaltige Management- und Steuerungsmaßnahmen zur Landnutzung angewiesen. Zu den Hemmnissen, die einem umfassenden Einsatz von Bioenergie entgegenstehen, gehören Bedenken hinsichtlich der THG-Emissionen aus Böden, der Ernährungssicherung, Wasserressourcen, der Erhaltung von Biodiversität sowie Existenzgrundlagen. {WGIII SPM.4.2.4}

**Minderungsmaßnahmen überschneiden sich mit anderen gesellschaftlichen Zielen, sodass sich positive oder negative Nebeneffekte ergeben können. Sofern diesen Überschneidungen überlegt begegnet wird, können sie die Grundlage für Minderungsmaßnahmen stärken (belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung).** Minderung kann das Erreichen anderer gesellschaftlicher Ziele positiv oder negativ beeinflussen, wie jener, die mit der Gesundheit des Menschen, Ernährungssicherung, Biodiversität, lokaler Umweltqualität, Energiezugang, Existenzgrundlagen und gerechter nachhaltiger Entwicklung verbunden sind (siehe auch Abschnitt 4.5). Auf der anderen Seite können auf andere gesellschaftliche Ziele ausgerichtete Maßnahmen das Erreichen von Minderungs- und Anpassungszielen beeinflussen. Diese Einflüsse können erheblich, jedoch bisweilen schwer zu quantifizieren sein, insbesondere in Bezug auf Wohlfahrtsaspekte. Diese Perspektive mehrfacher Zielsetzung ist unter anderem deshalb wichtig, da sie hilft Bereiche zu identifizieren, in denen für politische Maßnahmen, die mehrere Ziele verfolgen, gute Erfolgsaussichten bestehen. Potenzielle positive und negative Nebeneffekte von Minderungsmaßnahmen in den wichtigsten Sektoren sind in Tabelle 4.5 zusammengefasst. Insgesamt wiegt das Potenzial für positive Nebeneffekte der Energieendnutzungsmaßnahmen das Potenzial für negative Nebeneffekte auf, wobei es Belege dafür gibt, dass dies nicht für alle Energieversorgungs- und AFOLU-Maßnahmen gilt. {WGIII SPM.2}

#### 4.4 Politische Ansätze für Anpassung und Minderung, Technologie und Finanzierung

**Wirksame Anpassungs- und Minderungsmaßnahmen in Reaktion auf den Klimawandel werden von politischen Maßnahmen auf mehreren Ebenen abhängen: international, regional, national und subnational. Auf sämtlichen Ebenen können Maßnahmen, die die Entwicklung, die Verbreitung und den Transfer von Technologien sowie die Finanzierung von Reaktionen auf den Klimawandel unterstützen, die Wirksamkeit von Politikinstrumenten ergänzen und verbessern, die Anpassung und Minderung direkt voranbringen.**

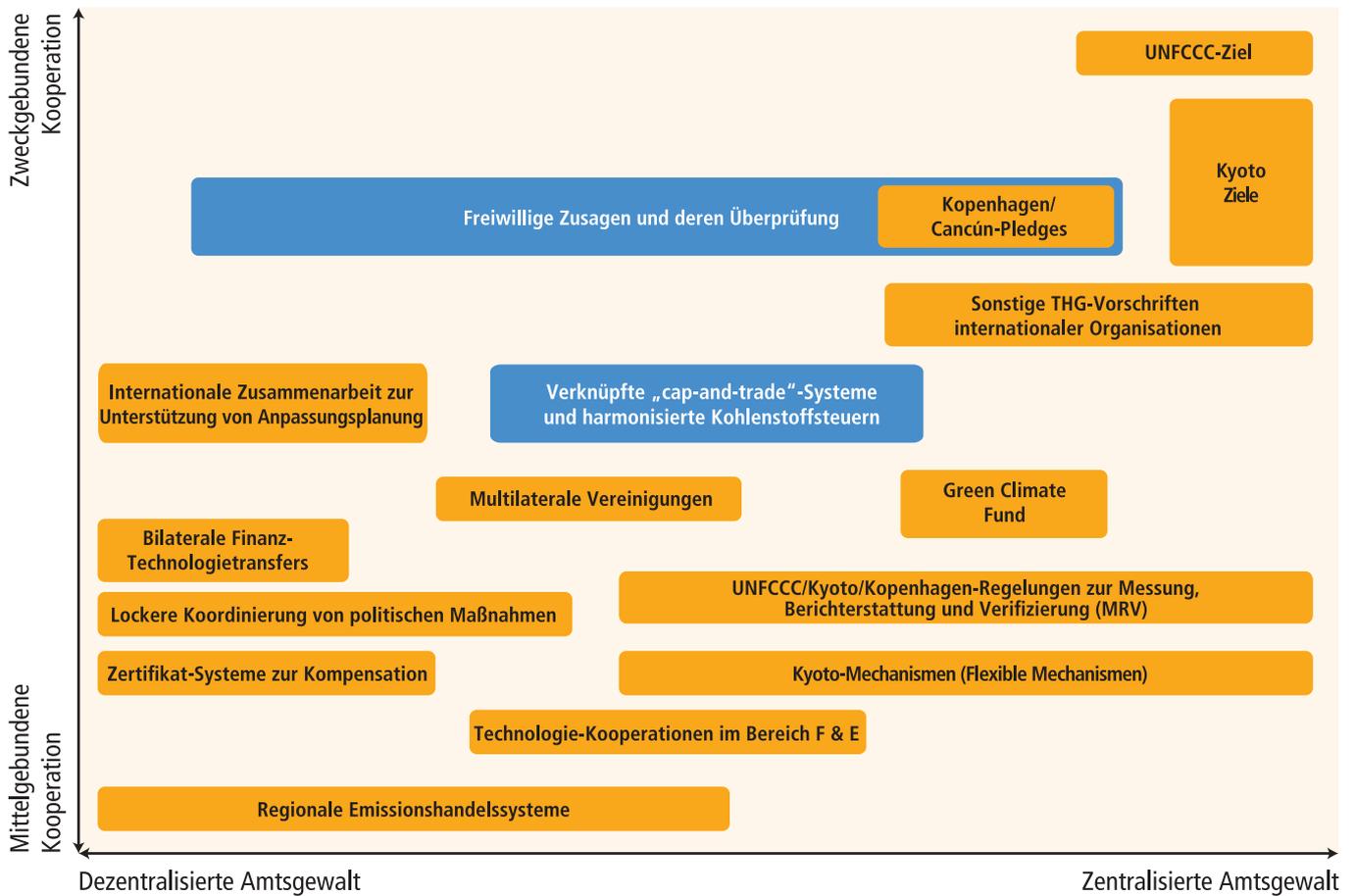
#### 4.4.1 Internationale und regionale Kooperation bezüglich Anpassung und Minderung

Da der Klimawandel Züge eines Problems kollektiven Handelns auf globaler Ebene hat (siehe 3.1), wird wirksame Minderung nicht dadurch erreicht, dass einzelne Akteure ihre eigenen Interessen unabhängig vorantreiben, obwohl Minderung auch lokale positive Nebeneffekte haben kann. Kooperative Reaktionen, einschließlich internationaler Zusammenarbeit, sind daher erforderlich, um THG-Emissionen wirksam zu mindern und anderen Problemen im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu begegnen. Während Anpassung primär auf Ergebnisse von lokaler bis nationaler Tragweite abzielt, kann ihre Wirksamkeit durch Koordination über sämtliche Entscheidungsebenen hinweg, einschließlich internationaler Kooperation, verbessert werden. Tatsächlich hat internationale Zusammenarbeit zur Schaffung von Anpassungsstrategien, -plänen und -maßnahmen auf nationaler, subnationaler und lokaler Ebene beigetragen. Verschiedene Klimaschutzinstrumente wurden angewendet und noch mehr könnten sowohl international als auch regional umgesetzt werden, um Minderung zu betreiben und Anpassung auf nationaler und subnationaler Ebene zu unterstützen und voranzubringen. Es gibt Belege dafür, dass Ergebnisse, die als gerecht beurteilt werden, wirksamere Zusammenarbeit begünstigen können. {WGII SPM C-1, 2.2, 15.2, WGIII 13.ES, 14.3, 15.8, SREX SPM, 7.ES}

**Das Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) ist das wichtigste multilaterale Forum, das sich mit nahezu universeller Beteiligung auf den Umgang mit dem Klimawandel konzentriert.** Seit dem Jahr 2007 zielen die Aktivitäten des UNFCCC, die die Cancún-Vereinbarungen aus dem Jahr 2010 und die Durban Plattform for Enhanced Action (Plattform für erweiterte Klimaschutzmaßnahmen) aus dem Jahr 2011 einschließen, darauf ab, die Maßnahmen der Konvention zu verbessern, und haben zu einer wachsenden Zahl von Institutionen und anderen Abkommen für die internationale Zusammenarbeit zum Klimawandel geführt. Andere Institutionen, die auf unterschiedlichen Governance-Ebenen organisiert sind, haben zu einer Diversifizierung der internationalen Zusammenarbeit in Bezug auf Klimawandel geführt. {WGIII SPM.5.2, 13.5}

**Bestehende und angestrebte internationale Kooperationsabkommen im Hinblick auf den Klimawandel unterscheiden sich hinsichtlich ihres Fokus und des Grades an Zentralisierung und Koordination.** Sie umfassen: multilaterale Vereinbarungen, harmonisierte nationale Strategien und dezentralisierte, aber koordinierte nationale Strategien, sowie regionale und regional koordinierte Strategien (siehe Abbildung 4.3). {WGIII SPM.5.2}

**Während sich eine Reihe von neuen Institutionen auf Anpassungsfinanzierung und -koordination konzentriert, hat Anpassung in der Vergangenheit in der internationalen Klimapolitik weniger Aufmerksamkeit als Minderung erfahren (belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung).** Die Einbindung von Anpassung ist von wachsender Bedeutung für eine Verringerung von Risiken der Auswirkungen des Klimawandels und kann eine größere Zahl von Ländern verpflichten. {WGIII 13.2, 13.3.3, 13.5.1.1, 13.14}



Lockere Koordination von politischen Maßnahmen: beispielsweise transnationale Stadtnetzwerke und national angemessenen Minderungsmaßnahmen (Nationally Appropriate Mitigation Actions, NAMA); Technologiekooperationen im Bereich F & E: beispielsweise das Major Economies Forum on Energy and Climate (MEF), die Global Methane Initiative (GMI) oder die Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership (REEEP); Sonstige THG-Vorschriften internationaler Organisationen: beispielsweise das Montreal-Protokoll, Internationale Zivilluftfahrtorganisation (International Civil Aviation Organization, ICAO), Internationale Seeschifffahrts-Organisation (International Maritime Organization, IMO); Siehe WGIII, Abbildung 13.1 für Einzelheiten zu diesen Beispielen.

**Abbildung 4.3 |** Alternative Formen internationaler Zusammenarbeit. Die Abbildung zeigt eine Zusammenstellung bestehender und möglicher Formen internationaler Zusammenarbeit, basierend auf einer Erhebung veröffentlichter Forschungsergebnisse, erhebt jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich bestehender oder potenzieller politischer Gestaltungen und hat keinen verbindlichen Charakter. Beispiele in orange sind bestehende Vereinbarungen. Beispiele in blau sind in der Literatur vorgeschlagene Vereinbarungsstrukturen. Die Breite der einzelnen Boxen gibt die Bandbreite möglicher Grade der Zentralisierung für eine bestimmte Vereinbarung an. Der Zentralisierungsgrad zeigt die Befugnis an, die durch Vereinbarung auf eine internationale Institution übertragen wird, nicht den des Verhandlungsprozesses über die Vereinbarung. {WGIII Abbildung 13.2}

4

**Das Kyoto-Protokoll bietet Erfahrungen, die für den Fortschritt im Hinblick auf das oberste Ziel der UNFCCC hilfreich sein können, insbesondere im Hinblick auf Beteiligung, Umsetzung, Flexibilitätsmechanismen und Umweltwirksamkeit (mittelstarke Belege, geringe Übereinstimmung).** Das Protokoll war der erste bindende Schritt in Richtung einer Implementierung der von der UNFCCC erarbeiteten Grundsätze und Ziele. Nach den nationalen THG-Beständen des Jahres 2012, die der UNFCCC bis Oktober 2013 übermittelt wurden, haben Annex-B-Vertragsstaaten mit quantifizierten Emissionsbegrenzungen (und Reduktionsverpflichtungen) insgesamt ihre gemeinsames Emissionsminderungsziel im ersten Verpflichtungszeitraum möglicherweise übertroffen<sup>44</sup>, es wurden jedoch einige Emissionsminderungen gezählt, zu denen es auch ohne Verpflichtung gekommen wäre. Der Clean Development Mechanism (CDM) des Protokolls

schuf einen Markt für Emissionskompensierungen für Entwicklungsländer mit doppeltem Zweck: den Annex-I-Ländern bei der Erfüllung ihrer Verpflichtungen zu helfen und Nicht-Annex-I-Länder beim Erreichen einer nachhaltigen Entwicklung zu unterstützen. Der CDM erzeugte bis Oktober 2013 Emissionsminderungszertifikate (Kompensierungen) im Umfang von Emissionen von mehr als 1,4 Gt CO<sub>2</sub>-Äq<sup>42</sup>, führte zu signifikanten Projektinvestitionen und erzeugte Investitionsflüsse für eine Reihe von Funktionen, einschließlich des UNFCCC-Anpassungsfonds. Seine Umweltwirksamkeit wurde jedoch aufgrund von Bedenken hinsichtlich des Mehrwertes von Projekten (d. h. ob Projekte Emissionen bewirken, die sich von den Business as Usual (BAU)-Gegebenheiten unterscheiden), der Validität von Basisszenarien und der Möglichkeit von Emissionsleckagen von einigen in Frage gestellt, insbesondere im Hinblick auf seine frühen Jahre (mittelstarke Belege, mittlere Über-

<sup>44</sup> Die endgültige Auswertung der Erfüllung der Annex-B-Vertragsstaaten bleibt im Oktober 2014 weiterhin dem Prüfungsprozess unter dem Kyoto-Protokoll vorbehalten.

*einstimmung*). Solche Bedenken hinsichtlich des Mehrwertes sind in Bezug auf Emissionskompensierungsprogramme verbreitet und nicht spezifisch für den CDM. Aufgrund von Marktkräften konzentriert sich die Mehrheit der einzelnen CDM-Projekte auf eine begrenzte Anzahl von Ländern, während Maßnahmenprogramme (Programmes of Activities) – wenngleich weniger häufig – gleichmäßiger verteilt wurden. Darüber hinaus schuf das Kyoto-Protokoll zwei weitere „Flexibilitätsmechanismen“: Gemeinsame Umsetzung (Joint Implementation) und Internationalen Emissionshandel. {WGIII SPM.5.2, Tabelle TS.9, 13.7, 13.13.1.1, 14.3}

**Die Forschung hat verschiedene konzeptionelle Modelle zur Lastenteilung identifiziert.** Realisierte Verteilungswirkungen bestehender internationaler Kooperationsverträge hängen jedoch nicht nur vom gewählten Ansatz ab, sondern auch von den Kriterien, die für die Operationalisierung von Gleichstellung gelten, und von der Art und Weise, in der Emissionsminderungspläne der Entwicklungsländer finanziert werden. {WGIII 4.6, 13.4}

**Regionale, nationale und subnationale klimapolitische Strategien zu verknüpfen, eröffnet mögliche Vorteile für den Klimaschutz (mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung).** Verknüpfungen wurden zwischen Kohlenstoffmärkten etabliert und könnten prinzipiell auch unter einem heterogenen Satz politischer Maßnahmen, einschließlich nicht-marktbasierter Maßnahmen wie Leistungsstandards etabliert werden. Geringere Minderungskosten, verringerte Emissionsleckage und erhöhte Marktliquidität gehören zu den potenziellen Vorteilen. {WGIII SPM.5.2, 13.3, 13.5, 13.6, 13.7, 14.5}

**Regionale Initiativen von der nationalen bis zur globalen Ebene werden zurzeit entwickelt und umgesetzt, jedoch war ihre Auswirkung auf den globalen Klimaschutz bislang begrenzt (mittleres Vertrauen).** Einige Klimaschutzmaßnahmen könnten ökologisch und wirtschaftlich effektiver sein, wenn sie auf große Regionen ausgeweitet würden, wie etwa die Einbindung von Minderungszielen in Handelsverträge oder eine gemeinschaftliche Errichtung von Infrastrukturen, die Kohlenstoffemissionen verringern. {WGIII Tabelle TS.9, 13.13, 14.4, 14.5}

**Internationale Kooperation zur Unterstützung von Anpassungsplanung und -umsetzung hat die Erstellung von Anpassungsstrategien, -plänen und -maßnahmen auf nationaler, subnationaler und lokaler Ebene unterstützt (hohes Vertrauen).** Beispielsweise wurde eine Reihe multilateraler und regional ausgerichteter Finanzierungsmechanismen zur Anpassung etabliert; VN-Organisationen, internationale Entwicklungsorganisationen und Nicht-Regierungsorganisationen (NGO) haben Informationen, Methoden und Richtlinien zur Verfügung gestellt; und globale und regionale Initiativen haben die Schaffung nationaler Anpassungsstrategien sowohl in Entwicklungs- als auch in Industrieländern unterstützt und vorangebracht. Eine engere Verknüpfung von Katastrophenvorsorge und Anpassung an den Klimawandel auf internationaler Ebene und die durchgängige Berücksichtigung beider in internationaler Entwicklungshilfe kann zu höherer Effizienz in der Verwendung von Ressourcen und Kapazität führen. Stärkere Bemühungen auf internationaler Ebene führen auf lokaler Ebene jedoch nicht notwendigerweise zu substanziellen und frühzeitigen Ergebnissen. {WGII 15.2, 15.3, SREX SPM, 7.4, 8.2, 8.5}

## 4.4.2 Nationale und subnationale Maßnahmen

### 4.4.2.1 Anpassung

**Es gibt in allen Regionen immer mehr Erfahrungen mit Anpassung im öffentlichen und privaten Sektor und innerhalb von Gemeinden (hohes Vertrauen).** Bis jetzt umgesetzte Anpassungsmöglichkeiten (siehe Tabelle 4.6) sind stark auf schrittweise Anpassungen und positive Nebeneffekte ausgerichtet, dabei wird zunehmend die Bedeutung von Flexibilität und Lernen betont (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Die meisten Bewertungen von Anpassung waren auf Folgen, Verwundbarkeit und Planung von Anpassungsmaßnahmen beschränkt, und es gibt sehr wenige Bewertungen der Prozesse zur Implementierung oder der Auswirkungen der Anpassungsmaßnahmen (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {WGII SPM A-2, TS A-2}

**Nationale Regierungen spielen entscheidende Rollen in der Planung und Umsetzung von Anpassung (belastbare Belege, hohe Übereinstimmung).** Seit dem AR4 gab es erhebliche Fortschritte in der Entwicklung nationaler Anpassungsstrategien und -pläne. Dies schließt die Nationalen Aktionsprogramme zur Anpassung (National Adaption Programmes of Action, NAPAs) der am wenigsten entwickelten Länder ein sowie den Prozess des Nationalen Anpassungsplans (NAP) und strategische Rahmenwerke für nationale Anpassung in den OECD-Ländern. Nationale Regierungen können die Anpassungsbemühungen lokaler und subnationaler Regierungen koordinieren, indem sie z. B. verwundbare Gruppen schützen, wirtschaftliche Diversifikation unterstützen und Informationen zur Verfügung stellen, politische und gesetzliche Rahmenbedingungen schaffen und finanzielle Unterstützung leisten. {WGII SPM C-1, 15.2}

**Obwohl lokale Regierungen und der Privatsektor unterschiedliche Funktionen haben, die sich regional unterscheiden, werden sie zunehmend als entscheidend für den Anpassungsfortschritt anerkannt aufgrund ihrer Rolle beim Ausbau von Anpassungsmaßnahmen in Gemeinden, Haushalten und in der Zivilgesellschaft sowie beim Management von Risikoinformation und Finanzierung (mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung).** Die Anzahl geplanter Anpassungsmaßnahmen auf lokaler Ebene in ländlichen und städtischen Gemeinden der Industrie- und Entwicklungsländer ist seit dem AR4 signifikant gestiegen. Lokale Ausschüsse und Planer sind jedoch häufig ohne adäquaten Zugang zu richtungweisenden Informationen oder Daten zu lokalen Verwundbarkeiten und potenziellen Auswirkungen mit der Komplexität der Anpassung konfrontiert. Schritte zur durchgängigen Berücksichtigung von Anpassung in lokaler Entscheidungsfindung wurden identifiziert, es bestehen jedoch weiterhin Herausforderungen hinsichtlich ihrer Umsetzung. Daher betonen Experten die Bedeutung von Verknüpfungen nationaler und subnationaler Regierungsebenen sowie Partnerschaften zwischen öffentlichen, zivilen und privaten Sektoren für die Umsetzung lokaler Anpassungsmaßnahmen. {WGII SPM A-2, SPM C-1, 14.2, 15.2}

**Institutionelle Dimensionen der politischen Steuerung und Koordination von Anpassung, einschließlich der Integration von Anpassung in Planungs- und Entscheidungsprozesse, spielen eine entscheidende Rolle dabei, den Übergang von der Anpassungsplanung zur Umsetzung voranzubringen (belastbare Belege, hohe Übereinstimmung).** Die am häufigsten genannten

Tabelle 4.6 | Aktuelle Anpassungsmaßnahmen im öffentlichen und privaten Sektor in verschiedenen Regionen. {WGII SPM A-2}

Region	Beispiele für Maßnahmen
<b>Afrika</b>	Die meisten nationalen Regierungen initiieren Regierungsapparate für Anpassungsmaßnahmen. Katastrophenrisikomanagement, Anpassung von Technologien und Infrastruktur, ökosystembasierte Ansätze, grundlegende öffentliche Gesundheitsmaßnahmen und die Diversifikation von Existenzgrundlagen verringern die Verwundbarkeit, wenn auch die bisherigen Bemühungen eher isoliert sind.
<b>Europa</b>	Anpassungsmaßnahmen wurden auf allen Regierungsebenen entwickelt, wobei die Anpassungsplanung teilweise in das Küstenmanagement und die Wasserwirtschaft, in Umweltschutz und Raumplanung sowie in das Katastrophenrisikomanagement eingebunden wurde.
<b>Asien</b>	In einigen Gebieten wird Anpassung durch die durchgängige Berücksichtigung von Klimaanpassungsmaßnahmen bei der Erstellung von Entwicklungsplänen auf subnationaler Ebene, in Frühwarnsystemen, im integrierten Wasserressourcenmanagement, in der Agroforstwirtschaft und der Wiederaufforstung von Mangroven an Küsten erleichtert.
<b>Australasien</b>	Planungen im Hinblick auf den Meeresspiegelanstieg und – in Südastralien – auf Wasserknappheit werden verbreitet angenommen. Die Planung bezüglich des Meeresspiegelanstiegs hat sich in den vergangenen zwei Jahrzehnten erheblich entwickelt und zeigt eine Vielfalt von Ansätzen, wenn auch die Umsetzung Stückwerk bleibt.
<b>Nordamerika</b>	Regierungen befassen sich schrittweise mit der Bewertung und Planung von Anpassung, insbesondere auf kommunaler Ebene. Teilweise findet vorausschauende Anpassung zum Schutz von langfristigen Investitionen in Energie- und öffentliche Infrastrukturen statt.
<b>Mittel- und Südamerika</b>	Es findet ökosystembasierte Anpassung statt, einschließlich der Einrichtung von Schutzgebieten, Schutzabkommen und kommunaler Verwaltung von Naturräumen. Resiliente Nutzpflanzensorten, Klimavorhersagen und integriertes Wasserressourcenmanagement werden im Bereich der Landwirtschaft in manchen Gebieten angewendet.
<b>Arktis</b>	Einige Gemeinden haben begonnen, anpassungsbezogene Mitbestimmungsstrategien und Kommunikationsinfrastrukturen einzusetzen, die traditionelle und wissenschaftliche Kenntnisse verbinden.
<b>Kleine Inseln</b>	Kleine Inseln unterscheiden sich hinsichtlich ihrer physischen Eigenschaften und ihrer Einwohner; es zeigte sich, dass gemeindebasierte Anpassung größeren Nutzen bringt, wenn sie in Verbindung mit anderen Entwicklungsaktivitäten erfolgt.
<b>Der Ozean</b>	Internationale Zusammenarbeit und Meeresraumplanung beginnen die Anpassung an den Klimawandel zu erleichtern, wobei Schwierigkeiten im Zusammenhang mit dem räumlichen Ausmaß und mit Fragen der politischen Steuerung und Koordination Hindernisse schaffen.

institutionellen Hemmnisse oder hilfreichen Faktoren für Anpassungsplanung und -umsetzung sind: 1) Institutionelle Koordination auf mehreren Ebenen zwischen unterschiedlichen politischen und administrativen Ebenen in der Gesellschaft; 2) Entscheidende Akteure, Verfechter und Fürsprecher, die den Impuls für Klimaanpassung geben, durchgängig berücksichtigen und aufrecht erhalten; 3) übergreifendes Zusammenspiel zwischen Sektoren, Akteuren und Maßnahmen auf ähnlichen administrativen Ebenen; 4) politische Dimensionen in Planung und Umsetzung und 5) Koordination zwischen zuständigen Regierungs- und Verwaltungsvertretungen und privaten Sektoren und Interessenvertretern zur Erhöhung von Effizienz, Repräsentation und Unterstützung von Klimaanpassungsmaßnahmen. {WGII 15.2, 15.5, 16.3, Box 15-1}

**Vorhandene und neuartige wirtschaftliche Instrumente können Anpassung fördern, indem sie Anreize für das Vorhersehen und Verringern von Folgen schaffen (mittleres Vertrauen).** Solche Instrumente sind unter anderem öffentlich-private Finanzierungspartnerschaften, Darlehen, Zahlungen für Umweltleistungen, verbesserte Preisgestaltung für Ressourcen, Abgaben und Subventionen, Normen und Vorschriften sowie Risikoteilungs- und Übertragungsmechanismen. Risikofinanzierungsmechanismen im öffentlichen und privaten Sektor, wie Versicherungs- und Risikopools können dazu beitragen Resilienz zu steigern, werden jedoch wesentliche Herausforderungen an deren Gestaltung nicht beachtet, können sie auch zu negativen Anreizen, Marktversagen und Kapitalrückgang führen. Regierungen kommen häufig entscheidende Rollen als Regulator, Anbieter oder Risikoträger letzter Instanz zu. {WGII SPM C-1}

#### 4.4.2.2 Minderung

Seit dem AR4 hat die Zahl nationaler und subnationaler Minderungspläne und -strategien beträchtlich zugenommen. Im

Jahr 2012 unterlagen 67 % der globalen THG-Emissionen<sup>42</sup> nationalen Gesetzen oder Strategien gegenüber 45 % im Jahr 2007. Es gab jedoch noch keine substanzielle Abweichung der globalen Emissionen vom früheren Trend. Diese Pläne und Strategien befinden sich in vielen Ländern in einem frühen Stadium der Entwicklung und Umsetzung, was eine Bewertung ihrer gesamten Auswirkung auf zukünftige globale Emissionen erschwert (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {WGIII SPM.5.1}

**Seit dem AR4 lag der Fokus zunehmend auf politischen Maßnahmen, die mehrere Ziele integrieren, positive Nebeneffekte steigern und negative Nebeneffekte verringern sollen (hohes Vertrauen).** Regierungen verweisen in klima- und sektorbezogenen Plänen und Strategien häufig explizit auf positive Nebeneffekte. {WGIII SPM.5.1}

**Sektorspezifische Strategien wurden in größerem Umfang angewandt als gesamtwirtschaftliche (Tabelle 4.7) (mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung).** Obwohl in der Wirtschaftstheorie größtenteils davon ausgegangen wird, dass gesamtwirtschaftliche Minderungsstrategien kosteneffizienter wären als sektorspezifische Strategien, könnten administrative und politische Hemmnisse die Gestaltung und Umsetzung von gesamtwirtschaftlichen Strategien stärker erschweren als die von sektorspezifischen Strategien. Letztere sind möglicherweise besser geeignet, um Hemmnissen oder Marktversagen in bestimmten Sektoren zu begegnen und können in Paketen sich ergänzender Maßnahmen gebündelt werden. {WGIII SPM.5.1}

**Grundsätzlich können Mechanismen, die einen Kohlenstoffpreis festlegen, einschließlich „cap-and-trade“-Systeme und CO<sub>2</sub>-Steuern, Minderung auf kosteneffiziente Weise erreichen. Allerdings wurden sie mit unterschiedlichem Erfolg umgesetzt, was teilweise auf nationale Umstände, aber auch auf ihre Gestaltung zurückzuführen ist.** Der kurzfristige ökologische Effekt

Tabelle 4.7 | Sektorale politische Maßnahmen. [WGIII Tabelle 15.2]

Politische Instrumente	Energie	Verkehr	Gebäude	Industrie	AFOLU	Siedlungen und Infrastruktur
<b>Wirtschaftliche Instrumente – Steuern (CO<sub>2</sub>-Steuern können wirtschaftsweit sein)</b>	- CO <sub>2</sub> -Steuer (z. B. auf Elektrizität oder Brennstoffe)	- Treibstoffsteuern - Staugebühren, Gebühren für die KFZ-Registrierung, Mautgebühren - Kraftfahrzeugsteuern	- CO <sub>2</sub> - und/oder Energiesteuern (entweder sektoral oder wirtschaftsweit)	- CO <sub>2</sub> - oder Energiesteuer - Abfallentsorgungssteuern bzw. -gebühren	- Düngemittel- oder Stickstoffsteuern zur Verringerung von Lachgas (N <sub>2</sub> O)	- Zersiedelungssteuern, Gebühren für Folgen, Eintreibungen, gespaltene Grundsteuern, Wertzuwachssteuern, Staugebühren
<b>Wirtschaftliche Instrumente – Handelbare Genehmigungen (können wirtschaftsweit sein)</b>	- Emissionshandel - Emissionskredite unter dem Clean Development Mechanismus (CDM) - Handelbare Umweltzertifikate	- Kraftstoff- und Fahrzeugstandards	- Handelbare Zertifikate für Energieeffizienzverbesserungen (weiße Zertifikate)	- Emissionshandel - Emissionskredite unter CDM - Handelbare Umweltzertifikate	- Emissionskredite unter CDM - Compliance-Programme abseits des Kyoto-Protokolls (nationale Programme) - Freiwillige Kohlenstoffmärkte	- „Cap-and-Trade“ auf Städteebene
<b>Wirtschaftliche Instrumente – Subventionen</b>	- Wegfall von Subventionen für fossile Brennstoffe - Einspeisetarife für Erneuerbare Energien	- Subventionen für Biokraftstoffe - Zuschüsse beim Fahrzeugerwerb - Bonus/Malus-Regelungen	- Subventionen oder Steuererleichterungen für Investitionen in effiziente Gebäude, Umbauten und Produkte - Bezuschusste Darlehen	- Subventionen (z. B. für Energieprüfungen) - Finanzielle Anreize (z. B. für Brennstoffumstellung)	- Kreditlinien für kohlenstoffarme Landwirtschaft, nachhaltige Forstwirtschaft	- Spezielle Erschließungs- und Sanierungsgebiete
<b>Regulatorische Ansätze</b>	- Effizienzstandards bzw. ökologische Leistungsstandards - Gesetzliche Standards für Erneuerbare Energien (EE) (Renewable Portfolio Standards, RPS) - Gerechter Zugang zum Stromnetz - Rechtlicher Status langfristiger CO <sub>2</sub> -Speicherung	- Leistungsstandards für Brennstoffeinsparung - Qualitätsstandards für Brennstoffe - Leistungsstandards für Treibhausgas-emissionen - Regulatorische Beschränkungen, um Verkehrsverlagerungen zu fördern (von Straße auf Schiene) - Einschränkung der Fahrzeugnutzung in bestimmten Gebieten - Ökologische Kapazitätsbeschränkungen für Flughäfen - Stadtplanung und Zonierungsbeschränkungen	- Bauvorschriften und -standards - Ausstattungs- und Gerätestandards - Anweisungen für Energiehändler, Kundeninvestitionen in Energieeffizienz zu fördern	- Energieeffizienzstandards für Ausstattung - Energiemanagementsysteme (auch freiwillig) - Freiwillige Abkommen (sofern sie Vorschriften unterliegen) - Kennzeichnungs- und öffentliche Vergabeverordnungen	- Nationale Maßnahmen zur Unterstützung von REDD+, einschließlich Messung, Berichtswesen und Verifizierung (MRV) - Forstgesetze zur Verringerung von Entwaldung - Reinheitskontrolle von Luft und Wasser in Bezug auf THG-Vorläufer - Landnutzungsplanung und Governance	- Mischgebiete - Erschließungsbeschränkungen - Bezahlbare Bebauungsaufträge - Zutrittsregulierung auf Baustellen - Übertragung von Erschließungsrechten - Designvorschriften - Bauvorschriften - Straßenaufbauvorschriften - Designstandards
<b>Informationsprogramme</b>		- Brennstoffkennzeichnung - Fahrzeugeffizienzkennzeichnung	- Energieaudits - Kennzeichnungsprogramme - Energieberatungsprogramme	- Energieaudits - Benchmarking - Vermittlung industrieller Kooperationen über Makler	- Zertifizierungsprogramme für nachhaltige Forstwirtschaft - Informationsmaßnahmen zur Unterstützung von REDD+, einschließlich Messung, Berichtswesen und Verifizierung	
<b>Regierungsseitige Versorgung mit öffentlichen Gütern bzw. Leistungen</b>	- Forschung und Entwicklung - Infrastrukturerweiterung (Fernwärme/-kühlung bzw. Netzbetreiber)	- Investitionen in Transit- sowie Rad- und Fußverkehr - Investitionen in alternative Brennstoff-Infrastrukturen - Beschaffung schadstoffarmer Fahrzeuge	- Öffentliche Beschaffung effizienter Gebäude und Geräte	- Schulung und Bildung - Vermittlung industrieller Kooperationen über Makler	- Schutz nationaler, staatlicher und lokaler Wälder - Investitionen in Verbesserung und Streuung innovativer Technologien in Land- und Forstwirtschaft	- Schaffung von Versorgungs-Infrastrukturen, wie Stromverteilung, Fernwärme/-kühlung und Abwasseranbindung usw. - Verbesserung von Grünanlagen - Verbesserung von Fußwegen - Stadtschienenverkehr
<b>Freiwillige Maßnahmen</b>			- Kennzeichnungsprogramme für effiziente Gebäude - Ökokennzeichnung für Produkte	- Freiwillige Vereinbarungen zu Energiezielen, Umsetzung von Energiemanagementsystemen oder Ressourceneffizienz	- Förderung von Nachhaltigkeit durch die Entwicklung von Standards und Bildungskampagnen	

von „cap-and-trade“-Systemen war aufgrund von lockeren Obergrenzen oder Obergrenzen, die sich nicht als limitierend erwiesen haben, begrenzt (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). In einigen Ländern haben steuerbasierte Strategien, die spezifisch auf die Verringerung von THG-Emissionen ausgerichtet waren – neben Technologie- und anderen Maßnahmen – dazu beigetragen, die Kopplung von THG-Emissionen und BIP aufzuweichen (*hohes Vertrauen*). Darüber hinaus haben in vielen Ländern Mineralölsteuern (auch wenn diese nicht notwendigerweise zum Zwecke der Minderung eingeführt wurden) Auswirkungen, die sektoralen CO<sub>2</sub>-Steuern ähneln (*belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung*). Erträge aus CO<sub>2</sub>-Steuern oder versteigerten Emissionszertifikaten werden in einigen Ländern dazu verwendet, andere Steuern zu reduzieren und/oder Geringverdiener zu entlasten. Dies verdeutlicht den allgemeinen Grundsatz, dass Minderungsstrategien, die Regierungseinnahmen erhöhen, im Allgemeinen mit geringeren Sozialkosten verbunden sind als Ansätze, die dies nicht tun. {WGIII SPM.5.1}

**Wirtschaftliche Instrumente in Form von Subventionen können über Sektoren hinweg angewendet werden und beinhalten eine Vielzahl politischer Gestaltungsmöglichkeiten, wie Steuerrabatte oder -befreiungen, Zuschüsse, Darlehen und Kreditlinien.** Eine zunehmende Anzahl und Bandbreite von EE-Programmen, einschließlich von Subventionen – durch viele Faktoren motiviert – hat das beschleunigte Wachstum von EE-Technologien in den letzten Jahren angetrieben. Regierungsmaßnahmen spielen eine entscheidende Rolle in der Beschleunigung des Einsatzes von EE-Technologien. Energiezugang sowie soziale und wirtschaftliche Entwicklung waren die primären Treiber in den meisten Entwicklungsländern, während die Sicherung der Energieversorgung und ökologische Bedenken in den Industrieländern am wichtigsten waren. Der Fokus der Programme liegt nicht mehr nur primär auf EE-Strom, sondern wird auf Heizung, Kühlung und Transport mit Erneuerbaren Energiequellen ausgeweitet. {SRREN SPM.7}

**Der Abbau von Subventionen für mit THG verbundene Aktivitäten in verschiedenen Sektoren kann Emissionsminderungen bewirken, abhängig vom gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Kontext (*hohes Vertrauen*).** Die jüngste Literatur hat sich vor allem mit Subventionen für fossile Brennstoffe beschäftigt, obwohl Subventionen die Emissionen in vielen Sektoren beeinflussen können. Seit dem AR4 hat ein kleiner, aber wachsender Literaturzweig, der auf gesamtwirtschaftlichen Modellen basiert, projiziert, dass der vollständige Wegfall von Subventionen für fossile Brennstoffe in allen Ländern Verringerungen der globalen Gesamt-Emissionen bis zur Jahrhundertmitte zur Folge haben könnte (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Die Studien unterscheiden sich hinsichtlich der Methodik, der Art und Definition der Subventionen und des für den Ausstieg angenommenen Zeitrahmens. Insbesondere untersuchen diese Studien die Auswirkungen eines vollständigen Wegfalls aller Subventionen für fossile Brennstoffe, ohne eine Bewertung darüber anzustreben, welche Subventionen unter Berücksichtigung der nationalen Gegebenheiten verschwenderisch und ineffizient sind. {WGIII SPM.5.1}

**Regulatorische Ansätze und Informationsmaßnahmen werden in großem Umfang angewandt und sind häufig umweltwirksam (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*).** Beispiele für

regulatorische Ansätze sind unter anderem Energieeffizienzstandards; Beispiele für Informationsprogramme sind unter anderem Kennzeichnungsprogramme, die Verbrauchern dabei helfen können, besser informierte Entscheidungen zu treffen. {WGIII SPM.5.1}

**Minderungsmaßnahmen können Vermögenswerte im Bereich fossiler Brennstoffen abwerten und Erträge für Exporteure von fossilen Brennstoffen verringern, jedoch bestehen Unterschiede je nach Region und Brennstoff (*hohes Vertrauen*).** Die meisten Minderungsszenarien sind mit verringerten Erträgen aus dem Kohle- und Ölhandel für große Exporteure verbunden. Die Auswirkungen auf Erträge aus dem Erdgasexport sind unsicherer. Die Verfügbarkeit von CCS würde die negative Auswirkung von Minderung auf den Wert von fossilen Brennstoffvorräten verringern (*mittleres Vertrauen*). {WGIII SPM.5.1}

**Wechselwirkungen zwischen Minderungsmaßnahmen können verstärkend wirken oder keine zusätzlichen Auswirkungen auf die Emissionsminderung haben (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*).** So kann zum Beispiel eine CO<sub>2</sub>-Steuer einen zusätzlichen Umwelteffekt zu Maßnahmen wie Subventionen für die Bereitstellung Erneuerbarer Energien haben. Im Gegensatz dazu gilt, dass, wenn ein „cap-and-trade“-System eine ausreichend stringente Obergrenze hat, um emissionsbezogene Entscheidungen zu beeinflussen, andere Maßnahmen keine weiteren Auswirkungen auf die Emissionsminderung haben (auch wenn sie die Kosten und möglicherweise die Realisierbarkeit stringenterer zukünftiger Ziele beeinflussen können) (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). In beiden Fällen können zusätzliche Maßnahmen erforderlich sein, um Marktversagen bzgl. Innovation und Technologieverbreitung zu begegnen. {WGIII SPM.5.1}

**Subnationale Klimaschutzprogramme herrschen zunehmend sowohl in Ländern mit nationalen Programmen als auch in jenen ohne diese vor.** Diese Klimaschutzprogramme beinhalten bundesstaatliche Klimapläne und solche auf Provinzebene, die Marktinstrumente, regulatorische und informative Maßnahmen sowie subnationale „cap-and-trade“-Systeme kombinieren. Darüber hinaus sind zwischen subnationalen Akteuren transnationale Kooperationen entstanden, insbesondere unter institutionellen Investoren, Nicht-Regierungsorganisationen, die eine Verwaltung der Kohlenstoffkompensierungsmärkte anstreben, sowie Netzwerken von Städten, die Zusammenarbeit bei der Schaffung kohlenstoffarmer Stadtentwicklung anstreben. {WGIII 13.5.2, 15.2.4, 15.8}

**Positive und negative Nebeneffekte von Minderung könnten das Erreichen anderer Ziele beeinflussen, wie jener, die mit Gesundheit des Menschen, Ernährungssicherung, Biodiversität, lokaler Umweltqualität, Energiezugang, Existenzgrundlagen und gerechter nachhaltiger Entwicklung verbunden sind.** {WGIII SPM.2}

- Minderungsszenarien, die bis zum Jahr 2100 etwa 450 oder 500 ppm CO<sub>2</sub>-Äq erreichen, weisen reduzierte Kosten für das Erreichen von Luftreinheits- und Energiesicherungszielen auf, mit signifikanten positiven Nebeneffekten in Bezug auf Gesundheit des Menschen, Auswirkungen auf Ökosysteme, sowie Ressourcenschonung und Resilienz des Energiesystems. {WGIII SPM.4.1}

- Manche Minderungsstrategien erhöhen die Preise für einige Energiedienstleistungen und könnten es Gesellschaften erschweren, den Zugang zu modernen Energiedienstleistungen auf unterversorgte Bevölkerungsgruppen auszuweiten (*geringes Vertrauen*). Diese potenziellen negativen Nebeneffekte können durch die Einführung ergänzender politischer Maßnahmen wie Einkommensteuerrabatten oder anderen Leistungstransfermechanismen vermieden werden (*mittleres Vertrauen*). Für die Schaffung eines nahezu universellen Zugangs zu Elektrizität und saubereren Brennstoffen zum Kochen und Heizen werden jährliche Kosten zwischen 72 und 95 Mrd. USD bis zum Jahr 2030 projiziert, mit minimalen Auswirkungen auf THG-Emissionen (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*) und vielfachen positiven Auswirkungen auf Gesundheit und die Verminderung von Luftverschmutzung (*hohes Vertrauen*). {WGIII SPM.5.1}

Ob Nebeneffekte auftreten oder nicht, und in welchem Ausmaß sich diese materialisieren, wird fall- und lagespezifisch sein und von den Umständen vor Ort sowie vom Maßstab, Umfang und der Geschwindigkeit der Implementierung abhängen. Viele positive und negative Nebeneffekte sind bislang nicht ausreichend quantifiziert. {WGIII SPM.4.1}

#### 4.4.3 Technologieentwicklung und -transfer

**Technologiepolitik (Entwicklung, Verbreitung und Transfer) ergänzt andere Minderungsmaßnahmen auf allen Ebenen, von international bis subnational, aber die weltweiten Investitionen in Forschung zur Unterstützung der THG-Minderung ist verglichen mit den öffentlichen Gesamtausgaben für Forschung gering (*hohes Vertrauen*).** Technologiepolitik beinhaltet Technologieschub (z. B. öffentlich finanzierte Forschung und Entwicklung) und Nachfragesog (z. B. staatliche Beschaffungsprogramme). Solche Maßnahmen wirken einem weit verbreiteten Marktversagen entgegen, da bei fehlender Regierungspolitik wie beispielsweise Patentschutz, Erfindungen neuer Technologien und Verfahren aus Forschungs- und Entwicklungsbemühungen Eigenschaften eines All-gemeinguts aufweisen und folglich durch Marktkräfte allein häufig unterversorgt werden. Technologieförderprogramme haben beträchtliche Innovationen und die Verbreitung neuer Technologien vorangebracht, die Kosteneffizienz solcher Programme ist jedoch häufig schwer zu bewerten. Technologiepolitik kann Anreize zur Beteiligung an und Befolgung von internationalen Kooperationsbemühungen erhöhen – insbesondere langfristig. {WGIII SPM.5.1, 2.6.5, 3.11, 13.9, 13.12, 15.6.5}

**Viele Anpassungsbemühungen hängen entscheidend von der Verbreitung und dem Transfer von Technologien und Management-Verfahren ab, ihre effektive Verwendung wiederum ist abhängig von einem geeigneten institutionellen, regulatorischen, sozialen und kulturellen Kontext (*hohes Vertrauen*).** Anpassungstechnologien sind häufig bekannt und werden bereits anderweitig eingesetzt. Der Erfolg des Technologietransfers kann jedoch nicht nur die

Bereitstellung von Finanzierung und Information beinhalten, sondern auch die Stärkung des politischen und regulatorischen Umfeldes und der Kapazitäten zu Aufnahme, Einsatz und Verbesserung von Technologien, die für die lokalen Gegebenheiten geeignet sind. {WGII 15.4}

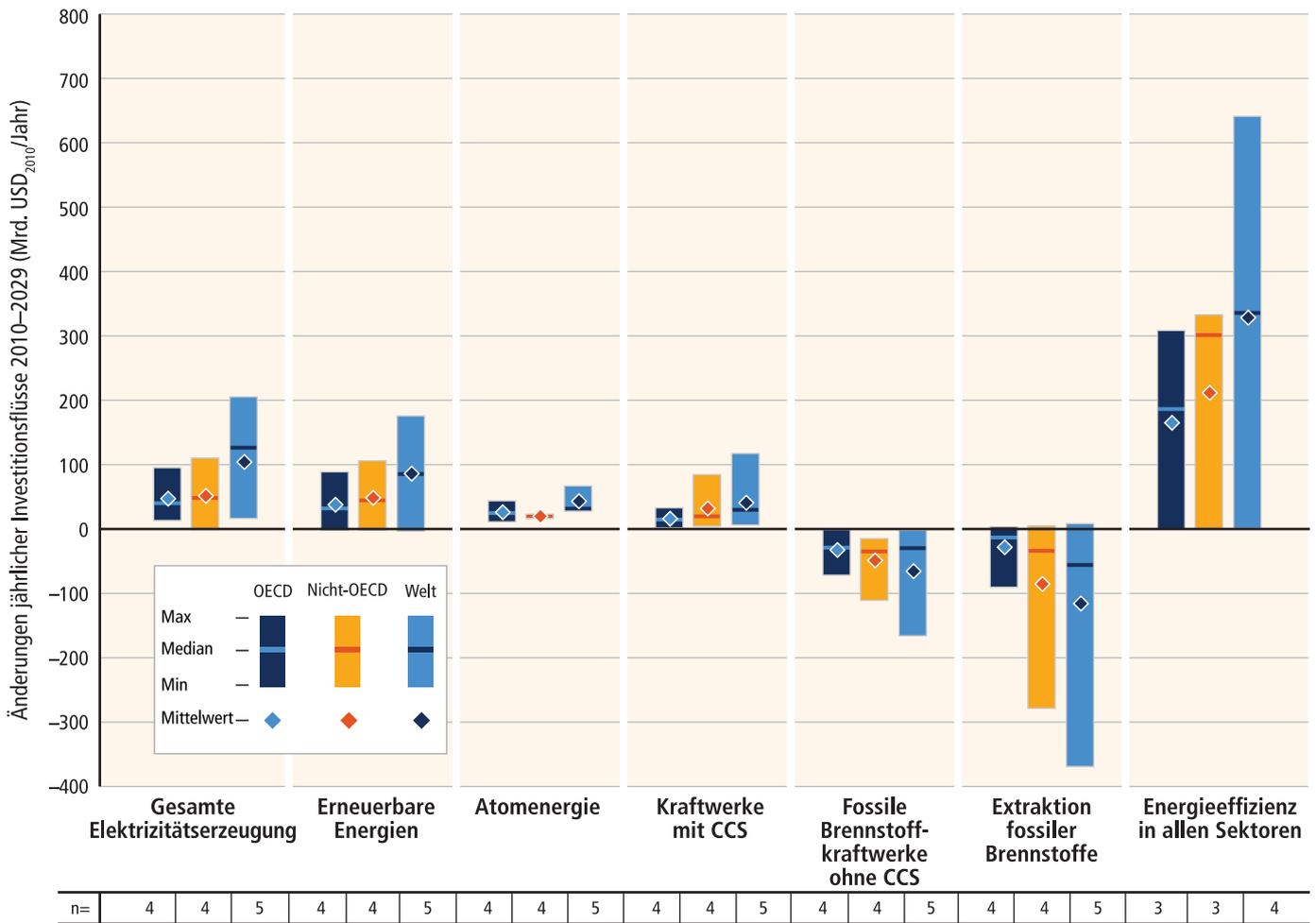
#### 4.4.4 Investition und Finanzierung

**Substanzielle Verringerungen von Emissionen würden große Änderungen der Investitionsmuster erfordern (*hohes Vertrauen*).** Minderungsszenarien, in denen Maßnahmen die atmosphärischen Konzentrationen (ohne Überschreitung) im Bereich von 430 bis 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 stabilisieren<sup>45</sup>, führen zu erheblichen Verschiebungen der jährlichen Investitionsflüsse im Zeitraum von 2010–2029 gegenüber den Basisszenarien. Während der nächsten zwei Jahrzehnte (2010 bis 2029) wird ein Rückgang der jährlichen Investitionen in konventionelle, fossile Brennstofftechnologien für den Stromversorgungssektor um ca. 30 (2 bis 166) Mrd. USD (Median: -20 %, verglichen mit 2010) projiziert, während für die jährlichen Investitionen in kohlenstoffarme Stromversorgung (d. h. EE, Atomenergie und Stromerzeugung mit CCS) ein Anstieg von ca. 147 (31 bis 360) Mrd. USD (Median: +100 %, verglichen mit 2010) projiziert wird (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). Darüber hinaus wird in den Szenarien ein Anstieg der jährlichen inkrementellen Energieeffizienz-Investitionen in die Sektoren Verkehr, Industrie und Gebäude von etwa USD 336 (1 bis 641) Mrd. projiziert. Die globalen jährlichen Gesamtinvestitionen in das Energiesystem betragen derzeit ca. 1200 Mrd. USD. Dieser Betrag beinhaltet lediglich die Energieversorgung für Strom und Wärme sowie die entsprechenden vor- und nachgelagerten Aktivitäten. Energieeffizienzinvestitionen oder die zugrunde liegenden Sektorinvestitionen sind nicht enthalten (Abbildung 4.4). {WGIII SPM.5.1, 16.2}

**Es existiert keine weithin anerkannte Definition des Begriffes „Klimafinanzierung“, Schätzungen der mit Minderung des Klimawandels und der Anpassung daran verbundenen Finanzströme sind jedoch verfügbar.** Siehe Abbildung 4.5 für einen Überblick über die Klimafinanzierungsflüsse. Veröffentlichte Bewertungen aller derzeitigen jährlichen Finanzströme, die voraussichtlich eine Verringerung der Netto-THG-Emissionen und/oder eine Erhöhung der Resilienz gegenüber Klimawandel und Klimavariabilität zur Folge haben werden, gehen von weltweit 343 bis 385 Mrd. USD pro Jahr aus (*mittleres Vertrauen*). Davon beträgt die gesamte öffentliche Klimafinanzierung, die an Entwicklungsländer geflossen ist, für die Jahre 2011 und 2012 schätzungsweise zwischen 35 und 49 Mrd. USD pro Jahr (*mittleres Vertrauen*). Schätzungen der internationalen privaten Klimafinanzierung, die an Entwicklungsländer fließt, reichen von 10 bis 72 Mrd. USD pro Jahr, einschließlich ausländischer Direktinvestitionen in Form von Kapital und Krediten zwischen 10 und 37 Mrd. USD pro Jahr im Zeitraum von 2008 bis 2011 (*mittleres Vertrauen*). {WGIII SPM.5.1}

**In vielen Ländern spielt der private Sektor eine zentrale Rolle bei den Prozessen, die zu Emissionen führen, aber auch zu**

<sup>45</sup> Dieser Bereich umfasst Szenarien, die 430 bis 480 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 (*wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellen Niveaus) sowie Szenarien, die 480 bis 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 erreichen (ohne Überschreitung: Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellen Niveaus *eher wahrscheinlich als nicht*).



**Abbildung 4.4 |** Änderungen der jährlichen Investitionsflüsse gegenüber dem durchschnittlichen Basisniveau über die nächsten zwei Jahrzehnte (2010 bis 2029) in Minderungs-szenarien, die Konzentrationen (ohne Überschreitung) bis zum Jahr 2100 innerhalb eines Bereiches von ca. 430 bis 530 ppm CO<sub>2</sub> stabilisieren. Die gesamte Stromerzeugung (Spalte links außen) umfasst die Summe aus Erneuerbarer und Atomenergie, Kraftwerken mit CCS und fossilen Brennstoffkraftwerken ohne CCS. Die senkrechten Balken geben die Bandbreite zwischen der Mindest- und der Höchstschätzung an; der waagerechte Balken zeigt den Median. Die Zahlen in der unteren Zeile geben die Gesamtzahl der Studien in der für die Bewertung verwendeten Literatur an. Einzelne angegebene Technologien werden in unterschiedlichen Modellszenarien in komplementärer oder auch synergistischer Weise angewendet, meist abhängig von technologiespezifischen Annahmen sowie vom Zeitpunkt und der Zielsetzung der Einführung globaler Klimaschutzmaßnahmen. {WGII Abbildung SPM.9}

**Minderung und Anpassung. In einem geeigneten förderlichen Umfeld kann der private Sektor gemeinsam mit dem öffentlichen Sektor eine wichtige Rolle bei der Finanzierung von Minderung und Anpassung einnehmen (mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung).** Der Anteil des Privatsektors an der gesamten Minderungsfinanzierung wird, unter Berücksichtigung der begrenzten Datenverfügbarkeit, auf globaler Ebene auf durchschnittlich zwei Drittel bis drei Viertel (2010–2012) geschätzt (begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung). In vielen Ländern fördern öffentliche Finanzinterventionen seitens Regierungen sowie internationaler Entwicklungsbanken Klimainvestitionen des Privatsektors und ermöglichen Finanzierungen dort, wo Investitionen des Privatsektors begrenzt sind. Die Qualität des förderlichen Umfeldes eines Landes wird gemessen an der Leistungsfähigkeit seiner Institutionen, Regulierungen und Richtlinien in Bezug auf den Privatsektor, an der Sicherheit von Eigentumsrechten, an der Glaubwürdigkeit der Maßnahmen sowie an anderen Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf die Investitionsbereitschaft pri-

vater Unternehmen in neue Technologien und Infrastrukturen haben. Zielgerichtete Politikinstrumente und finanzielle Gestaltungen, z. B. Kreditversicherungen, Einspeisetarife, Konzessionsfinanzierungen oder Rabatte, bieten Anreize für Minderungsinvestitionen, indem sie den entsprechend der Risiken für private Akteure angepassten Ertrag verbessern. Öffentlich-private Initiativen zur Risikoverringung (wie im Kontext von Versicherungssystemen) und wirtschaftlichen Diversifikation sind Beispiele für Anpassungsmaßnahmen, die eine Beteiligung des Privatsektors ermöglichen und von dieser abhängig sind. {WGII SPM B-2, SPM C-1, WGIII SPM.5.1}

**Sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern sind finanzielle Ressourcen für Anpassung weniger schnell verfügbar geworden als für Minderung. Begrenzte Belege deuten darauf hin, dass zwischen dem globalen Bedarf an Anpassung und den für Anpassung verfügbaren Finanzmitteln eine Lücke besteht (mittleres Vertrauen).** Potenzielle Synergi-

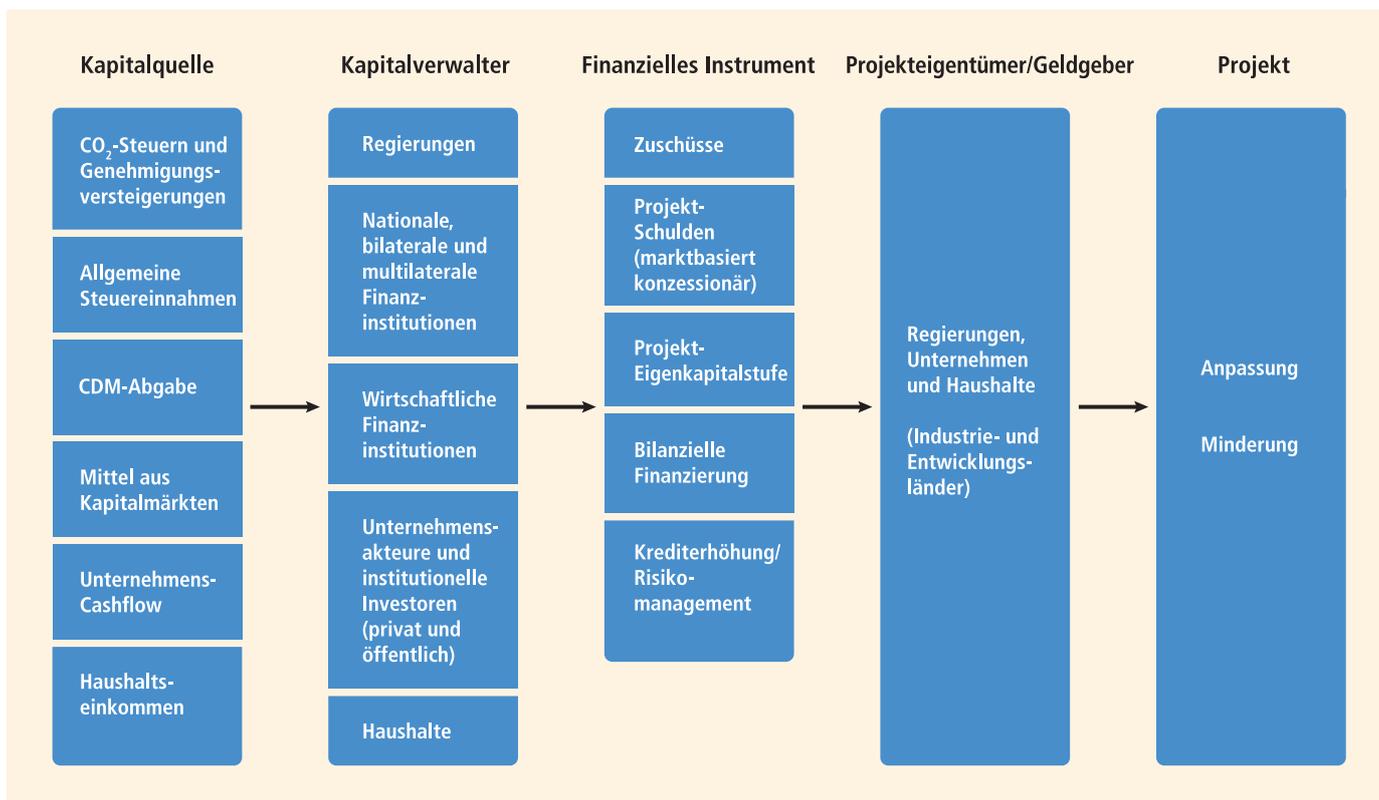


Abbildung 4.5 | Überblick über Klimafinanzierungsflüsse. Anmerkung: Der Begriff Kapital schließt alle relevanten Finanzströme ein. Die Größe der Boxen hat keinen Bezug zum Ausmaß der Finanzflüsse. {WGIII Abbildung TS.40}

en zwischen der internationalen Finanzierung des Managements von Katastrophenrisiko und von Anpassung an den Klimawandel wurden noch nicht voll verwirklicht (*hohes Vertrauen*). Globale Anpassungskosten, -finanzierung und -investitionen müssen besser untersucht werden. Studien zur Abschätzung der globalen Anpassungskosten weisen Mängel an Daten, Methoden und im Erhebungsumfang auf (*hohes Vertrauen*). {WGII SPM C-1, 14.2, SREX SPM}

#### 4.5 Zielkonflikte, Synergien und integrierte Maßnahmen

Es bestehen viele Möglichkeiten, Minderung, Anpassung und die Verfolgung anderer gesellschaftlicher Ziele durch integrierte Maßnahmen miteinander zu verknüpfen (*hohes Vertrauen*). Der Erfolg ihrer Umsetzung hängt von den zweckdienlichen Instrumenten, geeigneten Strukturen der politischen Steuerung und Koordination sowie von verbesserten Kapazitäten ab, auf den Klimawandel zu reagieren (*mittleres Vertrauen*).

Zunehmende Belege deuten auf enge Verknüpfungen von Anpassung und Minderung sowie deren positiven und negativen Nebeneffekten hin und erkennen nachhaltige Entwicklung als übergreifenden Kontext für die Klimapolitik an (siehe Abschnitte 3.5, 4.1, 4.2 und 4.3).

Die Entwicklung von Instrumenten, die diesen Verbindungen Rechnung tragen, ist entscheidend für den Erfolg von Klimapolitik im Kontext nachhaltiger Entwicklung (siehe auch Abschnitte 4.4 und 3.5). Dieser Abschnitt zeigt Beispiele integrierter Maßnahmen auf bestimmten politischen Feldern auf sowie einige der Faktoren, die auf mehrere Ziele ausgerichtete Maßnahmen voranbringen oder hemmen.

Zunehmende Bemühungen um Minderung und Anpassung an den Klimawandel bedeuten eine zunehmende Komplexität von Wechselwirkungen, wie Verbindungen zwischen Gesundheit des Menschen, Wasser, Energie, Landnutzung und Biodiversität (*sehr hohes Vertrauen*). Minderung kann das Erreichen anderer gesellschaftlicher Ziele erleichtern, wie jener, die mit Gesundheit des Menschen, Ernährungssicherung, Umweltqualität, Energiezugang, Existenzgrundlagen und nachhaltiger Entwicklung verbunden sind, wenngleich auch negative Auswirkungen auftreten können. Anpassungsmaßnahmen haben ebenfalls das Potenzial positiver Nebeneffekte in Form von Minderung und umgekehrt, und fördern andere gesellschaftliche Ziele, obwohl auch Zielkonflikte entstehen können. {WGII SPM C-1, SPM C-2, 8.4, 9.3–9.4, 11.9, Box CC-WE, WGIII Tabelle TS.3, Tabelle TS.4, Tabelle TS.5, Tabelle TS.6, Tabelle TS.7}

Die Integration von Anpassung und Minderung in Planung und Entscheidungsfindung kann Synergien mit nachhaltiger Entwicklung schaffen (*hohes Vertrauen*). Synergien und Zielkonflikte zwischen Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen und Maßnahmen, die andere gesellschaftliche Ziele anstreben, können beträchtlich, jedoch bisweilen schwer zu quantifizieren sein, insbesondere in Bezug

auf Wohlfahrtsaspekte (siehe auch Abschnitt 3.5). Ein multikriterieller Ansatz zum Politikdesign kann dabei helfen, auf diese Synergien und Zielkonflikte einzugehen. Maßnahmen, die auf mehrere Ziele ausgerichtet sind, könnten auch größere Unterstützung erfahren. *{WGII SPM C-1, SPM C-2, 20.3, WGIII 1.2.1, 3.6.3, 4.3, 4.6, 4.8, 6.6.1}*

**Wirksame integrierte Maßnahmen hängen von geeigneten Instrumenten und politischen Steuerungsstrukturen sowie adäquater Kapazität ab (*mittleres Vertrauen*).** Das Management von Zielkonflikten und Synergien ist schwierig und erfordert Instrumente, die das Verständnis über Wechselwirkungen und die Entscheidungsfindung auf lokaler und regionaler Ebene unterstützen. Integrierte Maßnahmen hängen zudem von politischer Steuerung und Koordination ab, die ebenen- und sektorenübergreifende Koordination ermöglicht, unterstützt durch geeignete Institutionen. Die Entwicklung und Anwendung geeigneter Instrumente und politischer Steuerungsstrukturen erfordert häufig eine Erhöhung der personellen und institutionellen Kapazität, integrierte Maßnahmen gestalten und umsetzen zu können. *{WGII SPM C-1, SPM C-2, 2.2, 2.4, 15.4, 15.5, 16.3, Tabelle 14-1, Tabelle 16-1, WGIII TS.1, TS.3, 15.2}*

**Ein integrierter Ansatz zur Energieplanung und -implementierung, der ausdrücklich auf das Potenzial für positive Nebeneffekte und das Bestehen negativer Nebeneffekte eingeht, kann Komplementaritäten für eine Vielzahl von klimatischen, sozialen und ökologischen Zielen nutzen (*mittleres Vertrauen*).** Es gibt starke Wechselwirkungen zwischen verschiedenen energiepolitischen Zielen, wie beispielsweise Energiesicherheit, Luftreinheit, Gesundheit und Energiezugang (siehe Abbildung 3.5) und zwischen einer Bandbreite von Sozial- und Umweltzielen sowie Klimaschutzzielen (siehe Tabelle 4.5). Ein integrierter Ansatz kann durch Methoden wie beispielsweise Kosten-Nutzen-Analysen, Kosteneffizienzanalysen, multi-kriteriellen Analysen und Erwartungsnutzentheorie gestützt werden. Er erfordert auch geeignete koordinierende Institutionen. *{WGIII Abbildung SPM.6, TS.1, TS.3}*

**Eine ausdrückliche Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen Wasser, Nahrung, Energie und biologischer Kohlenstoffsequestrierung spielt eine wichtige Rolle bei der Unterstützung wirksamer Entscheidungen für klimaresiliente Entwicklungspfade (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*).** Sowohl bio-kraftstoffbasierte Stromerzeugung als auch großflächige Aufforstung zur Minderung des Klimawandels kann die Wasserverfügbarkeit aus Wassereinzugsgebieten verringern, was mit anderen Wassernutzungen für die Nahrungsmittelproduktion, den Verbrauch durch Menschen oder die Erhaltung von Ökosystemfunktionen und -leistungen kollidieren könnte (siehe auch Box 3.4). Umgekehrt kann Bewässerung die Klimaresilienz von Nahrungsmittel- und Faserproduktion erhöhen, die Wasserverfügbarkeit für andere Zwecke jedoch verringern. *{WGII Box CC-WE, Box TS.9}*

**Eine integrierte Reaktion auf Urbanisierung eröffnet große Chancen für eine verbesserte Resilienz, verringerte Emissionen und nachhaltigere Entwicklung (*mittleres Vertrauen*).** Städtische Räume sind für mehr als die Hälfte des globalen Primärenergieverbrauchs und der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*) und beherbergen einen

hohen Anteil der Bevölkerung und der Wirtschaftsaktivitäten, die vom Klimawandel bedroht sind. In schnell wachsenden und urbanisierenden Regionen können Minderungsstrategien, die auf Raumplanung und effizienter Infrastrukturversorgung basieren, den Lock-In-Effekt von hohen Emissionsmustern vermeiden. Die Schaffung von Mischgebieten, verkehrsorientierte Entwicklung, erhöhte Dichte und zusammengelegte Arbeits- und Wohnstandorte können den direkten und indirekten Energieverbrauch sektorenübergreifend senken. Eine kompakte Entwicklung städtischer Räume und eine intelligente Verdichtung können an Land gebundenen Kohlenstoff und Flächen für Landwirtschaft und Bioenergie erhalten. Verringerter Energie- und Wasserverbrauch in städtischen Räumen durch Stadtbegrünung und Wasserwiederaufbereitung sind Beispiele für Minderungsmaßnahmen mit Anpassungswert. Der Aufbau resilienter Infrastruktursysteme kann die Verwundbarkeit städtischer Siedlungen und Städte gegenüber Küstenüberschwemmungen, Meeresspiegelanstieg und anderen klimainduzierten Stressfaktoren verringern. *{WGII SPM B-2, SPM C-1, TS B-2, TS C-1, TS C-2, WGIII SPM.4.2.5, TS.3}*

# Anhänge



**ANHANG** |

## **Nutzerhinweise**

## Nutzerhinweise

Wie in den IPCC-Verfahrensregeln definiert, fasst der Synthesebericht (SYR) das in den IPCC-Sachstandsberichten und -Sonderberichten beinhaltet Material zusammen und integriert dieses. Der SYR zum Fünften Sachstandsbericht (AR5) enthält Material aus den Beiträgen der drei Arbeitsgruppen zum AR5 und stützt sich – sofern erforderlich – auf Informationen aus anderen IPCC-Berichten. Der SYR beruht ausschließlich auf Bewertungen der IPCC-Arbeitsgruppen; er verweist weder auf wissenschaftliche Primärliteratur, noch bewertet er diese selbst.

Der SYR stellt eine eigenständige, verdichtete Zusammenfassung der wesentlich umfangreicheren Informationen aus den zugrundeliegenden Berichten der Arbeitsgruppen dar. Nutzer können auf relevantes Material je nach erforderlichem Detaillierungsgrad folgendermaßen zugreifen: Der Bericht enthält eine Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (Summary for Policymakers, SPM), welche die am stärksten verdichtete Zusammenfassung des derzeitigen Verständnisses der naturwissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Aspekte des Klimawandels bietet. Alle Quellenangaben in geschweiften Klammern in dieser SPM verweisen auf Abschnitte im ausführlichen Bericht. Der ausführliche Bericht besteht aus einer Einführung und vier Themen. Die Nummerierungen der Abschnitte der SPM entsprechen weitgehend denjenigen innerhalb der Themen. Am Ende jeden Absatzes stehen kursiv gedruckte Quellenangaben in geschweiften Klammern. Diese beziehen sich auf die Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger (SPM), Technischen Zusammenfassungen (TS), Kurzfassungen von Kapiteln (ES) sowie Kapitel (unter Angabe des Kapitels und der Abschnittsnummerierungen) der zugrundeliegenden Beiträge der Arbeitsgruppen zum AR5 sowie Sonderberichte zum AR5. Verweise auf den Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) aus dem Jahr 2007 sind mit dem Zusatz „AR4“ vor der Quellenangabe gekennzeichnet.

Nutzer, die ein besseres Verständnis der wissenschaftlichen Details erlangen wollen oder auf die wissenschaftliche Primärliteratur, auf welcher der SYR beruht, zurückgreifen möchten, werden auf die Kapitelabschnitte der zugrundeliegenden Berichte der Arbeitsgruppen verwiesen, die im ausführlichen Bericht des SYR angegeben werden. Die einzelnen Kapitel der Arbeitsgruppenberichte verweisen auf die wissenschaftliche Primärliteratur, auf der die IPCC-Bewertungen beruhen und bieten auch die ausführlichsten regional- und sektorenspezifischen Informationen.

Ein Glossar und eine Akronymliste sind als Anhänge angefügt, um die Nutzung dieses Berichtes weiter zu erleichtern.

## Glossar

### Herausgeber des Glossars

Katharine J. Mach (USA), Serge Planton (Frankreich), Christoph von Stechow (Deutschland)

### Unter Mitarbeit von

Myles R. Allen (Großbritannien), John Broome (Großbritannien), John A. Church (Australien), Leon Clarke (USA), Piers Forster (Großbritannien), Pierre Friedlingstein (Großbritannien/Belgien), Jan Fuglestad (Norwegen), Gabriele Hegerl (Großbritannien/Deutschland), Blanca Jiménez Cisneros (Mexiko/UNESCO), Vladimir Kattsov (Russland), Howard Kunreuther (USA), Leo Meyer (Niederlande), Jan Minx (Deutschland), Yacob Mulugetta (Äthiopien), Karen O'Brien (Norwegen), Michael Oppenheimer (USA), Gian-Kasper Plattner (Schweiz), Andy Reisinger (Neuseeland), Robert Scholes (Südafrika), Melinda Tignor (Schweiz/USA), Detlef van Vuuren (Niederlande)

### TSU Koordination

Noémie Leprince-Ringuet (Frankreich)

Dieser Anhang sollte zitiert werden als:

IPCC 2014: Anhang II: Glossar [Mach, K.J., S. Planton und C. von Stechow, (Hrsg.)]. In: *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung* [Hauptautoren, R.K. Pachauri und L.A. Meyer (Hrsg.)]. IPCC, Genf, Schweiz. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn, 2016.

In diesem Glossar sind einige spezifische Begriffe so definiert, wie die Hauptautoren des Syntheseberichts diese im Kontext dieses Berichtes verstanden wissen wollen. Roter Kursivdruck bedeutet, dass der entsprechende Begriff im Glossar definiert ist. Die kursiv gedruckten Verweise auf die Arbeitsgruppen (WG) I, II und III am Ende jedes Begriffes in diesem Glossar verweisen auf die Glossare der Arbeitsgruppen zum AR5 und sollten gelesen werden wie folgt: WGI (IPCC, 2013a), WGII (IPCC, 2014a) und WGIII (IPCC, 2014b).

### **Abrupte Änderung/Abrupte Klimaänderung (*Abrupt change/abrupt climate change*)**

Abrupte Änderung bezeichnet eine Änderung, die wesentlich schneller abläuft als mit der in der jüngeren Geschichte der betroffenen Komponenten eines Systems verzeichneten Änderungsrate. Abrupte *Klimaänderung* bezeichnet eine großskalige Änderung im *Klimasystem*, die innerhalb weniger Jahrzehnte oder schneller abläuft, für mindestens einige Jahrzehnte andauert (bzw. voraussichtlich andauert) und wesentliche Brüche in natürlichen Systemen und solchen des Menschen hervorruft. {WGI, II, III}

### **Albedo (*Albedo*)**

Der Anteil der Sonnenstrahlung, der an einer Oberfläche oder an einem Körper reflektiert wird, oft in Prozent angegeben. Schneebedeckte Oberflächen haben eine hohe Albedo, die Albedo von Böden reicht von hoch bis niedrig, und pflanzenbedeckte Oberflächen und Ozeane haben eine niedrige Albedo. Die Albedo der Erde variiert hauptsächlich wegen unterschiedlicher Bewölkung, Schnee-, Eis- und Laubbedeckung und Änderungen der Bodenbedeckung. {WGI, III}

### **Altimetrie (*Altimetry*)**

Ein Verfahren zur Messung der Höhe der Erdoberfläche bezogen auf das Geozentrum der Erde innerhalb eines definierten terrestrischen Referenzrahmens (geozentrischer Meeresspiegel). {WGI}

### **Anpassung (*Adaptation*)**

Der Prozess der Ausrichtung auf das tatsächliche oder erwartete *Klima* und dessen Auswirkungen. In Systemen des Menschen ist Anpassung darauf gerichtet, Schäden zu vermindern oder zu vermeiden, oder vorteilhafte Möglichkeiten zu nutzen. In einigen natürlichen Systemen kann die Anpassung an das erwartete *Klima* und dessen Auswirkungen durch Eingreifen des Menschen ermöglicht werden<sup>1</sup>. {WGII, III}

### **Anpassungsdefizit (*Adaptation deficit*)**

Die Lücke zwischen dem derzeitigen Zustand eines Systems und einem Zustand, in dem negative *Folgen* der bestehenden klimatischen Verhältnisse und der *Klimavariabilität* minimiert sind. {WGII}

### **Anpassungsfähigkeit (*Adaptive capacity*)**

Die Fähigkeit von Systemen, Institutionen, Menschen und anderen Lebewesen, sich auf potentielle Schädigungen einzustellen, Vorteile zu nutzen oder auf *Folgen* zu reagieren<sup>2</sup>. {WGII, III}

### **Anpassungsgrenze (*Adaptation limit*)**

Der Punkt, an dem die Ziele eines Akteurs (oder die Systembedürfnisse) durch Anpassungsmaßnahmen nicht mehr vor untragbaren *Risiken* bewahrt werden können. {WGII}

### **Harte Anpassungsgrenze (*Hard adaptation limit*)**

Anpassungsmaßnahmen zur Vermeidung untragbarer *Risiken* sind nicht möglich.

### **Weiche Anpassungsgrenze (*Soft adaptation limit*)**

Es sind derzeit keine Optionen verfügbar, untragbare *Risiken* durch Anpassungsmaßnahmen zu vermeiden.

### **Armut (*Poverty*)**

Armut ist ein komplexer Begriff mit mehreren Definitionen aus unterschiedlichen Denkrichtungen. Er kann sich auf materielle Umstände (wie Bedarf, Entbehrungsmuster oder begrenzte Ressourcen), wirtschaftliche Bedingungen (wie Lebensstandard, Ungleichverteilung oder wirtschaftliche Position) und/oder gesellschaftliche Verhältnisse (wie soziale Klasse, Abhängigkeit, Ausschluss, fehlende Grundsicherung oder fehlende Anspruchsberechtigung) beziehen. {WGII}

### **Aufforstung (*Afforestation*)**

Pflanzung neuer Wälder auf Land, das in der Vergangenheit nicht bewaldet war. Für eine Diskussion des Begriffes *Wald* und verwandter Begriffe wie *Aufforstung*, *Wiederaufforstung* und *Entwaldung* siehe den IPCC-Sonderbericht zur Landnutzung, Landnutzungsänderung und Waldwirtschaft (IPCC, 2000b). Siehe auch die vom Rahmenabkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen bereitgestellten Informationen (UNFCCC, 2013) sowie den Bericht „Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types“ (IPCC, 2003). {WGI, III}

### **Äußerer Antrieb (*External forcing*)**

Äußerer Antrieb bezieht sich auf einen Antriebsfaktor außerhalb des *Klimasystems*, der eine Änderung im *Klimasystem* verursacht. Vulkanausbrüche, solare Schwankungen und anthropogene Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre sowie *Landnutzungsänderungen* sind äußere Antriebe. Der orbitale Antrieb ist ebenfalls ein äußerer Antrieb, da sich die Sonneneinstrahlung mit der Exzentrizität der orbitalen Parameter, Neigung und Präzession der Tag-und-Nacht-Gleiche verändert. {WGI, II}

### **Basis/Referenz (*Baseline/reference*)**

Die Basis (auch: Referenz) bezeichnet den Zustand, gegenüber welchem eine Änderung gemessen wird. Ein Basiszeitraum bezeichnet den Zeitraum, gegenüber dem Anomalien berechnet werden. Im Kontext von *Transformationspfaden* bezieht sich der Begriff *Basisszenario* auf Szenarien, die auf der Annahme beruhen, dass keine Politikinstrumente oder Maßnahmen zur *Minderung* über die bereits bestehenden und/oder erlassenen bzw. beschlossenen hinaus umgesetzt werden. Basisszenarien sollen keine Zukunftsprognosen darstellen, sondern vielmehr kontrafaktische Konstrukte, die dazu dienen können, das Emissionsniveau zu veranschaulichen, das ohne weitere politische Anstrengungen erreicht werden würde. Typischerweise werden Basisszenarien dann

<sup>1</sup> Entsprechend dem Fortschritt in der Wissenschaft unterscheidet sich dieser Glossareintrag in Umfang und Schwerpunkt von der Definition, die im Vierten Sachstandsbericht und anderen IPCC-Berichten verwendet wurde.

<sup>2</sup> Dieser Glossareintrag beruht auf Definitionen aus den früheren IPCC-Berichten sowie dem Millennium Ecosystem Assessment (MEA, 2005).

mit *Klimaschutz*szenarien verglichen, die zur Erreichung verschiedener Ziele für Treibhausgasemissionen, atmosphärische Konzentrationen oder Temperaturveränderungen erstellt werden. Der Begriff *Basisszenario* wird synonym verwendet mit *Referenzszenario* und *No-Policy-Szenario*. In der Literatur wird der Begriff vielfach auch als Synonym für den Begriff *Business-as-Usual (BAU)-Szenario* verwendet, obwohl der Begriff *BAU* nicht mehr favorisiert wird, da die Idee eines *Business-as-Usual* in sich über ein Jahrhundert erstreckenden sozioökonomischen *Projektionen* schwer nachzuvollziehen ist. Siehe auch *Emissionsszenario*, *Repräsentative Konzentrationspfade (RCP)* und *SRES-Szenarien*. {WGI, II, III}

#### **Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (Bioenergy and Carbon Dioxide Capture and Storage, BECCS)**

Die Anwendung der Technologie zur *Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS)* in Bioenergie-Umwandlungsprozessen. Abhängig von den gesamten Lebenszyklusemissionen, einschließlich der gesamten marginalen Folgeauswirkungen (aus *indirekter Landnutzungsänderung (iLUC)* und anderen Prozessen), besitzt BECCS das Potenzial für eine Netto-Kohlendioxidentnahme aus der Atmosphäre. Siehe auch *Sequestrierung*. {WGIII}

#### **Biologische Vielfalt (Biodiversity)**

Die Variabilität aller Lebewesen aus terrestrischen, marinen und anderen *Ökosystemen*. Biologische Vielfalt beinhaltet die Variabilität auf genetischer, artenbezogener und ökosystemarer Ebene<sup>3</sup>. {WGII, III}

#### **Cancún-Pledges (Freiwillige Minderungszusagen von Cancún) (Cancún Pledges)**

Im Laufe des Jahres 2010 haben viele Länder ihre bestehenden Pläne zur Kontrolle von Treibhausgasemissionen beim UNFCCC-Sekretariat eingereicht und diese Vorschläge wurden nun formell unter dem Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) anerkannt. Die Industrieländer haben ihre Pläne in Form von gesamtwirtschaftlichen Zielen zur Verringerung von Emissionen – im Wesentlichen bis 2020 – vorgestellt, während die Entwicklungsländer Wege zur Begrenzung ihres Emissionswachstums in Form von Handlungsplänen vorgelegt haben. {WGIII}

#### **Cancún-Vereinbarungen (Cancún Agreements)**

Eine Reihe von Beschlüssen, die bei der 16. Vertragsstaatenkonferenz (Conference of the Parties, COP) zum Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC) verabschiedet wurden, einschließlich – unter anderem – der folgenden: der neu eingerichtete Grüne Klimafonds (Green Climate Fund, GCF), ein neugegründeter Technologiemechanismus, eine Verfahrensweise, um Diskussionen über *Anpassung* voranzubringen, ein formelles Verfahren zur Meldung von *Minderungsverpflichtungen*, das Ziel, den Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur auf 2 °C zu begrenzen sowie eine Vereinbarung zu Messung, Berichterstattung und Verifizierung (Measurement, Reporting and Verification – MRV) für jene Länder, die internationale Unterstützung für ihre *Klimaschutz*bemühungen erhalten. {WGIII}

#### **CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emission (CO<sub>2</sub>Äq-Emission) (CO<sub>2</sub>-equivalent (CO<sub>2</sub>-eq) emission)**

Die Menge an Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Emissionen, die über einen bestimmten Zeitraum denselben integrierten *Strahlungsantrieb* erzeugen

würden wie die emittierte Menge des betrachteten Treibhausgases oder einer Mischung von Treibhausgasen. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emission wird ermittelt, indem die Emission eines Treibhausgases mit seinem *Globalen Erwärmungspotenzial (GWP)* für den festgelegten Zeitraum multipliziert wird (siehe WGI Kapitel 8, Tabelle 8.A.1 und WGIII Anhang II.9.1 zu den hierin verwendeten GWP-Werten der verschiedenen Treibhausgase). Für eine Mischung von Treibhausgasen wird sie ermittelt, indem die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen jedes Gases addiert werden. Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emission stellt eine gebräuchliche Maßeinheit für den Vergleich von Emissionen unterschiedlicher Treibhausgase dar, impliziert jedoch keine Äquivalenz der entsprechenden Klimareaktion. Im Allgemeinen besteht kein Zusammenhang zwischen CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen und daraus resultierenden *CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen*. {WGI, III}

#### **CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentration (CO<sub>2</sub>Äq-Konzentration) (CO<sub>2</sub>-equivalent (CO<sub>2</sub>-eq) concentration)**

Die Konzentration von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), die denselben *Strahlungsantrieb* verursachen würde wie eine bestimmte Mischung von CO<sub>2</sub> und anderen Antriebskomponenten. Solche Werte können ausschließlich Treibhausgase oder eine Kombination aus Treibhausgasen, Aerosolen und Veränderungen der Oberflächen-*Albedo* berücksichtigen. CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentration ist eine Metrik für den Vergleich des *Strahlungsantriebs* einer Mischung unterschiedlicher Antriebskomponenten zu einem bestimmten Zeitpunkt, bedeutet jedoch keine Äquivalenz der entsprechenden Klimareaktion oder zukünftiger Antriebe. Im Allgemeinen besteht kein Zusammenhang zwischen *CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen* und daraus resultierenden CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen. {WGI, III}

#### **CO<sub>2</sub>-Preis (Carbon price)**

Siehe *Kohlenstoffpreis/CO<sub>2</sub>-Preis*.

#### **CO<sub>2</sub>-Steuer (Carbon tax)**

Siehe *Kohlenstoffsteuer/CO<sub>2</sub>-Steuer*.

#### **Dekarbonisierung (Decarbonization)**

Der Vorgang, durch den Länder oder andere Körperschaften eine kohlenstoffarme Wirtschaft erreichen wollen, oder durch welchen Einzelpersonen anstreben, ihren Kohlenstoffverbrauch zu verringern. {WGII, III}

#### **Diskontierung (Discounting)**

Eine mathematische Operation, die Geld- (oder andere) Mengen, die zu verschiedenen Zeitpunkten (Jahren) erhalten oder ausgegeben wurden, vergleichbar macht. Der Operator nutzt eine feste oder möglicherweise von Jahr zu Jahr variierende Diskontrate (> 0), die zukünftige Werte heute weniger wertvoll erscheinen lässt. {WGII, III}

#### **Dürre (Drought)**

Ein Zeitraum ungewöhnlich trockenen Wetters, lange genug, um ein ernstes hydrologisches Ungleichgewicht zu verursachen. Dürre ist ein relativer Begriff; daher muss jede Erörterung eines Niederschlagsdefizits erwähnen, welche niederschlagsbezogene Aktivität zur Diskussion steht. So wirkt sich beispielsweise ein Niederschlagsdefizit während der Wachstumssaison negativ auf die pflanzliche Produktion oder die Funktion des *Ökosystems* im Allgemeinen aus (aufgrund von Bodenfeuchtigkeitsdefiziten, auch landwirtschaftliche Dürre genannt) und

<sup>3</sup> Dieser Glossareintrag beruht auf Definitionen aus dem Global Biodiversity Assessment (Heywood, 1995) sowie dem Millennium Ecosystem Assessment (MEA 2005).

beeinträchtigt während der Abfluss- und Versickerungsperiode primär die Wasserhaushalte (hydrologische Dürre). Veränderungen von Bodenfeuchtigkeits- und Grundwasserspeichern werden nicht nur von Niederschlagsrückgängen, sondern auch durch Anstiege der tatsächlichen Evapotranspiration beeinflusst. Eine Zeitspanne mit ungewöhnlichen Niederschlagsdefiziten wird als meteorologische Dürre bezeichnet. Eine Megadürre ist eine sehr lange und weitverbreitete Dürre, die viel länger als normal dauert, üblicherweise ein Jahrzehnt oder mehr. Zu den entsprechenden Indizes, siehe WGI, AR5 Box 2.4. {WGI, II}

### El Niño-Southern Oscillation (*El Niño-Southern Oscillation*, ENSO)

Der Begriff *El Niño* wurde ursprünglich verwendet, um eine Warmwasserströmung zu beschreiben, die regelmäßig entlang der Küste von Ecuador und Peru fließt und dabei die lokale Fischerei stört. Inzwischen bezeichnet er eine beckenweite Erwärmung des tropischen Pazifiks östlich der Datumsgrenze. Dieses ozeanische Ereignis ist verbunden mit einer Fluktuation in einem tropischen und subtropischen Oberflächendrucksystem auf globaler Ebene, die *Southern Oscillation* genannt wird. Dieses gekoppelte Atmosphären-Ozean-Phänomen, das vorzugsweise in Zeiträumen von zwei bis ungefähr sieben Jahren auftritt, ist als *El Niño-Southern Oscillation* (ENSO) bekannt. Es wird häufig über die Differenz der Oberflächendruckanomalie zwischen Tahiti und Darwin oder die Meeresoberflächentemperaturen im Zentral- und Ost-äquatorial-Pazifik gemessen. Während eines ENSO-Ereignisses werden die vorherrschenden Passatwinde schwächer, wodurch der Auftrieb reduziert wird und Meeresströmungen geändert werden, so dass die Meeresoberflächentemperaturen ansteigen und die Passatwinde weiter geschwächt werden. Dieses Ereignis hat große Auswirkungen auf die Wind-, Meeresoberflächentemperatur- und Niederschlagsmuster im tropischen Pazifik. Durch globale Telekonnectionsprozesse hat es klimatische Folgen in der gesamten Pazifikregion und in vielen anderen Teilen der Welt. Die kalte Phase von ENSO wird *La Niña* genannt. Zu den entsprechenden Indizes, siehe WGI, AR5 Box 2.5. {WGI, II}

### Emissionsszenario (*Emission scenario*)

Eine plausible Darstellung der zukünftigen Entwicklung der Emissionen von Substanzen, die potenziell strahlungswirksam sind (z. B. Treibhausgase, Aerosole), basierend auf einer kohärenten und in sich konsistenten Reihe von Annahmen über Antriebskräfte (wie demographische und sozioökonomische Entwicklung oder Technologiewandel, Energie und *Landnutzung*) und deren Schlüsselbeziehungen. Konzentrationsszenarien, die von Emissionsszenarien abgeleitet werden, werden als Vorgabe für ein *Klimamodell* verwendet, um *Klimaprojektionen* zu berechnen. IPCC (1992) präsentierte eine Reihe von Emissionsszenarien, die als Grundlage für die *Klimaprojektionen* in IPCC (1996) dienten. Diese Emissionsszenarien werden als IS92-Szenarien bezeichnet. Im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (IPCC, 2000a) wurden Emissionsszenarien, die sogenannten *SRES-Szenarien* veröffentlicht, von denen einige unter anderem als Basis für die *Klimaprojektionen* dienten, die in Kapitel 9 bis 11 des IPCC WGI TAR (IPCC, 2001a) und Kapitel 10 und 11 des IPCC WGI AR4 (IPCC, 2007) sowie in IPCC WGI AR5 (IPCC, 2013b) präsentiert wurden. Neue Emissionsszenarien für die *Klimaänderung*, die vier *Repräsentativen Konzentrationspfade*, wurden für den vorliegenden IPCC-Bericht, jedoch unabhängig von diesem, entwickelt. Siehe auch *Basis/Referenz*, *Minderungszenario* und *Transformationspfad*. {WGI, II, III}

### Energiearmut (*Fuel poverty*)

Ein Zustand, in dem ein Haushalt nicht in der Lage ist, ein bestimmtes Verbrauchsniveau an häuslichen Energieleistungen (insbesondere

Beheizung) zu gewährleisten oder unverhältnismäßig hohe Kostenlasten zur Erfüllung dieser Bedürfnisse zu tragen hat. {WGI, III}

### Energieintensität (*Energy intensity*)

Das Verhältnis von Energieverbrauch zu wirtschaftlicher oder physikalischer Produktionsleistung. {WGI, III}

### Energiesicherheit (*Energy security*)

Das Ziel eines bestimmten Landes, oder der globalen Gemeinschaft insgesamt, eine angemessene, stabile und vorhersehbare Energieversorgung aufrecht zu erhalten. Maßnahmen beinhalten die Sicherung der Schonung von Energieressourcen zur Deckung des nationalen Energiebedarfs zu wettbewerbsfähigen und stabilen Preisen und die *Resilienz* der Energieversorgung; Ermöglichung der Entwicklung und des Einsatzes von Technologien; Aufbau einer ausreichenden Infrastruktur zur Erzeugung, Lagerung und Übertragung der Energieversorgung sowie die Sicherstellung einklagbarer Lieferverträge. {WGI, III}

### Ensemble (*Ensemble*)

Eine Sammlung von Modellsimulationen, die eine Klimaprognose oder *Klimaprojektion* kennzeichnet. Unterschiede in den Anfangsbedingungen und der Modellformulierung führen zu unterschiedlichen Entwicklungen der modellierten Systeme und können im Fall von *Klimaprognosen* Informationen zu *Unsicherheiten* aufgrund von Modellfehlern und Fehlern in den Anfangsbedingungen sowie im Fall von *Klimaprojektionen* Informationen zu *Unsicherheiten* aufgrund von Modellfehlern und intern generierter *Klimavariabilität* liefern. {WGI, II}

### Entnahme von Kohlendioxid (*Carbon Dioxide Removal*, CDR)

Die Methoden zur Entnahme von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) beziehen sich auf eine Reihe von technischen Verfahren, die darauf gerichtet sind, CO<sub>2</sub> direkt aus der Atmosphäre zu entfernen, entweder durch (1) die Erweiterung natürlicher *Senken* für Kohlenstoff oder (2) die Verwendung chemischer Verfahren zur Entfernung von CO<sub>2</sub>, mit der Absicht, die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration zu verringern. CDR-Verfahren umfassen Meeres-, Land- und technische Systeme, einschließlich solcher Methoden wie Eisendüngung, weiträumige *Aufforstung* und direkte Abscheidung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre unter Verwendung technisierter chemischer Mittel. Einige CDR-Verfahren fallen in die Kategorie des *Geoengineering*, während dies für andere nicht gilt, wobei die Unterscheidung auf dem Ausmaß, dem Umfang und den Folgen der einzelnen CDR-Maßnahmen beruht. Die Grenze zwischen CDR und *Minderung* ist nicht eindeutig, und es können Überschneidungen zwischen den zwei derzeit vorgegebenen Definitionen bestehen (IPCC, 2012b, S. 2). Siehe auch *Solar Radiation Management* (SRM). {WGI, III}

### Entwaldung (*Deforestation*)

Umwandlung von *Wald* in nicht-bewaldete Fläche. Für eine Diskussion des Begriffes *Wald* und verwandter Begriffe wie *Aufforstung*, *Wieder-aufforstung* und *Entwaldung* siehe den IPCC-Sonderbericht zur Landnutzung, Landnutzungsänderung und Waldwirtschaft (IPCC, 2000b). Siehe auch die vom Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen bereitgestellten Informationen (UNFCCC, 2013) sowie den Bericht „Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types“ (IPCC, 2003). {WGI, II}

### Erdsystemmodell (*Earth System Model*, ESM)

Ein gekoppeltes *Allgemeines* Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodell,

das die Darstellung des *Kohlenstoffkreislaufs* beinhaltet und eine interaktive Berechnung atmosphärischer CO<sub>2</sub>- oder kompatibler Emissionen ermöglicht. Zusätzliche Komponenten (z. B. Atmosphärenchemie, Eisschilde, dynamische Vegetation, Stickstoffkreislauf, aber auch urbane oder Anbaumodelle) können eingeschlossen sein. Siehe auch *Klimamodell*. {WGI, II}

### Ernährungssicherheit (*Food security*)

Ein Zustand, der vorherrscht, wenn Menschen einen gesicherten Zugang zu ausreichenden Mengen an sicheren und nahrhaften Nahrungsmitteln haben, um normal wachsen, sich entwickeln und aktiv und gesund leben zu können. {WGII, III}

### Eutrophierung (*Eutrophication*)

Die übermäßige Anreicherung von Wasser mit Nährstoffen wie Stickstoff und Phosphor. Sie ist einer der Hauptgründe für Beeinträchtigungen der Wasserqualität. Die beiden akutesten Symptome der Eutrophierung sind Hypoxie (bzw. Sauerstoffzehrung) und schädliches Algenwachstum. {WGII}

### Exposition (*Exposure*)

Das Vorhandensein von Menschen, Existenzgrundlagen, Arten bzw. *Ökosystemen*, Umweltfunktionen, Leistungen und -ressourcen, Infrastruktur oder ökonomischem, sozialem oder kulturellem Vermögen in Gegenden und Umständen, die von negativen Auswirkungen betroffen sein könnten. {WGII}

### Extremwetterereignis (*Extreme weather event*)

Ein Extremwetterereignis ist ein Ereignis, das an einem bestimmten Ort und zu einer bestimmten Jahreszeit selten ist. Die Definitionen für „selten“ variieren, aber ein Extremwetterereignis wäre normalerweise so selten wie oder seltener als das 10. oder 90. Perzentil einer beobachteten Wahrscheinlichkeitsverteilung. Per Definition kann die Charakteristik von sogenanntem Extremwetter absolut gesehen von Ort zu Ort unterschiedlich sein. Wenn ein Muster extremen Wetters für einige Zeit, z. B. eine Saison, anhält, kann es als *extremes Klimaereignis* eingestuft werden, insbesondere, wenn es für sich im Durchschnitt oder in seiner Gesamtheit extrem ist (z. B. *Dürre* oder starker Regen über eine Saison). {WGI, II}

### Folgen (Konsequenzen, Auswirkungen) (*Impacts (consequences, outcomes)*)

Auswirkungen auf natürliche Systeme und solche des Menschen. In diesem Bericht wird der Begriff *Folgen* primär verwendet, um Auswirkungen *extremer Wetter- und Klimaereignisse* sowie des *Klimawandels* auf natürliche Systeme und solche des Menschen zu beschreiben. Folgen beziehen sich im Allgemeinen auf die Auswirkungen auf Leben, Existenzgrundlagen, Gesundheitsstatus, *Ökosysteme*, Wirtschaftssysteme, Gesellschaften, Kulturen, Dienstleistungen und Infrastruktur aufgrund der Wechselwirkung von *Klimawandel* bzw. gefährlichen Klimaereignissen, die innerhalb eines bestimmten Zeitraums auftreten, und der *Verwundbarkeit* einer exponierten Gesellschaft oder eines solchen Systems. Folgen werden auch als Konsequenzen und Auswirkungen bezeichnet. Die Folgen der *Klimaänderung* für geophysikalische Systeme, einschließlich *Überschwemmungen*, *Dürren* und Meeresspiegelanstieg, stellen eine Teilmenge der sogenannten physischen Folgen dar. {WGII}

### FOLU (*Forestry and Other Land Use*)

Siehe *Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (AFOLU und FOLU/LULUCF)*.

### Frühwarnsystem (*Early warning system*)

Die Kapazitäten, die benötigt werden, um rechtzeitige und aussagekräftige Warnhinweise zu generieren und zu verbreiten, um es Menschen, Gesellschaften und Organisationen, die von einer *Gefährdung* bedroht werden, zu ermöglichen, umgehend und angemessen zu reagieren, um die Wahrscheinlichkeit von Schäden bzw. Verlusten zu verringern<sup>4</sup>. {WGII}

### Gefährdung (*Hazard*)

Das potenzielle Auftreten eines natürlichen oder durch den Menschen induzierten physischen Ereignisses, Trends oder einer physischen *Auswirkung*, die den Verlust von Menschenleben, Verletzungen oder sonstige gesundheitliche *Folgen* verursachen können, sowie Schäden und Verlust von Besitz, Infrastruktur, Existenzgrundlagen, Bereitstellung von Leistungen, *Ökosystemen* und Umweltressourcen. In diesem Bericht bezieht sich der Begriff *Gefährdung* normalerweise auf klimatische und *klimabedingte* physikalische Ereignisse oder Trends bzw. deren physische *Folgen*. {WGII}

### Geoengineering (*Geoengineering*)

Geoengineering bezieht sich auf ein breites Spektrum von Methoden und Technologien, die darauf gerichtet sind, das *Klimasystem* bewusst zu verändern, um die *Folgen* der *Klimaänderung* abzumildern. Die meisten, jedoch nicht alle Methoden sind darauf gerichtet, entweder (1) die Menge der absorbierten Sonnenenergie im *Klimasystem* zu verringern (*Solar Radiation Management*) oder (2) die Nettokohlendioxid-*Senken* aus der Atmosphäre in ausreichend hohem Maße zu steigern, um das *Klima* zu ändern (*Entnahme von Kohlendioxid*). Umfang und Ziel sind von zentraler Bedeutung. Zwei Schlüsseleigenschaften von Geoengineering-Methoden sind von besonderer Bedeutung: Sie nutzen bzw. beeinflussen das *Klimasystem* (z. B. Atmosphäre, Land oder Ozean) global bzw. regional und/oder könnten erhebliche unbeabsichtigte Auswirkungen haben, die über Landesgrenzen hinausgehen. Geoengineering unterscheidet sich von Wettermodifizierung und Umweltengineering, jedoch können die Grenzen fließend sein (IPCC, 2012b, S. 2). {WGI, II, III}

### Gleichgewichtsklimasensitivität (*Equilibrium climate sensitivity*)

Siehe *Klimasensitivität*. {WGI}

### Globale Erwärmung (*Global warming*)

Globale Erwärmung bezieht sich auf den allmählichen – beobachteten oder projizierten – Anstieg der globalen Oberflächentemperatur als eine der Folgen des durch anthropogene Emissionen verursachten *Strahlungsantriebs*. {WGIII}

**Globales Klimamodell (auch bezeichnet als allgemeines Zirkulationsmodell, beide abgekürzt mit GCM) (*Global climate model/General circulation model*)** Siehe *Klimamodell*. {WGI, II}

### Globales Erwärmungspotenzial (*Global Warming Potential, GWP*)

Ein Index, der den *Strahlungsantrieb* angibt, welcher aus der Emission einer Masseinheit einer bestimmten Substanz folgt, akkumuliert über

<sup>4</sup> Dieser Glossareintrag beruht auf den im UNISDR (2009) und IPCC (2012a) verwendeten Definitionen.

einen gewählten Zeithorizont und im Vergleich zu dem der Referenzsubstanz Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Das GWP repräsentiert daher den kombinierten Effekt der unterschiedlichen Verweilzeiten, für welche diese Substanzen in der Atmosphäre verbleiben, und der Wirksamkeit dieser Substanzen bei der Verursachung von *Strahlungsantrieb*. {WGI, III}

### Globales Temperaturänderungspotenzial (*Global Temperature change Potential, GTP*)

Ein Index zur Messung der Änderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur zu einem gewählten Zeitpunkt nach der Emission einer Masseneinheit einer bestimmten Substanz im Verhältnis zur Referenzsubstanz, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Das Globale Temperaturänderungspotenzial (GTP) repräsentiert daher den kombinierten Effekt der unterschiedlichen Verweilzeiten, für welche diese Substanzen in der Atmosphäre verbleiben, deren Wirkungsgrade bei der Verursachung des *Strahlungsantriebs* sowie der Reaktion des *Klimasystems*. Das GTP wurde auf zwei unterschiedliche Arten definiert:

- Starres GTP: basierend auf einem festen Zeithorizont in der Zukunft (wie GTP<sub>100</sub> für einen Zeithorizont von 100 Jahren)
- Dynamisches GTP: basierend auf einem Zieljahr (beispielsweise das Jahr, in dem für die mittlere globale Temperatur das Erreichen eines Zielniveaus erwartet wird). Im dynamischen GTP reduziert sich der Zeithorizont über die Zeit, da das Zieljahr näher rückt und daher verändert sich der GTP-Wert für zukünftig auftretende Emissionen. {WGI Kapitel 8}

### Gründe zur Besorgnis (*Reasons for Concern, RFC*)

Elemente eines Klassifizierungsrahmens, erstmals im Dritten Sachstandsbericht des IPCC (IPCC, 2001b) entwickelt, der darauf abzielt, Beurteilungen darüber zu erleichtern, welches Niveau der *Klimaänderung gefährlich* (in der Sprache des Artikels 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC)) sein kann, indem *Folgen*, *Risiken* und *Verwundbarkeiten* aggregiert werden. {WGII}

### Hitzewelle (*Heat wave*)

Eine Zeitspanne ungewöhnlichen und unangenehm heißen Wetters. {WGI, II}

### Indirekte Emissionen (*Indirect emissions*)

Emissionen, die Folge von Aktivitäten innerhalb wohldefinierter Grenzen, z. B. einer Region, eines Wirtschaftssektors, eines Unternehmens oder Prozesses sind, die jedoch außerhalb der spezifizierten Grenzen auftreten. Beispielsweise werden Emissionen als indirekt bezeichnet, wenn sie mit der Verwendung von Wärme in Zusammenhang stehen, jedoch tatsächlich außerhalb der Grenzen des Wärmenutzers auftreten, oder mit der Stromerzeugung in Zusammenhang stehen, jedoch tatsächlich außerhalb der Grenzen des Stromversorgungssektors auftreten. {WGIII}

### Industrielle Revolution (*Industrial Revolution*)

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

### Integrierte Bewertung (*Integrated assessment*)

Eine Analysemethode, die Ergebnisse und Modelle aus Physik, Biologie, Wirtschafts- und Sozialwissenschaften und die Wechselwirkungen zwischen diesen Komponenten in einem konsistenten Rahmen kombiniert, um den Zustand und die Folgen von Umweltveränderungen und der politischen Reaktionen hierauf zu bewerten. Siehe auch *Integrierte Modelle*. {WGII, III}

### Integrierte Modelle (*Integrated models*)

Integrierte Modelle erforschen die Wechselwirkungen zwischen mehreren Wirtschaftssektoren bzw. Komponenten bestimmter Systeme wie dem Energiesystem. Im Kontext von *Transformationspfaden* beziehen sie sich auf Modelle, die – mindestens – vollständige und disaggregierte Repräsentationen des Energiesystems und dessen Verbindungen zur Gesamtwirtschaft beinhalten, welche die Berücksichtigung der Wechselwirkungen zwischen unterschiedlichen Elementen dieses Systems erlauben. Integrierte Modelle können auch Darstellungen der Gesamtwirtschaft, von *Landnutzung und Landnutzungsänderung (LUC)* und des *Klimasystems* beinhalten. Siehe auch *Integrierte Bewertung*. {WGIII}

### Integriertes Küstenzonenmanagement (*Integrated Coastal Zone Management, ICZM*)

Ein integrierter Ansatz für eine nachhaltige Bewirtschaftung von Küstengegenden unter Berücksichtigung aller küstennaher Lebensräume und Nutzungen. {WGII}

### Interne Variabilität (*Internal variability*)

Siehe *Klimavariabilität*. {WGI}

### Irreversibilität (*Irreversibility*)

Ein gestörter Zustand eines dynamischen Systems wird als irreversibel in einer bestimmten zeitlichen Größenordnung bezeichnet, wenn der Erholungszeitraum von diesem Zustand aufgrund natürlicher Prozesse wesentlich länger dauert als der Zeitraum, in dem das System diesen gestörten Zustand erreicht hat. Die zeitliche Größenordnung von Interesse im Kontext dieses Berichtes beträgt Jahrhunderte bis Jahrtausende. Siehe auch *Kipp-Punkt*. {WGI}

### Katastrophe (*Disaster*)

Schwerwiegende Änderungen im normalen Funktionieren einer Gemeinde oder Gesellschaft aufgrund von gefährlichen physischen Ereignissen in Wechselwirkung mit vulnerablen sozialen Verhältnissen, welche zu weitverbreiteten negativen Folgen für Menschen, Material, Wirtschaft oder Umwelt führen, die sofortige Notfallmaßnahmen erfordern, um die Befriedigung grundlegender Bedürfnisse des Menschen sicherzustellen, und die möglicherweise externe Unterstützung zur Wiederherstellung erfordern. {WGII}

### Kipp-Punkt (*Tipping point*)

Ein Änderungsniveau in Systemeigenschaften, jenseits dessen sich ein System reorganisiert, häufig abrupt, und nicht mehr zum ursprünglichen Zustand zurückkehrt, selbst wenn die Treiber der Änderung abgebaut werden. In Bezug auf das *Klimasystem* bezeichnet dieser Begriff eine kritische Schwelle des Übergangs des globalen oder regionalen *Klimas* von einem stabilen Zustand in einen anderen stabilen Zustand. Das Kipp-Punkt-Ereignis kann irreversibel sein. Siehe auch *Irreversibilität*. {WGI, II, III}

**Klima (Climate)**

Klima im engeren Sinne ist normalerweise definiert als das durchschnittliche Wetter, oder genauer als die statistische Beschreibung in Form von Durchschnitt und Variabilität relevanter Größen über eine Zeitspanne im Bereich von Monaten bis zu Tausenden oder Millionen von Jahren. Der klassische Zeitraum zur Mittelung dieser Variablen sind 30 Jahre, wie von der Weltorganisation für Meteorologie definiert. Die relevanten Größen sind zumeist Oberflächenvariablen wie Temperatur, Niederschlag und Wind. Klima im weiteren Sinne ist der Zustand, einschließlich einer statistischen Beschreibung, des *Klimasystems*. {WGI, II, III}

**Klimaänderung/Klimawandel (Climate change)**

Klimaänderung bezieht sich auf eine Änderung des *Klimazustands*, die aufgrund einer Änderung im Mittelwert und/oder im Schwankungsbereich seiner Eigenschaften identifiziert werden kann (z. B. mit Hilfe von statistischen Tests) und die über einen längeren Zeitraum anhält, typischerweise Jahrzehnte oder länger. Klimaänderung kann durch interne natürliche Prozesse oder durch *äußere Antriebe* wie Modulationen der Sonnenzyklen, Vulkanausbrüche sowie andauernde anthropogene Änderungen der Zusammensetzung der Atmosphäre oder der *Landnutzung* zustande kommen. Es ist zu beachten, dass das Rahmenabkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) in seinem Artikel 1 Klimaänderung definiert als: „Änderungen des *Klimas*, die unmittelbar oder mittelbar auf Tätigkeiten des Menschen zurückzuführen sind, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, und die zu der über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommen.“ Das UNFCCC unterscheidet demnach zwischen einerseits Klimawandel, der Aktivitäten des Menschen, die die Zusammensetzung der Atmosphäre verändern, zuzuordnen ist, und andererseits *Klimavariabilität*, die natürlichen Ursachen zuzuordnen ist. Siehe auch *Nachweis und Zuordnung*. {WGI, II, III}

**Klimaextreme (extremes Wetter- bzw. Klimaereignis) (Climate extreme)**

Siehe *Extremwetterereignis*. {WGI, II}

**Klimafinanzierung (Climate finance)**

Es existiert keine einheitliche Definition von Klimafinanzierung. Der Begriff *Klimafinanzierung* wird sowohl für die finanziellen Ressourcen verwendet, die aufgewendet werden, um der *Klimaänderung* global zu begegnen, als auch für Finanzströme in Entwicklungsländer, um diese bei den Aufgaben in Bezug auf die *Klimaänderung* zu unterstützen. In der Literatur finden sich mehrere Konzepte in diesen Kategorien, von denen folgende häufigste Verwendung finden: {WGIII}

**Inkrementelle Kosten**

Die Kapitalkosten der *inkrementellen Investitionen* und der Änderung der operativen und Unterhaltungskosten für ein *Minderungs-* oder *Anpassungsprojekt* im Vergleich zu einem Referenzprojekt. Sie können als Differenz zwischen den Nettokapitalwerten der beiden Projekte berechnet werden.

**Inkrementelle Investitionen**

Das zusätzlich erforderliche Kapital für die Anfangsinvestition eines *Minderungs-* bzw. *Anpassungsprojektes* im Vergleich zu einem Referenzprojekt.

**Gesamt-Klimafinanzierung**

Alle Finanzströme, deren erwarteter Effekt eine Verringerung der

Netto-Treibhausgas-Emissionen und/oder eine Erhöhung der *Resilienz* gegenüber den *Folgen* von *Klimavariabilität* und der projizierten *Klimaänderung* ist. Diese umfassen private und öffentliche Gelder, inländische und internationale Flüsse und Aufwendungen für *Minderung* und *Anpassung* an die derzeitige *Klimavariabilität* sowie die zukünftige *Klimaänderung*.

**Gesamt-Klimafinanzierung, die in Entwicklungsländer fließt**

Der Betrag der aus Industrieländern stammenden *Gesamt-Klimafinanzierung*, die in Entwicklungsländer investiert wird. Dies umfasst private und öffentliche Gelder.

**Private Klimafinanzierung, die in Entwicklungsländer fließt**

Finanzierung und Investitionen durch den Privatsektor in/aus Industrieländern für *Minderungs-* und *Anpassungsaktivitäten* in Entwicklungsländern.

**Öffentliche Klimafinanzierung, die in Entwicklungsländer fließt**

Von Regierungen der Industrieländer sowie bilateralen und multilateralen Institutionen bereitgestellte Finanzierung für *Minderungs-* und *Anpassungsaktivitäten* in Entwicklungsländern. Die meisten der zur Verfügung gestellten Gelder sind konzessionäre Kredite und Zuschüsse.

**Klimamodell (Spektrum oder Hierarchie) (Climate model (spectrum or hierarchy))**

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

**Klimaprojektion (Climate projection)**

Eine Klimaprojektion ist die simulierte Reaktion des *Klimasystems* auf ein Szenario zukünftiger Emissionen oder Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen, häufig basierend auf *Klimamodellen*. Klimaprojektionen werden von Klimaprognosen durch ihre Abhängigkeit von den verwendeten Emissions-/Konzentrations-*Strahlungsantriebs-*szenarien unterschieden, die wiederum auf Annahmen, beispielsweise über zukünftige sozioökonomische und technologische Entwicklungen, beruhen, die eintreten können oder auch nicht. {WGI, II, III}

**Klimareaktion (Climate response)**

Siehe *Klimasensitivität*. {WGI}

**Klimaresiliente Pfade (Climate-resilient pathways)**

Iterative Prozesse für die Bewältigung von Änderungen innerhalb eines

komplexen Systems, mit dem Ziel, die mit dem *Klimawandel* verbundenen Störungen zu verringern und Chancen zu steigern. {WGII}

### Klimarückkopplung (*Climate feedback*)

Eine Wechselwirkung, bei der eine Störung einer klimatischen Größe Änderungen in einer zweiten solchen verursacht und die Änderungen der zweiten Größe letztlich zu einer zusätzlichen Änderung der ersten führen. Bei einer negativen *Rückkopplung* wird die ursprüngliche Störung durch die von ihr verursachten Änderungen abgeschwächt; bei einer positiven *Rückkopplung* wird die ursprüngliche Störung verstärkt. Im Fünften Sachstandsbericht wird häufig eine etwas engere Definition verwendet, bei der die betroffene klimatische Größe die mittlere globale Oberflächentemperatur ist, die im Gegenzug Änderungen im globalen Strahlungshaushalt verursacht. In jedem Fall kann die ursprüngliche Störung entweder durch äußere Antriebe oder als Teil der *internen Variabilität* entstehen. {WGI, II, III}

### Klimaschutz (*Mitigation*)

Siehe *Minderung (des Klimawandels)*.

### Klimaschwankung (*Climate variability*)

Siehe *Klimavariabilität/Klimaschwankung*.

### Klimasensitivität (*Climate sensitivity*)

In IPCC-Berichten bezieht sich die *Gleichgewichts-Klimasensitivität* (Einheit: °C) auf die Gleichgewichtsänderung (Änderung des stabilen Zustandes) der jährlichen mittleren globalen Oberflächentemperatur als Folge einer Verdoppelung der atmosphärischen *Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)-Äquivalente-Konzentration*. Aufgrund von rechen-technischen Einschränkungen wird die *Gleichgewichts-Klimasensitivität* in einem *Klimamodell* manchmal geschätzt, indem ein atmosphärisches *allgemeines Zirkulationsmodell* mit einem Mischungsschicht-Ozeanmodell gekoppelt wird, da die *Gleichgewichts-Klimasensitivität* weitgehend durch atmosphärische Prozesse bestimmt wird. Effiziente Modelle können mit einem dynamischen Ozean bis zum Gleichgewicht betrieben werden. Der Klimasensitivitätsparameter (Einheit: °C (Wm<sup>-2</sup>)<sup>-1</sup>) bezieht sich auf die Gleichgewichtsänderung der jährlichen mittleren globalen Oberflächentemperatur aufgrund einer Änderung des *Strahlungsantriebs* um eine Einheit.

Die *effektive Klimasensitivität* (Einheit: °C) ist eine Schätzung der Reaktion der mittleren globalen Oberflächentemperatur auf verdoppelte CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die aus Modellergebnissen oder Beobachtungen der Entwicklung unter Nichtgleichgewichtsbedingungen abgeleitet werden. Sie ist ein Maß der Stärke von *Klimarückkopplungen* zu einem bestimmten Zeitpunkt und kann entsprechend der Antriebsgeschichte und des *Klima*-Zustandes schwanken und sich deshalb von der *Gleichgewichtsklimasensitivität* unterscheiden.

Die *vorübergehende Reaktion des Klimasystems* (Einheit: °C) ist die Veränderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur, gemittelt über einen 20-Jahres-Zeitraum, zentriert auf den Zeitpunkt der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Verdoppelung, in einer *Klimamodell*simulation, in der das CO<sub>2</sub> um 1 % pro Jahr steigt. Sie ist ein Maß der Stärke und Geschwindigkeit der Reaktion der Oberflächentemperatur auf den Antrieb durch Treibhausgase (THG). {WGI, II, III}

### Klimasystem (*Climate system*)

Das Klimasystem ist das höchst komplexe System, das aus fünf Hauptbestandteilen besteht: der Atmosphäre, der Hydrosphäre, der Kryos-

sphäre, der Lithosphäre und der Biosphäre, sowie den Wechselbeziehungen zwischen diesen. Das Klimasystem verändert sich über die Zeit unter dem Einfluss seiner eigenen inneren Dynamik und durch *äußere Antriebe* wie Vulkanausbrüche, solare Schwankungen und anthropogene Einflüsse wie die Änderung in der Zusammensetzung der Atmosphäre und der *Landnutzungsänderung*. {WGI, II, III}

### Klimavariabilität/Klimaschwankung (*Climate variability*)

Klimavariabilität bezieht sich auf Schwankungen des mittleren Zustandes und anderer statistischer Größen (wie z. B. Standardabweichungen, das Auftreten von Extremereignissen usw.) des *Klimas* auf allen räumlichen und zeitlichen Skalen, die über einzelne Wetterereignisse hinausgehen. Variabilität kann durch natürliche interne Prozesse innerhalb des *Klimasystems* (*interne Variabilität*) oder durch natürliche oder anthropogene *äußere Antriebe* (externe Variabilität) begründet sein. Siehe auch *Klimaänderung/Klimawandel*. {WGI, II, III}

### Klimawandel (*Climate change*)

Siehe *Klimaänderung/Klimawandel*.

### Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (*Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS*)

Ein Verfahren, in dem ein relativ reiner Kohlendioxidstrom aus industriellen und energetischen Quellen abgeschieden (aufgefangen), aufbereitet, hochverdichtet und in eine Lagerstätte zur langfristigen Isolation von der Atmosphäre geleitet wird. Siehe auch *Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS)* und *Sequestrierung*. {WGIII}

### Kohlenstoffkreislauf (*Carbon cycle*)

Der zur Beschreibung des Kohlenstoffflusses (in verschiedenen Formen, z. B. als Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) durch die Atmosphäre, das Meer, die terrestrische und marine Biosphäre und die Lithosphäre verwendete Begriff. In diesem Bericht ist die Referenzeinheit für den globalen Kohlenstoffkreislauf Gt CO<sub>2</sub> bzw. GtC (Gigatonne Kohlenstoff = 1 GtC = 10<sup>15</sup> Gramm Kohlenstoff. Dies entspricht 3,667 Gt CO<sub>2</sub>). {WGI, II, III}

### Kohlenstoffintensität (*Carbon intensity*)

Die Menge an Emissionen von Kohlendioxid, die pro Einheit einer weiteren Variablen wie Bruttoinlandsprodukt (BIP), Endenergienutzung oder Transport freigesetzt wird. {WGIII}

### Kohlenstoffpreis/CO<sub>2</sub>-Preis (*Carbon price*)

Der Preis für vermiedene oder ausgestoßene Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)- bzw. *CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen*. Dieser kann sich auf die Höhe einer *Kohlenstoffsteuer/CO<sub>2</sub>-Steuer* oder auf den Preis von Emissionszertifikaten beziehen. In vielen Modellen, auf denen die Abschätzungen der ökonomischen Kosten von *Klimaschutz* beruhen, fungieren Kohlenstoffpreise als Proxy für die Darstellung des Grades der Klimaschutzanstrengungen. {WGIII}

### Kohlenstoffsteuer/CO<sub>2</sub>-Steuer (*Carbon tax*)

Eine Abgabe auf den Kohlenstoffgehalt fossiler Brennstoffe. Da nahezu sämtlicher Kohlenstoff in fossilen Brennstoffen schlussendlich als Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) abgegeben wird, ist eine Kohlenstoffsteuer äquivalent zu einer Emissionssteuer auf CO<sub>2</sub>-Emissionen. {WGIII}

### Kosteneffizienz (*Cost-effectiveness*)

Eine Maßnahme ist kosteneffizienter, wenn sie ein vorgegebenes Ziel mit einem geringeren Kostenaufwand erreicht. *Integrierte Modelle*

nähern sich kosteneffizienten Lösungen an, sofern sie nicht anderweitig ausdrücklich auf bestimmte Parameter festgelegt sind. Kosteneffiziente *Minderungsszenarien* beruhen auf einem stilisierten Implementierungsansatz, bei dem ein einheitlicher Preis für Kohlendioxid und andere Treibhausgase global für jeden Sektor jedes Landes angewandt und dieser über die Zeit so erhöht wird, dass die geringsten global diskontierten Kosten erreicht werden. {WGIII}

### Landnutzung und Landnutzungsänderung (*Land use and land-use change*)

Landnutzung bezieht sich auf die Gesamtheit der Einteilungen, Aktivitäten und Einträge, die in einem bestimmten Landbedeckungstyp vorgenommen werden (eine Reihe Aktivitäten des Menschen). Der Begriff *Landnutzung* wird auch im Sinne des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Zwecks, für den Land bewirtschaftet wird, verwendet (z. B. Weidewirtschaft, Holzernte, Naturschutz). In städtischen Siedlungen bezieht er sich auf Landnutzungen in Städten und deren Umland. Urbane Landnutzung hat Folgen für die Verwaltung, Struktur und Form der Stadt und daher unter anderem auf Energiebedarf, Treibhausgasemissionen und Mobilität. {WGI, II, III}

### Landnutzungsänderung (*Land-use change, LUC*)

Landnutzungsänderung bezeichnet eine Änderung in der Nutzung bzw. der Bewirtschaftung von Land durch Menschen, was zu einer Änderung der Landbedeckung führen kann. Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen können Folgen für die Oberflächen-*Albedo*, Evapotranspiration, Quellen und *Senken* von Treibhausgasen oder andere Eigenschaften des *Klimasystems* haben und können deshalb *Strahlungsantrieb* und/oder andere *Folgen* für das lokale oder globale *Klima* erzeugen. Siehe auch den IPCC-Sonderbericht zu Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (IPCC, 2000b).

### Indirekte Landnutzungsänderung (*Indirect land-use change, iLUC*)

Indirekte Landnutzungsänderung bezieht sich auf Verlagerungen von Landnutzung, die durch eine Änderung des Produktionsniveaus eines landwirtschaftlichen Produktes anderenorts veranlasst wurden, oft durch Märkte vermittelt oder durch Politikinstrumente herbeigeführt. Wenn beispielsweise landwirtschaftliche Flächen für die Treibstoffherstellung umgewidmet werden, kann dies eine Rodung von *Wald* an anderer Stelle zur Folge haben, um die frühere landwirtschaftliche Produktion zu ersetzen. Siehe auch *Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (AFOLU), Aufforstung, Entwaldung und Wiederaufforstung*.

### Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (*Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU and FOLU/LULUCF*)

AFOLU spielt eine zentrale Rolle für *Ernährungssicherheit* und *nachhaltige Entwicklung*. Die wesentlichen *Minderungsoptionen* im AFOLU-Sektor beinhalten eine oder mehrere von drei Strategien: Vermeidung von Emissionen in die Atmosphäre durch Konservierung der bestehenden Kohlenstoffreservoir in Böden oder Vegetation bzw. durch Verringerung der Emissionen von Methan und Lachgas; *Sequestrierung* – Vergrößerung bestehender Kohlenstoffreservoir und damit einhergehenden Entzug von Kohlendioxid aus der Atmosphäre; und Substitution – Ersetzen fossiler Brennstoffe bzw. energieintensiver Produkte durch biologische Produkte und damit Verringerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen. Nachfrageseitige Maßnahmen (z. B. eine Verringerung von Nahrungsmittelverlusten und -abfällen, Änderungen von Ernährungsmustern oder im Holzverbrauch) können ebenfalls eine Rolle spielen.

FOLU (Forstwirtschaft und andere Landnutzung) – auch als LULUCF (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) bezeichnet – bezeichnet die Teilmenge der AFOLU-Emissionen und -Entnahmen von Treibhausgasen, welche direkt aus durch den Menschen induzierter *Landnutzung, Landnutzungsänderung* und forstwirtschaftlichen Aktivitäten resultieren, unter Ausschluss landwirtschaftlicher Emissionen. {WGIII}

### Lastenteilung (*Burden sharing/effort sharing*)

Im Kontext von *Minderung des Klimawandels* bezieht sich Lastenteilung auf eine Teilung der Anstrengungen zur Verringerung der Quellen bzw. Verstärkung der *Senken* von Treibhausgasen bezogen auf historische oder projizierte Niveaus – normalerweise zugeteilt aufgrund bestimmter Kriterien – sowie auf eine Verteilung der Kostenlast unter den Ländern. {WGIII}

### Leckage (*Leakage*)

Phänomen, bei dem die mit der Umsetzung von *Minderungsmaßnahmen* (verglichen mit einer *Basis/Referenz*) verbundene Emissionsminderung in einem Hoheitsbereich/Sektor bis zu einem gewissen Grad durch einen Anstieg außerhalb des Hoheitsbereiches/Sektors durch induzierte Änderungen von Verbrauch, Produktion, Preisen, *Landnutzung* und/oder Handel unter den Hoheitsbereichen/Sektoren kompensiert wird. Eine Leckage kann auf einer Vielzahl von Ebenen auftreten, sei es ein Projekt, ein Staat, eine Provinz, eine Nation oder eine Weltregion.

Im Kontext von *Kohlendioxidabscheidung und Speicherung (CCS)* bezieht sich eine *CO<sub>2</sub>-Leckage* auf das Entweichen von eingebrachtem Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus einem Speicher und dessen allmählicher Freisetzung in die Atmosphäre. Im Zusammenhang mit anderen Substanzen wird der Begriff eher allgemein verwendet, wie für eine *Methan-Leckage* (z. B. bei der Extraktion von fossilen Brennstoffen) und eine *Leckage teilhalogener Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW)* (z. B. aus Kühlungs- und Klimaanlage). {WGIII}

### Lock-In (*Lock-in*)

Ein Lock-In-Effekt (Anbindeeffekt) tritt auf, wenn ein Markt an einen Standard gebunden ist, obwohl seine Teilnehmer mit einer Alternative besser gestellt wären. In diesem Bericht wird Lock-In im weiteren Sinn als Pfadabhängigkeit benutzt, was die allgemeine Situation beschreibt, in der Entscheidungen, Ereignisse oder Ergebnisse zu einem Zeitpunkt *Anpassung, Minderung* oder sonstige Handlungen und Optionen zu einem späteren Zeitpunkt beschränken. {WGII, III}

### Low-Regret-Politikinstrument (*Low regrets policy*)

Politikinstrument, welches unter dem derzeitigen *Klima* und einer Bandbreite zukünftiger *Klimawandel*szenarien einen sozialen und/oder wirtschaftlichen Nettonutzen generieren würde. {WGII}

### Mariner Eisschild (*Marine-based ice sheet*)

Ein Eisschild, von dem ein wesentlicher Teil auf einem Untergrund unterhalb des Meeresspiegels aufliegt und dessen Außenrand in Kontakt mit dem Ozean ist. Das bekannteste Beispiel ist der Westantarktische Eisschild. {WGI}

### Meridionale Umwälzbewegung (*Meridional Overturning Circulation, MOC*)

Meridionale (nord-süd) Umwälzbewegung im Ozean, quantifiziert durch zonale (ost-west) Massentransportsummen in Tiefe- oder Dicht-

teschichten. Im Nordatlantik, außerhalb der subpolaren Regionen, wird die MOC (die im Prinzip eine messbare Größe ist) häufig mit der thermohalinen Zirkulation (THC) gleichgesetzt, was eine konzeptionelle und unvollständige Interpretation darstellt. Es ist zu berücksichtigen, dass die MOC auch von Wind angetrieben wird und auch seichtere Umwälzzellen enthalten kann, wie sie in oberen Ozeanschichten in den Tropen und Subtropen vorkommen, in welchen warmes (leichtes) polwärts fließendes Wasser in etwas dichteres Wasser umgewandelt wird und in tieferen Schichten äquatorwärts zurückfließt. {WGI, II}

### **Minderung (des Klimawandels)/Klimaschutz (*Mitigation (of climate change)*)**

Eingreifen des Menschen zur Verringerung der Quellen bzw. zur Förderung der *Senken* von Treibhausgasen. Dieser Bericht bewertet auch Eingreifen des Menschen zur Verringerung der Quellen sonstiger Substanzen, das direkt oder indirekt zu einer Begrenzung der *Klimaänderung* beitragen könnte, so zum Beispiel die Verringerung von Feststoffemissionen, die das Strahlungsgleichgewicht unmittelbar verändern können (z. B. Ruß) oder Maßnahmen zur Regelung der Emissionen von Kohlenmonoxid, Stickoxiden, flüchtigen organischen Verbindungen und sonstigen Schadstoffen, die die Konzentration des troposphärischen Ozons verändern können, welche indirekte Auswirkungen für das *Klima* hat. {WGI, II, III}

### **Minderungsszenario (*Mitigation scenario*)**

Eine plausible Beschreibung der Zukunft, die darstellt, wie das (unter-suchte) System auf die Umsetzung von *Minderungsstrategien* und -maßnahmen reagiert. Siehe auch *Basis/Referenz*, *Emissionsszenario*, *Repräsentative Konzentrationspfade (RCP)*, *SRES-Szenarien* und *Transformationspfad*. {WGIII}

### **Nachhaltige Entwicklung (*Sustainable development*)**

Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart deckt, ohne die Fähigkeit zukünftiger Generationen, deren eigene Bedürfnisse zu decken, einzuschränken (WCED, 1987). {WGII, III}

### **Nachhaltigkeit (*Sustainability*)**

Ein dynamischer Prozess, der das Fortbestehen natürlicher Systeme und solcher des Menschen in angemessener Weise garantiert. {WGII, III}

### **Nachweis und Zuordnung (*Detection and attribution*)**

Der Nachweis einer Änderung wird definiert als das Verfahren, mit dem aufgezeigt wird, dass sich das *Klima* oder ein durch das *Klima* beeinflusstes System in einem definierten statistischen Sinn geändert hat, ohne Angabe eines Grundes für diese Änderung. Eine identifizierte Änderung gilt als in Beobachtungen erkannt, wenn die *Wahrscheinlichkeit* ihres zufälligen Auftretens allein aufgrund *interner Variabilität* als gering ermittelt wird, zum Beispiel < 10 %. *Zuordnung* wird definiert als das Verfahren zur Bestimmung der relativen Beiträge mehrerer ursächlicher Faktoren einer Änderung oder eines Ereignisses unter Angabe eines statistischen *Vertrauensniveaus* (Hegerl et al., 2010). {WGI, II}

### **Nachweis von Folgen der Klimaänderung (*Detection of impacts of climate change*)**

Das Erkennen einer Änderung eines natürlichen, bewirtschafteten oder eines Systems des Menschen gegenüber einer bestimmten *Basis/Referenz*. Die *Basis/Referenz* kennzeichnet das Systemverhalten in Abwesenheit einer *Klimaänderung* und kann stationär oder nicht-stationär sein (z. B. aufgrund von *Landnutzungsänderung*). {WGII}

### **Negative Nebeneffekte (*Adverse side effects*)**

Die möglichen negativen Auswirkungen, die eine auf ein Ziel ausgerichtete Politik oder Maßnahme auf andere Ziele haben kann, unabhängig von der Nettowirkung auf die *gesamte soziale Wohlfahrt*. Negative Nebeneffekte unterliegen oft *Unsicherheiten* und hängen u. a. von örtlichen Gegebenheiten und Umsetzungspraktiken ab. Siehe auch *Positive Nebeneffekte* und *Risiko*. {WGIII}

### **Negative Nettoemissionen (*Net negative emissions*)**

Negative Nettoemissionen werden erreicht, wenn infolge von Aktivitäten des Menschen mehr Treibhausgase sequestriert oder gespeichert als in die Atmosphäre ausgestoßen werden. {SYR Box 2.2, Fußnote 29}

### **Ökosystem (*Ecosystem*)**

Ein Ökosystem ist eine funktionelle Einheit aus lebenden Organismen, deren nicht-lebender Umwelt und den Wechselwirkungen innerhalb von und zwischen ihnen. Die in einem bestehenden Ökosystem enthaltenen Komponenten und seine räumlichen Grenzen sind abhängig vom Zweck, für welchen das Ökosystem definiert wird: In einigen Fällen sind diese relativ klar, in anderen Fällen hingegen diffus. Die Grenzen von Ökosystemen können sich im Laufe der Zeit verändern. Ökosysteme sind in andere Ökosysteme eingebettet und ihre Größenordnung erstreckt sich von sehr klein bis zur gesamten Biosphäre. In der derzeitigen Ära enthalten die meisten Ökosysteme entweder Menschen als wesentliche Organismen oder werden durch die Auswirkungen von Aktivitäten des Menschen in ihrer Umwelt beeinflusst. {WGI, II, III}

### **Ökosystemdienstleistungen (*Ecosystem services*)**

Ökologische Prozesse oder Funktionen mit monetärem oder nicht-monetärem Wert für Einzelne oder die Gesellschaft als Ganzes. Diese werden häufig klassifiziert als (1) *Unterstützungsleistungen* wie die Aufrechterhaltung von Produktivität oder *biologischer Vielfalt*, (2) *Bereitstellungsleistungen* wie Nahrungsmittel, Fasern oder Fisch, (3) *Regulierungsleistungen* wie *Klima*regulierung oder Kohlenstoff-*Sequestrierung* und (4) *kulturelle Leistungen* wie Tourismus oder spirituelle und ästhetische Wertschätzung. {WGII, III}

### **Permafrost (*Permafrost*)**

Untergrund (Boden oder Fels, einschließlich darin enthaltenen Eises und organischen Materials), der über mindestens zwei aufeinanderfolgende Jahre bei oder unter 0 °C bleibt. {WGI, II}

### **pH-Wert (*pH*)**

Der pH-Wert ist ein dimensionsloses Maß des Säuregehalts von Wasser (oder jeder Lösung), gemessen an seiner Konzentration von Wasserstoffionen (H<sup>+</sup>). Der pH-Wert wird auf einer logarithmischen Skala gemessen mit  $\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$ . Daher entspricht ein pH-Wert-Rückgang um 1 Einheit einer 10-fachen Zunahme der Wasserstoffionen bzw. des Säuregehalts. {WGI}

### **Positive Nebeneffekte (*Co-benefits*)**

Die positiven Effekte, die eine auf ein Ziel gerichtete Politik oder Maßnahme auf andere Ziele haben kann, unabhängig von den Nettoauswirkungen auf die *gesamte soziale Wohlfahrt*. Positive Nebeneffekte unterliegen oft *Unsicherheiten* und hängen u. a. von örtlichen Gegebenheiten und Umsetzungspraktiken ab. Positive Nebeneffekte werden auch als *Zusatzeffekte* bezeichnet. {WGII, III}

### **Private Kosten (*Private costs*)**

Private Kosten werden von Einzelpersonen, Unternehmen oder sons-

tigen privaten Akteuren getragen, die eine Handlung durchführen, wohingegen *soziale Kosten* zusätzlich die externen Kosten für Umwelt und Gesellschaft als Ganzes mit einschließen. Quantitative Schätzungen sowohl privater als auch sozialer Kosten können aufgrund von Schwierigkeiten in der Erfassung aller relevanten Effekte unvollständig sein. {WGIII}

### Projektion (*Projection*)

Eine Projektion ist eine potenzielle zukünftige Entwicklung einer Größe bzw. einer Reihe von Größen, häufig berechnet mit Hilfe eines Modells. Im Gegensatz zu Prognosen sind Projektionen abhängig von Annahmen, zum Beispiel betreffend der zukünftigen sozioökonomischen und technologischen Entwicklungen, die eintreten können oder auch nicht. Siehe auch *Klimaprojektion*. {WGI, II}

### Repräsentative Konzentrationspfade (*Representative Concentration Pathways, RCP*)

Szenarien, die Zeitreihen von Emissionen und Konzentrationen sämtlicher Treibhausgase, Aerosole und chemisch aktiven Gase sowie *Landnutzung*/Landbedeckung mit einschließen (Moss et al., 2008). Das Wort repräsentativ verdeutlicht, dass jeder RCP lediglich eines von vielen möglichen Szenarien darstellt, die zu den spezifischen Eigenschaften des *Strahlungsantriebs* führen würden. Der Begriff *Pfad* stellt heraus, dass nicht nur die langfristigen Konzentrationsniveaus von Interesse sind, sondern auch der über die Zeit eingeschlagene Weg, um dieses Ergebnis zu erreichen (Moss et al., 2010).

RCP beziehen sich normalerweise auf den Teil des Konzentrationspfades, der sich bis 2100 erstreckt, für den Integrierte Bewertungsmodelle entsprechende *Emissionsszenarien* entwickelt haben. Erweiterte Konzentrationspfade (ECP) beschreiben Erweiterungen der RCP von 2100 bis 2500, die unter Verwendung einfacher Regeln berechnet wurden, die nach Rücksprache mit Interessengruppen generiert wurden und keine vollständig konsistenten Szenarien darstellen.

Vier RCP, die aus *Integrierten Bewertungsmodellen* entwickelt wurden, wurden aus der veröffentlichten Literatur ausgewählt und werden im vorliegenden Sachstandsbericht des IPCC als Grundlage für die *Klimaprognosen* und *-projektionen*, die in WGI AR5 Kapitel 11 bis 14 (IPCC, 2013b) vorgelegt werden, herangezogen:

#### RCP2.6

Ein Pfad, bei dem der *Strahlungsantrieb* den Höchststand von etwa 3 W/m<sup>2</sup> vor 2100 erreicht und danach abnimmt (der entsprechende ECP geht von konstanten Emissionen nach 2100 aus).

#### RCP4.5 und RCP6.0

Zwei intermediäre Stabilisierungspfade, in denen der *Strahlungsantrieb* auf etwa 4.5 W/m<sup>2</sup> und 6.0 W/m<sup>2</sup> nach 2100 stabilisiert wird. (wobei die entsprechenden ECP von konstanten Konzentrationen nach 2150 ausgehen).

#### RCP8.5

Ein hoher Pfad, bei dem der *Strahlungsantrieb* > 8.5 W/m<sup>2</sup> um 2100 erreicht und für eine gewisse Zeit weiter ansteigt (wobei die entsprechenden ECP von konstanten Emissionen nach 2100 und konstanten Konzentrationen nach 2250 ausgehen).

Für eine nähere Beschreibung der Zukunftsszenarien siehe WGI, AR5, Box 1.1. Siehe auch van Vuuren et al., 2011. {WGI, II, III}

### Resilienz (*Resilience*)

Die Fähigkeit von sozialen, Wirtschafts- oder Umweltsystemen, ein gefährliches Ereignis bzw. einen solchen Trend oder eine Störung zu bewältigen und dabei derart zu reagieren bzw. sich zu reorganisieren, dass ihre Grundfunktion, Identität und Struktur erhalten bleibt und sie sich gleichzeitig die Fähigkeit zur *Anpassung*, zum Lernen und zur *Transformation*<sup>5</sup> bewahren. {WGII, III}

### Risiko (*Risk*)

Das Potenzial für Auswirkungen, wobei etwas von Wert betroffen und der Ausgang ungewiss ist, unter Anerkennung der Vielfalt von Werten. Risiko wird häufig als *Wahrscheinlichkeit* des Auftretens gefährlicher Ereignisse oder Trends multipliziert mit den *Folgen* bei Eintreten dieser Ereignisse oder Trends dargestellt. In diesem Bericht wird der Begriff *Risiko* häufig verwendet, um das Potenzial für negative Auswirkungen auf Leben, Existenzgrundlagen, Gesundheit, *Ökosysteme* und Arten, wirtschaftliche, soziale und kulturelle Vermögenswerte, Dienstleistungen (einschließlich Umweltdienstleistungen) und Infrastruktur zu beschreiben, wenn der Ausgang unsicher ist. {WGII, III}

### Risikomanagement (*Risk management*)

Die Pläne, Maßnahmen oder Strategien, um die *Wahrscheinlichkeit* und/oder Auswirkungen von *Risiken* zu verringern bzw. auf Auswirkungen zu reagieren. {WGII}

### Rückkopplung (*Feedback*)

Siehe *Klimarückkopplung*. {WGI, II}

### Sauerstoff-Minimum-Zone (*Oxygen Minimum Zone, OMZ*)

Die Mittelwasserschicht (200–1000 m) im offenen Ozean, in der die Sauerstoffsättigung die niedrigste im Ozean ist. Der Grad der Sauerstoffzehrung hängt von der weitgehend bakteriellen Aufnahme des organischen Materials ab, und die Verteilung der Sauerstoff-Minimum-Zonen wird durch großflächige Ozeanzirkulation beeinflusst. In Randmeeren erstrecken sich die Sauerstoff-Minimum-Zonen bis zum Festlandssockel und können auch benthische *Ökosysteme* beeinflussen. {WGII}

### Senke (*Sink*)

Jegliche Prozesse, Aktivitäten oder Mechanismen, die ein Treibhausgas, ein Aerosol oder einen Vorläufer eines Treibhausgases oder Aerosols aus der Atmosphäre entfernen. {WGI, II, III}

### Sequestrierung (*Sequestration*)

Die Aufnahme (d. h. das Hinzufügen einer bestimmten Substanz zu einem Reservoir) von kohlenstoffhaltigen Substanzen, insbesondere Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in terrestrische oder marine Reservoirs. Biologische Sequestrierung schließt die direkte Entnahme von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre durch *Landnutzungsänderung (LUC)*, *Aufforstung*, *Wiederaufforstung*, Rekultivierung, Kohlenstoffspeicherung in Deponien und Verfahren zur Anreicherung von Bodenkohlenstoff in der Landwirtschaft (bei Bewirtschaftung von Acker- und Weideland) ein. In der Literatur – jedoch nicht in diesem Bericht – bezieht sich der Begriff (Kohlenstoff-) Sequestrierung teilweise auf *Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS)*. {WGIII}

<sup>5</sup> Diese Definition basiert auf der vom Arktischen Rat verwendeten Definition (Arctic Council, 2013).

**Solar Radiation Management (SRM)**

Solar Radiation Management bezieht sich auf die absichtliche Modifizierung des Kurzwellen-Strahlungshaushalts der Erde mit dem Ziel einer Verringerung der *Klimaänderung* entsprechend einer vorgegebenen Größe (z. B. Oberflächentemperatur, Niederschlag, regionale *Folgen* usw.). Das künstliche Ausbringen stratosphärischer Aerosole und Wolkenaufhellung sind zwei Beispiele für SRM-Verfahren. Methoden zur Modifizierung gewisser schnell reagierender Elemente des Langwellen-Strahlungshaushalts (wie Zirruswolken) können mit SRM verbunden sein, obwohl man hier strenggenommen nicht von SRM spricht. SRM-Verfahren fallen nicht unter die üblichen Definitionen von *Minderung* und *Anpassung* (IPCC, 2012b, S. 2). Siehe auch *Entnahme von Kohlendioxid (CDR)* und *Geoengineering*. {WGI, III}

**Soziale Kohlenstoffkosten (Social cost of carbon)**

Der Nettobarwert der Klimaschäden (wobei nachteilige Schäden als positive Zahl ausgedrückt werden) von einer weiteren Tonne Kohlenstoff in der Form von Kohlendioxid, bedingt durch ein globales Emissionsprofil im Zeitablauf. {WGII, III}

**Soziale Kosten (Social costs)**

Siehe *Private Kosten*. {WGIII}

**SRES-Szenarien (SRES scenarios)**

SRES-Szenarien sind *Emissionsszenarien*, die vom IPCC (2000a) entwickelt wurden und die, neben anderen, als Grundlage für einige der *Klimaprojektionen* aus Kapitel 9 bis 11 des IPCC WGI TAR (IPCC, 2001a), Kapitel 10 und 11 des IPCC WGI AR4 (IPCC, 2007), sowie im IPCC WGI AR5 (IPCC, 2013b) verwendet wurden. {WGI, II, III}

**Strahlungsantrieb (Radiative forcing, RF)**

Die Stärke von Treibern wird wie in früheren IPCC-Berichten als Strahlungsantrieb (RF) in der Einheit Watt pro Quadratmeter (W/m<sup>2</sup>) quantifiziert. RF ist die von einem Treiber verursachte Veränderung im Energiefluss und wird an der Tropopause oder am oberen Ende der Atmosphäre gemessen. {WGI}

**Strukturwandel (Structural change)**

Änderungen z. B. des relativen Anteils des industriellen, landwirtschaftlichen oder Dienstleistungssektors einer Wirtschaft am Bruttoinlandsprodukt oder – allgemeiner – System*transformationen*, durch die einige Bestandteile entweder ausgetauscht oder unter Umständen durch andere ersetzt werden. {WGIII}

**Sturmflut (Storm surge)**

Der vorübergehende Anstieg des Meeresspiegels an einer bestimmten Stelle aufgrund extremer meteorologischer Bedingungen (niedriger Luftdruck und/oder starker Wind). Die Sturmflut ist definiert als der Betrag, um den der Meeresspiegel den zu dem Zeitpunkt und an dem Ort erwarteten Tidenhub überschreitet. {WGI, II}

**Thermische Ausdehnung (Thermal expansion)**

Im Zusammenhang mit dem Meeresspiegel bezeichnet dies eine Volumenzunahme (und Dichteabnahme) aufgrund der Erwärmung des Wassers. Eine Erwärmung des Ozeans führt zu einer Ausdehnung des Meeresspiegels und damit zu einem Anstieg des Meeresspiegels. {WGI, II}

**Transformation (Transformation)**

Eine Veränderung der fundamentalen Eigenschaften natürlicher Systeme und solcher des Menschen. {WGII}

**Transformationspfad (Transformation pathway)**

Der zeitliche Verlauf eines zur Erreichung unterschiedlicher Ziele für Treibhausgasemissionen, atmosphärische Konzentrationen oder Änderungen in der mittleren globalen Oberflächentemperatur eingeschlagenen Kurses, der eine Reihe von wirtschaftlichen, technologischen und verhaltensbezogenen Änderungen impliziert. Dies kann Änderungen dahingehend umfassen, wie Energie und Infrastruktur genutzt und produziert werden, wie mit natürlichen Ressourcen umgegangen wird und wie Institutionen eingerichtet werden, sowie in der Geschwindigkeit und der Ausrichtung von technologischem Wandel. Siehe auch *Basis/Referenz*, *Emissions-Szenario*, *Minderungsszenario*, *Repräsentative Konzentrationspfade (RCP)* und *SRES-Szenarien*. {WGIII}

**Überschreitungspfade/Overshoot-Pfade (Overshoot pathways)**

Emissions-, Konzentrations- oder Temperaturpfade, in denen die jeweilige Messgröße das langfristige Ziel vorübergehend übersteigt („*überschreitet*“). {WGIII}

**Überschwemmung (Flood)**

Das Übertreten der üblichen Begrenzungen eines Flusses oder sonstigen Gewässers bzw. die Ansammlung von Wasser in Gegenden, die normalerweise nicht unter Wasser stehen. Zu Überschwemmungen zählen Flusshochwasser (fluviale Überschwemmungen), Sturzfluten, Stadthochwasser, pluviale (starkregenbedingte) Überschwemmungen, das Überlaufen der Kanalisation, Küstenüberflutungen und solche durch Gletscherwasserausbrüche. {WGII}

**Unsicherheit (Uncertainty)**

Ein Zustand unvollständigen Wissens, der aufgrund eines Mangels an Information besteht oder aufgrund von Unstimmigkeiten darüber, was bekannt ist oder überhaupt bekannt sein kann. Unsicherheit kann viele Quellen haben, von Ungenauigkeiten in den Daten bis zu nicht eindeutig definierten Konzepten oder Terminologien oder unsicheren Projektionen des Verhaltens von Menschen. Unsicherheit kann daher quantitativ angegeben werden (z. B. über eine Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion) oder durch qualitative Aussagen (die z. B. die Einschätzung eines Expertenteams wiedergeben) (siehe Moss und Schneider, 2000; Manning et al., 2004; Mastrandrea et al., 2010). Siehe auch *Vertrauen* und *Wahrscheinlichkeit*. {WGI, II, III}

**Verringerung von Emissionen aus Entwaldung und Waldschädigung (Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation, REDD)**

Das Bestreben, einen finanziellen Wert für den in Wäldern gespeicherten Kohlenstoff zu schaffen, indem für Entwicklungsländer Anreize geschaffen werden, Emissionen aus bewaldeten Flächen zu verringern und in kohlenstoffarme Pfade zu *nachhaltiger Entwicklung* zu investieren. Es handelt sich daher um einen Mechanismus zur *Minderung*, der aus der Vermeidung von *Entwaldung* resultiert. REDD+ geht über *Wiederaufforstung* und Schädigung von Wäldern hinaus und schließt die Aufgaben von Naturschutz, nachhaltiger Bewirtschaftung von Wäldern und die Verbesserung der Kohlenstoffspeicher von Wäldern ein. Das Konzept wurde erstmalig 2005 bei der 11. Vertragsstaatenkonferenz (COP) in Montreal vorgestellt und erfuhr eine breitere Anerkennung bei der 13. Vertragsstaatenkonferenz 2007 auf Bali sowie eine Einbindung in den „Bali Action Plan“, der „Strategieansätze und positive Anreize für mit der Verringerung von Emissionen aus *Entwaldung* und Schädigung von Wäldern in Entwicklungsländern (REDD) verbundene Probleme und die Bedeutung von Naturschutz, nachhaltiger Bewirtschaftung von Wäldern und die Verbesserung des Kohlenstoffspeichers *Wald* in

Entwicklungsländern“ vorsieht. Seither ist die Unterstützung für REDD gewachsen, und es ist allmählich zu einem Handlungsrahmen geworden, der von vielen Ländern unterstützt wird. {WGI, III}

### **Versauerung der Ozeane/Ozeanversauerung (*Ocean acidification*)**

Versauerung der Ozeane bezieht sich auf einen Rückgang des *pH-Wertes* des Ozeans über einen längeren Zeitraum, typischerweise Jahrzehnte oder länger, der primär durch die Aufnahme von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) aus der Atmosphäre verursacht wird, jedoch auch Folge der Aufnahme oder des Entzugs anderer Chemikalien aus dem Ozean sein kann. *Anthropogene Versauerung der Ozeane* bezieht sich auf die Komponente des Rückgangs des *pH-Wertes*, der durch Aktivität des Menschen verursacht wird (IPCC, 2011, S. 37). {WGI, II}

### **Vertrauen (*Confidence*)**

Die Gültigkeit einer Aussage, beruhend auf Art, Menge, Qualität und Stimmigkeit der Belege (z. B. mechanistisches Verständnis, Theorie, Daten, Modelle, Expertenmeinung) sowie dem Grad der Übereinstimmung. In diesem Bericht wird das Vertrauen qualitativ ausgedrückt (Mastrandrea et al., 2010). Siehe WGI AR5 Abb. 1.11 für die Vertrauensniveaus; siehe WGI AR5 Tabelle 1.2 für eine Liste der *Wahrscheinlichkeitsstufen*; siehe WGII AR5 Box 1-1. Siehe auch *Unsicherheit*. {WGI, II, III}

### **Verwundbarkeit/Vulnerabilität (*Vulnerability*)**

Die Neigung oder Prädisposition, nachteilig betroffen zu sein. Verwundbarkeit umfasst eine Vielzahl von Konzepten und Elementen, unter anderem Empfindlichkeit oder Anfälligkeit gegenüber Schädigung und die mangelnde Fähigkeit zur Bewältigung und Anpassung. {WGII}

### **Vorindustriell (*Pre-industrial*)**

Siehe *Industrielle Revolution*. {WGI, II, III}

### **Vorübergehende Reaktion des Klimas auf kumulative CO<sub>2</sub>-Emissionen (*Transient Climate Response to Cumulative CO<sub>2</sub> Emissions*, TCRE)**

Die vorübergehende Veränderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur pro Einheit kumulierter CO<sub>2</sub>-Emissionen, normalerweise 1000 PgC. TCRE kombiniert sowohl Informationen über den in der Luft befindlichen Anteil der kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen (den Anteil am insgesamt ausgestoßenen CO<sub>2</sub>, der in der Atmosphäre verbleibt) als auch über die vorübergehende Reaktion des Klimas (TCR). {WGI}

### **Wahrscheinlichkeit (*Likelihood*)**

Die Möglichkeit des Eintritts eines bestimmten Ergebnisses, soweit dies wahrscheinlichkeitstheoretisch abgeschätzt werden kann. Wahrscheinlichkeit wird in diesem Bericht durch eine Standard-Terminologie ausgedrückt (Mastrandrea et al., 2010), definiert in WGI AR5 Tabelle 1.2 und WGII AR5 Box 1-1. Siehe auch *Vertrauen* und *Unsicherheit*. {WGI, II, III}

### **Wald (*Forest*)**

Ein durch Bäume beherrschter Vegetationstyp. Weltweit werden viele Definitionen des Begriffes *Wald* verwendet, welche die großen Unterschiede in den biogeophysikalischen Bedingungen, der sozialen Struktur und Wirtschaft widerspiegeln. Für eine Diskussion des Begriffes *Wald* und verwandter Begriffe *Aufforstung*, *Wiederauf-*

*forstung* und *Entwaldung* siehe den IPCC-Sonderbericht zur Landnutzung, Landnutzungsänderung und Waldwirtschaft (IPCC, 2000b). Siehe auch die vom Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen bereitgestellten Informationen (UNFCCC, 2013) sowie den Bericht „Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types“ (IPCC, 2003). {WGI, III}

### **Wasserkreislauf (*Hydrological cycle*)**

Der Kreislauf, in dem Wasser aus Ozeanen und von der Landoberfläche verdunstet; in atmosphärischer Zirkulation als Wasserdampf über die Erde transportiert wird, zu Wolken kondensiert, wieder als Regen oder Schnee über Ozean und Land niederschlägt, durch Bäume und Vegetation aufgenommen wird, auf der Oberfläche abfließt, in Böden versickert, Grundwasser erneuert, in Flüsse abfließt und schließlich in die Ozeane fließt, von wo aus es am Ende wieder verdunstet. Die verschiedenen, am Wasserkreislauf beteiligten Systeme werden üblicherweise als hydrologische Systeme bezeichnet. {WGI, II}

### **Wiederaufforstung (*Reforestation*)**

Pflanzung von Wäldern auf Land, das früher bewaldet war, aber in eine andere Nutzungsform umgewandelt wurde. Für eine Diskussion des Begriffes *Wald* und verwandter Begriffe wie *Aufforstung*, *Wiederaufforstung* und *Entwaldung* siehe den IPCC-Sonderbericht zur Landnutzung, Landnutzungsänderung und Waldwirtschaft (IPCC, 2000b). Siehe auch Informationen im Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC, 2013). Siehe auch den Bericht „Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types“ (IPCC, 2003). {WGI, II, III}

### **Zugang zu Energie (*Energy access*)**

Zugang zu sauberen, zuverlässigen und bezahlbaren Energiedienstleistungen für Nahrungsmittelzubereitung, Heizung, Beleuchtung, Kommunikation und produktive Zwecke (AGECC, 2010). {WGIII}

### **Zuordnung (*Attribution*)**

Siehe *Nachweis und Zuordnung*. {WGI, II}

### **Zusatzeffekte (*Ancillary benefits*)**

Siehe *Positive Nebeneffekte*. {WGII, III}

## Quellenangaben

- AGECC, 2010: *Energy for a Sustainable Future*. United Nations Secretary General's Advisory Group on Energy and Climate (AGECC), New York, NY, USA, 24 Seiten.
- Arctic Council, 2013: Glossary of terms. In: *Arctic Resilience Interim Report 2013*. Stockholm Environment Institute und Stockholm Resilience Centre, Stockholm, Schweden, S.viii.
- Hegerl, G. C., O. Hoegh-Guldberg, G. Casassa, M. P. Hoerling, R. S. Kovats, C. Parmesan, D. W. Pierce und P. A. Stott, 2010: Good practice guidance paper on detection und attribution related to anthropogenic climate change. In: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Detection und Attribution of Anthropogenic Climate Change* [Stocker T. F., C. B. Field, D. Qin, V. Barros, G.-K. Plattner, M. Tignor, P. M. Midgley und K. L. Ebi (Hrsg.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, Universität Bern, Bern, Schweiz, 8 Seiten.
- Heywood, V. H. (Hrsg.), 1995: *The Global Biodiversity Assessment*. United Nations Environment Programme, Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien, 1152 Seiten.
- IPCC, 1992: *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment* [Houghton, J. T., B. A. Callander und S. K. Varney (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 116 Seiten.
- IPCC, 1996: *Climate Change 1995: The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., L. G. Meira, A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg und K. Maskell (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 572 Seiten.
- IPCC, 2000a: *Emissions Scenarios. Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Nakićenović, N. und R. Swart (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 599 Seiten.
- IPCC, 2000b: *Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Watson, R. T., I. R. Noble, B. Bolin, N. H. Ravindranath, D. J. Verardo und D. J. Dokken (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 377 Seiten.
- IPCC, 2001a: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Houghton, J. T., Y. Ding, D. J. Griggs, M. Noquer, P. J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell und C. A. Johnson (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 881 Seiten.
- IPCC, 2001b: *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [McCarthy, J., O. Canziani, N. Leary, D. Dokken und K. White (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 1032 Seiten.
- IPCC, 2003: *Definitions and Methodological Options to Inventory Emissions from Direct Human-Induced Degradation of Forests and Devegetation of Other Vegetation Types* [Penman, J., M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe und F. Wagner (Hrsg.)]. The Institute for Global Environmental Strategies (IGES), Japan, 32 Seiten.
- IPCC, 2007: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor und H. L. Miller (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 996 Seiten.
- IPCC, 2011: *Workshop Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Workshop on Impacts of Ocean Acidification on Marine Biology and Ecosystems* [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, K. J. Mach, G.-K. Plattner, M. D. Mastrandrea, M. Tignor und K. L. Ebi (Hrsg.)]. IPCC Working Group II Technical Support Unit, Carnegie Institution, Stanford, CA, USA, 164 Seiten.
- IPCC, 2012a: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. [Field, C. B., V. Barros, T. F. Stocker, D. Qin, D. J. Dokken, K. L. Ebi, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. K. Allen, M. Tignor und P. M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 582 Seiten.
- IPCC, 2012b: *Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Geoengineering* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, C. Field, V. Barros, T. F. Stocker, Q. Dahe, J. Minx, K. J. Mach, G.-K. Plattner, S. Schlömer, G. Hansen und M. Mastrandrea (Hrsg.)]. IPCC Working Group III Technical Support Unit, Potsdam Institut für Klimafolgenforschung, Potsdam, Deutschland, 99 Seiten.
- IPCC, 2013a: Annex III: Glossary [Planton, S. (Hrsg.)]. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P. M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, S. 1447–1466, doi:10.1017/CBO9781107415324.031.
- IPCC, 2013b: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex und P. M. Midgley (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, 1535 Seiten, doi:10.1017/CBO9781107415324.
- IPCC, 2014a: Annex II: Glossary [Agard, J., E. L. F. Schipper, J. Birkmann, M. Campos, C. Dubeux, Y. Nojiri, L. Olsson, B. Osman-Elasha, M. Pelling, M. J. Prather, M. G. Rivera-Ferre, O. C. Ruppel, A. Sallenger, K. R. Smith, A. L. St. Clair, K. J. Mach, M. D. Mastrandrea und T. E. Bilir (Hrsg.)]. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Barros, V. R., C. B. Field, D. J. Dokken, M. D. Mastrandrea, K. J. Mach, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K. L. Ebi, Y. O. Estrada, R. C. Genova, B. Girma, E. S. Kissel, A. N. Levy, S. MacCracken, P. R. Mastrandrea und L. L. White (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, S. 1757–1776.

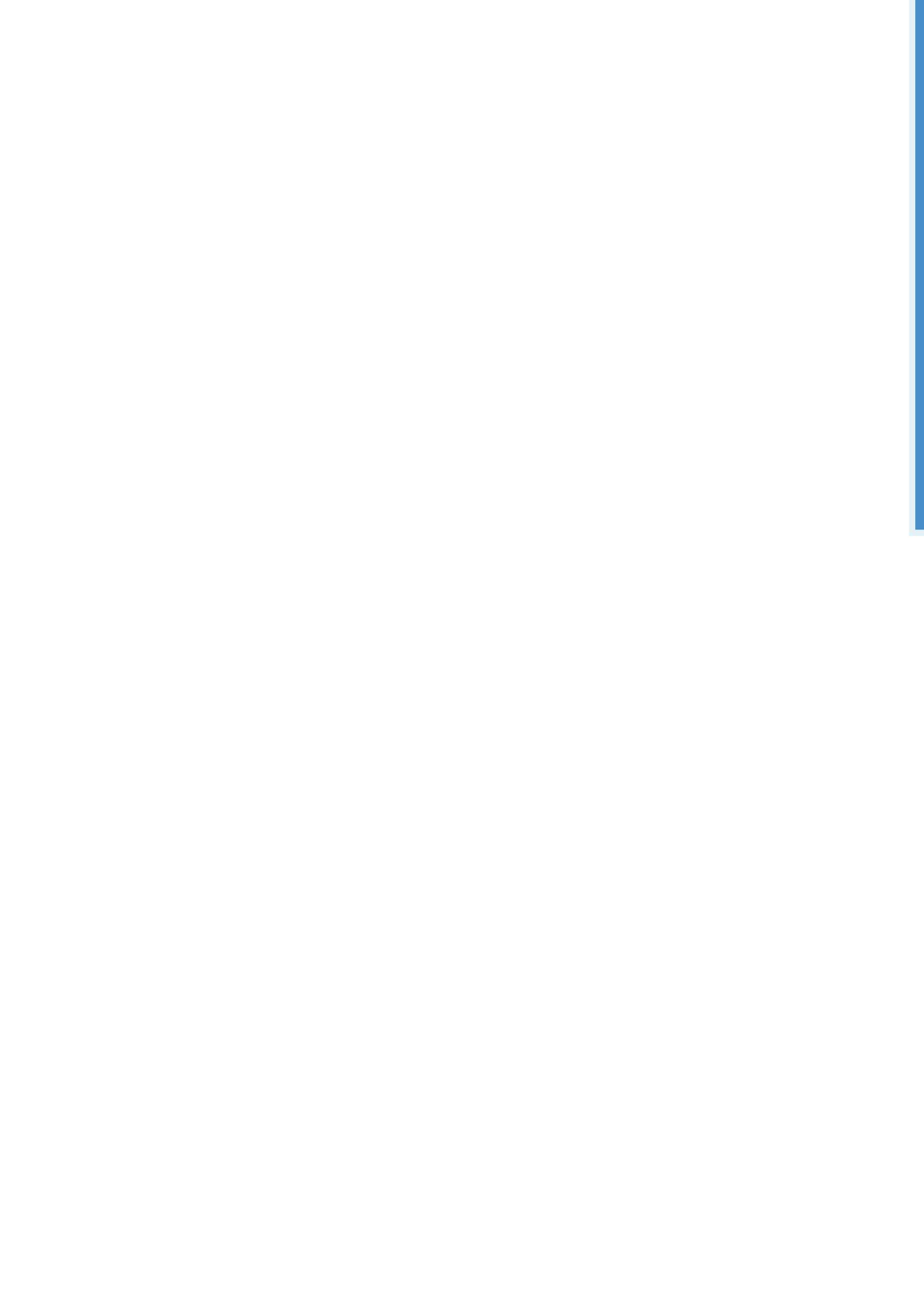
- IPCC, 2014b: Annex I: Glossary, Acronyms and Chemical Symbols [Allwood, J. M., V. Bosetti, N. K. Dubash, L. Gómez-Echeverri and C. von Stechow (Hrsg.)]. In: *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eickemeier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J. C. Minx (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA, S. 1251-1274.
- Manning, M. R., M. Petit, D. Easterling, J. Murphy, A. Patwardhan, H.-H. Rogner, R. Swart und G. Yohe (Hrsg.), 2004: *IPCC Workshop on Describing Scientific Uncertainties in Climate Change to Support Analysis of Risk of Options*. Workshop-Report. Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf, Schweiz, 138 Seiten.
- Mastrandrea, M. D., C. B. Field, T. F. Stocker, O. Edenhofer, K. L. Ebi, D. J. Frame, H. Held, E. Kriegler, K. J. Mach, P. R. Matschoss, G.-K. Plattner, G. W. Yohe und F. W. Zwiers, 2010: *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Genf, Schweiz, 4 Seiten.
- MEA, 2005: Annex D: Glossary. In: *Ecosystems and Human Well-being: Current States and Trends. Findings of the Condition and Trends Working Group, Vol.1* [Hassan, R., R. Scholes, and N. Ash (Hrsg.)]. Millennium Ecosystem Assessment (MEA), Island Press, Washington, DC, USA, S. 893-900.
- Moss, R. und S. Schneider, 2000: Uncertainties in the IPCC TAR: Recommendations to Lead Authors for More Consistent Assessment and Reporting. In: *IPCC Supporting Material: Guidance Papers on Cross Cutting Issues in the Third Assessment Report of the IPCC* [Pachauri, R., T. Taniguchi and K. Tanaka (Hrsg.)]. Intergovernmental Panel on Climate Change, Genf, Schweiz, S. 33–51.
- Moss, R., M. Babiker, S. Brinkman, E. Calvo, T. Carter, J. Edmonds, I. Elgizouli, S. Emori, L. Erda, K. Hibbard, R. Jones, M. Kainuma, J. Kelleher, J. F. Lamarque, M. Manning, B. Matthews, J. Meehl, L. Meyer, J. Mitchell, N. Nakicenovic, B. O'Neill, R. Pichs, K. Riahi, S. Rose, P. Runci, R. Stouffer, D. van Vuuren, J. Weyant, T. Wilbanks, J. P. van Ypersele und M. Zurek, 2008: *Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies*. IPCC Expert Meeting Report, 19-21 September, 2007, Noordwijkerhout, Niederlande, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Genf, Schweiz, 132 Seiten.
- Moss, R., J. A., Edmonds, K. A. Hibbard, M. R. Manning, S. K. Rose, D. P. van Vuuren, T. R. Carter, S. Emori, M. Kainuma, T. Kram, G. A. Meehl, J. F. B. Mitchell, N. Nakicenovic, K. Riahi, S. J. Smith, R. J. Stouffer, A. M. Thomson, J. P. Weyant und T. J. Wilbanks, 2010: *The next generation of scenarios for climate change research and assessment*. In: *Nature*, **463**, 747–756.
- UNFCCC, 2013: *Reporting and accounting of LULUCF activities under the Kyoto Protocol*. United Nations Framework Convention on Climatic Change (UNFCCC), Bonn, Germany. Verfügbar unter: <http://unfccc.int/methods/lulucf/items/4129.php>
- UNISDR, 2009: *2009 UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*. United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR), United Nations, Genf, Schweiz, 30 Seiten.
- van Vuuren, D. P., J. Edmonds, M. Kainuma, K. Riahi, A. Thomson, K. Hibbard, G. C. Hurtt, T. Kram, V. Krey, J. F. Lamarque, T. Masui, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, S.J. Smith und S.K. Rose, 2011: *The Representative Concentration Pathways: an overview*. In: *Climatic Change*, **109**, S. 5–31.
- WCED, 1987: *Our Common Future*. World Commission on Environment and Development (WCED), Oxford University Press, Oxford, Großbritannien, 300 Seiten.



# **Akronyme, chemische Symbole und wissen- schaftliche Einheiten**

<b>µatm</b>	Mikroatmosphäre	<b>EMIC</b>	Erdsystemmodell mittlerer Komplexität ( <i>Earth System Model of Intermediate Complexity</i> )
<b>AFOLU</b>	Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung ( <i>Agriculture, Forestry and Other Land Use</i> )	<b>ENSO</b>	<i>El Niño-Southern Oscillation</i>
<b>AMOC</b>	Atlantische Meridionale Umwälzbewegung ( <i>Atlantic Meridional Overturning Circulation</i> )	<b>ES</b>	Kurzfassung ( <i>Executive Summary</i> )
<b>AR4</b>	Vierter Sachstandsbericht des IPCC ( <i>Fourth Assessment Report</i> )	<b>ESM</b>	Erdsystemmodell ( <i>Earth System Model</i> )
<b>AR5</b>	Fünfter Sachstandsbericht des IPCC ( <i>Fifth Assessment Report</i> )	<b>F &amp; E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>BAU</b>	<i>Business As Usual</i>	<b>FAQ</b>	häufig gestellte Fragen ( <i>Frequently Asked Questions</i> )
<b>BECCS</b>	Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung ( <i>Bioenergy with Carbon Dioxide Capture and Storage</i> )	<b>F-Gase</b>	fluorierte Gase
<b>BIP</b>	Bruttoinlandsprodukt	<b>FOLU</b>	Forstwirtschaft und andere Landnutzung ( <i>Forestry and Other Land Use</i> )
<b>BVT</b>	Beste verfügbare Techniken	<b>GCM</b>	Allgemeines Zirkulationsmodell, Globales Klimamodell ( <i>General Circulation Model, Global Climate Model</i> )
<b>CCS</b>	Kohlendioxidabscheidung und -speicherung ( <i>Carbon Dioxide Capture and Storage</i> )	<b>GMI</b>	<i>Global Methane Initiative</i>
<b>CDM</b>	Mechanismus für umweltverträgliche Entwicklung ( <i>Clean Development Mechanism</i> )	<b>Gt</b>	Gigatonne
<b>CDR</b>	Entnahme von Kohlendioxid ( <i>Carbon Dioxide Removal</i> )	<b>GTP</b>	Globales Temperaturänderungspotenzial ( <i>Global Temperature Change Potential</i> )
<b>CF<sub>4</sub></b>	Tetrafluormethan	<b>GWP</b>	Globales Erwärmungspotenzial ( <i>Global Warming Potential</i> )
<b>CH<sub>4</sub></b>	Methan	<b>H<sub>2</sub></b>	Wasserstoff
<b>CMIP5</b>	Gekoppeltes Modellvergleichsprojekt Phase 5 ( <i>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</i> )	<b>HadCRUT4</b>	Datensatz des britischen Hadley Centres zur Oberflächentemperatur, Version 4 ( <i>Hadley Centre Climatic Research Unit Gridded Surface Temperature Data Set 4</i> )
<b>CO<sub>2</sub></b>	Kohlendioxid	<b>H-FKW</b>	Teilhalogenierter Fluorkohlenwasserstoff
<b>CO<sub>2</sub>Äq</b>	Kohlendioxidäquivalent	<b>H-FKW-152a</b>	Teilhalogenierter Fluorkohlenwasserstoff-152a, Difluorethan
<b>CSP</b>	Solarthermische Kraftwerke ( <i>Concentrating Solar Power</i> )	<b>IAM</b>	Integriertes Bewertungsmodell ( <i>Integrated Assessment Model</i> )
<b>ECS</b>	Gleichgewichtsklimasensitivität ( <i>Equilibrium Climate Sensitivity</i> )	<b>ICAO</b>	Internationale Zivilluftfahrtorganisation ( <i>International Civil Aviation Organization</i> )
<b>EDGAR</b>	Emissionsdatenbank für die globale Atmosphären- forschung ( <i>Emissions Database for Global Atmospheric Research</i> )	<b>IMO</b>	Internationale Seeschifffahrts-Organisation ( <i>International Maritime Organization</i> )
<b>EE</b>	Erneuerbare Energien	<b>KWK</b>	Kraft-Wärme-Kopplung ( <i>Combined Heat and Power</i> )
<b>EJ</b>	Exajoule	<b>LULUCF</b>	Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft ( <i>Land Use, Land-Use Change and Forestry</i> )

<b>MAGICC</b>	Ein einfaches Modell zur Abschätzung des durch Treibhausgase verursachten Klimawandels ( <i>Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change</i> )	<b>SAR</b>	Zweiter Sachstandsbericht des IPCC ( <i>Second Assessment Report</i> )
<b>MEF</b>	Forum der führenden Wirtschaftsmächte ( <i>Major Economies Forum</i> )	<b>SM</b>	Zusatzmaterial ( <i>Supplementary Material</i> )
<b>MRV</b>	Messung, Berichterstattung und Verifizierung ( <i>Measurement, Reporting and Verification</i> )	<b>SO<sub>2</sub></b>	Schwefeldioxid
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Lachgas	<b>SPM</b>	Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger ( <i>Summary for Policymakers</i> )
<b>NAMA</b>	National angemessene Minderungsmaßnahmen ( <i>Nationally Appropriate Mitigation Action</i> )	<b>SRES</b>	IPCC-Sonderbericht über Emissionsszenarien ( <i>Special Report on Emission Scenarios</i> )
<b>NAP</b>	Nationaler Anpassungsplan ( <i>National Adaption Plan</i> )	<b>SREX</b>	IPCC-Sonderbericht über das „Management des Risikos von Extremereignissen und Katastrophen zur Förderung der Anpassung an den Klimawandel“ ( <i>Special Report on Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation</i> )
<b>NAPA</b>	Nationale Aktionsprogramme zur Anpassung ( <i>National Adaption Programmes of Action</i> )	<b>SRM</b>	<i>Solar Radiation Management</i>
<b>NGO</b>	Nichtregierungsorganisation ( <i>Non-Governmental Organization</i> )	<b>SRREN</b>	IPCC-Sonderbericht über „Erneuerbare Energiequellen und die Minderung des Klimawandels“ ( <i>Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation</i> )
<b>O<sub>2</sub></b>	Sauerstoff	<b>SYR</b>	Synthesebericht ( <i>Synthesis Report</i> )
<b>OECD</b>	Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung ( <i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i> )	<b>TCR</b>	Vorübergehende Reaktion des Klimas ( <i>Transient Climate Response</i> )
<b>PFC</b>	Perfluorcarbon (perfluorierter Kohlenwasserstoff)	<b>TCRE</b>	Vorübergehende Reaktion des Klimas auf kumulative CO <sub>2</sub> -Emissionen ( <i>Transient Climate Response to Cumulative CO<sub>2</sub> Emissions</i> )
<b>ppb</b>	Milliardstel ( <i>parts per billion</i> )	<b>TFE</b>	Thematisches Fokuselement ( <i>Thematic Focus Element</i> )
<b>ppm</b>	Millionstel ( <i>parts per million</i> )	<b>THG</b>	Treibhausgas
<b>PV</b>	Photovoltaik	<b>TS</b>	Technische Zusammenfassung ( <i>Technical Summary</i> )
<b>RCP</b>	Repräsentativer Konzentrationspfad ( <i>Representative Concentration Pathway</i> )	<b>UHI</b>	Städtische Wärmeinsel ( <i>Urban Heat Island</i> )
<b>REDD</b>	Verringerung von Emissionen aus Entwaldung und Waldschädigung ( <i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i> ), ein in der Klimarahmenkonvention diskutiertes Konzept	<b>UNFCCC</b>	Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen ( <i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i> )
<b>REEEP</b>	Partnerschaft für Erneuerbare Energie und Energieeffizienz ( <i>Renewable Energy and Energy Efficiency Partnership</i> )	<b>W</b>	Watt
<b>RES</b>	Regeneratives Energiesystem	<b>WG</b>	Arbeitsgruppe des IPCC ( <i>Working Group</i> )
<b>RFC</b>	Grund zur Besorgnis ( <i>Reason for Concern</i> )	<b>WMGHG</b>	Gut durchmisches Treibhausgas ( <i>Well-Mixed Greenhouse Gas</i> )
<b>RPS</b>	gesetzliche Verpflichtung zu verstärkter Nutzung erneuerbarer Energien ( <i>Renewable Portfolio Standard</i> )		



# ANHANG IV

## Hinweis auf Autoren, Begutachtungs- editoren und Fachgutachter

Alle Autoren, Begutachtungseeditoren und Fachgutachter dieses Berichts sind unter [http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_Annexes.pdf](http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_Annexes.pdf) genannt.

**D**er Zwischenstaatliche Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) ist das führende internationale Gremium für die Bewertung des Klimawandels. Er wurde vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (United Nations Environment Programme, UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (World Meteorological Organization, WMO) gegründet, um eine zuverlässige internationale Bewertung der wissenschaftlichen Aspekte des Klimawandels zur Verfügung zu stellen, die auf den jüngsten naturwissenschaftlichen, technischen und sozioökonomischen Informationen beruht, die weltweit veröffentlicht wurden. Die regelmäßig veröffentlichten Sachstandsberichte des IPCC über die Ursachen und Folgen des Klimawandels und die möglichen Reaktionsstrategien darauf stellen die umfassendsten und aktuellsten verfügbaren Berichte zu diesem Thema dar. Sie sind zudem die Standardnachschlagewerke für alle, die in der akademischen Welt, in Regierungen und Industrie weltweit mit dem Klimawandel zu tun haben. Dieser Synthesebericht stellt den vierten Bestandteil des Fünften IPCC-Sachstandsberichts (Klimaänderung 2013/2014) dar. Über 800 internationale Fachleute haben den Klimawandel in diesem Fünften Sachstandsbericht bewertet. Die drei Beiträge der Arbeitsgruppen können über Cambridge University Press bezogen werden:

*Climate Change 2013 – The Physical Science Basis*

Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC  
(ISBN 9781107661820 Taschenbuch; ISBN 9781107057999 gebundene Ausgabe)

*Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability*

Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC  
(Teil A: ISBN 9781107641655 Taschenbuch; ISBN 9781107058071 gebundene Ausgabe)  
(Teil B: ISBN 9781107683860 Taschenbuch; ISBN 9781107058163 gebundene Ausgabe)

*Climate Change 2014 – Mitigation of Climate Change*

Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the IPCC  
(ISBN 9781107654815 Taschenbuch; ISBN 9781107058217 gebundene Ausgabe)

---

*Klimaänderung 2014 – Synthesebericht* beruht auf den Bewertungen durch die drei Arbeitsgruppen des IPCC und wurde von einem speziell dafür ernannten Team von Hauptautoren verfasst. Er bietet eine integrierte Bewertung des Klimawandels und behandelt folgende Themen:

- Beobachtete Änderungen und deren Ursachen
- Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen
- Zukünftige Pfade für Anpassung, Minderung und Nachhaltige Entwicklung
- Anpassung und Minderung