

ipcc

ZWISCHENSTAATLICHER AUSSCHUSS FÜR Klimaänderungen

# KLIMAÄNDERUNG 2014

## *Minderung des Klimawandels*

### Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

WGIII

BEITRAG DER ARBEITSGRUPPE III ZUM FÜNFTEN  
SACHSTANDSBERICHT DES ZWISCHENSTAATLICHEN  
AUSSCHUSSES FÜR KLIMAÄNDERUNGEN (IPCC)



WMO



UNEP

## Englische Originale

© 2013, 2014 Intergovernmental Panel on Climate Change

IPCC, 2013: Summary for Policymakers. 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 and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–30.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, 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, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1–32.

IPCC, 2014: Summary for Policymakers. 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. Schlomer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Herausgegeben von: Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC, WMO/UNEP).  
Die englischen Originalversionen dieser Dokumente sind in elektronischer Form auf der IPCC-Webseite unter <http://ipcc.ch/report/ar5/> erhältlich.  
Die Druckversionen können kostenfrei über das IPCC-Sekretariat bezogen werden.

Titelbild: Folgefonna Gletscher, Hochebene von Sørfjorden, Norwegen (60°03' N–6°20' E) © Yann Arthus-Bertrand/Altitude.  
Anpflanzen von Mangroven-Setzlingen in Funafala, Funafuti Atoll, Tuvalu. © David J. Wilson.  
China, Shanghai, Luftaufnahme © Ocean/Corbis.

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.

## Deutsche Übersetzungen

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)



Umweltbundesamt GmbH  
[www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at), [publikationen@umweltbundesamt.at](mailto:publikationen@umweltbundesamt.at)



ProClim  
[www.proclim.ch](http://www.proclim.ch), [proclim@scnat.ch](mailto:proclim@scnat.ch)



Swiss Academy of Sciences  
Akademie der Naturwissenschaften  
Accademia di scienze naturali  
Académie des sciences naturelles

ProClim-  
Forum for Climate and Global Change

Übersetzung: WGI: Urs Neu unter Mitarbeit von Carola Best, Britt K. Erxleben, Sachiko Ito, Adrien Michel, Pauline Midgley, Gian-Kasper Plattner, Klaus Radunsky, Thomas Stocker, Christiane Textor, Esther Volken  
WGII: A.C.T. Fachübersetzungen GmbH, Klaus Radunsky, Carola Best, Britt K. Erxleben, Sachiko Ito, Christiane Textor unter Mitarbeit von Wolfgang Cramer, Gerrit Hansen, Christian Huggel, Daniela Jacob, Urs Neu, Juliane Petersen, Heidi Schulte  
WGIII: A.C.T. Fachübersetzungen GmbH, Carola Best, Britt K. Erxleben, Sachiko Ito, Christiane Textor unter Mitarbeit von Steffen Brunner, Patrick Eickemeier, Susanne Kadner, Urs Neu, Klaus Radunsky, Heidi Schulte  
Glossar: A.C.T. Fachübersetzungen GmbH, Gerrit Hansen, Carola Best

Layout: CD Werbeagentur GmbH

Mitfinanzierung: Deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)  
Deutsches Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)  
Schweizerisches Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BAFU)  
Österreichisches Umweltbundesamt

ISBN: 978-3-891 00-048-9

Zitiervorschrift:

IPCC, 2013/2014: Klimaänderung 2013/2014: *Zusammenfassungen für politische Entscheidungsträger. Beiträge der drei Arbeitsgruppen zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)*. Deutsche Übersetzungen durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2016.

Die Zitiervorschriften der einzelnen Beiträge sind jeweils zu Beginn der vier Teile dieses Sammelbandes angegeben.

## Bezugsquellen für Übersetzungen:

Deutsche Übersetzungen können von den Webseiten [www.de-ipcc.de](http://www.de-ipcc.de), [www.proclim.ch](http://www.proclim.ch) und [www.umweltbundesamt.at](http://www.umweltbundesamt.at) als PDF-Datei heruntergeladen werden.

Kostenfreie Druckexemplare sind erhältlich:

- in Deutschland bei der Deutschen IPCC-Koordinierungsstelle, DLR Projektträger, 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)).

# Inhalt

## Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

### Arbeitsgruppe III – Minderung des Klimawandels

SPM.1	Einleitung .....	WGIII-2
SPM.2	Ansätze zur Minderung des Klimawandels .....	WGIII-2
SPM.3	Trends in Treibhausgasbeständen und -flüssen und deren Treiber.....	WGIII-4
SPM.4	Minderungspfade und -maßnahmen im Kontext nachhaltiger Entwicklung.....	WGIII-9
SPM.4.1	Langfristige Minderungspfade .....	WGIII-9
SPM.4.2	Sektorspezifische und sektorenenübergreifende Minderungspfade und -maßnahmen .....	WGIII-16
SPM.4.2.1	Sektorenübergreifende Minderungspfade und -maßnahmen .....	WGIII-16
SPM.4.2.2	Energieversorgung .....	WGIII-19
SPM.4.2.3	Energieendverbrauchssektoren .....	WGIII-20
SPM.4.2.4	Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (Agriculture, Forestry and Other Land Use – AFOLU) .....	WGIII-24
SPM.4.2.5	Siedlungen, Infrastruktur und Raumplanung .....	WGIII-25
SPM.5	Minderungsmaßnahmen und Institutionen .....	WGIII-26
SPM.5.1	Sektorale und nationale Maßnahmen.....	WGIII-26
SPM.5.2	Internationale Zusammenarbeit .....	WGIII-30



## Vorwort

*Klimawandel 2014: Minderung des Klimawandels* ist der dritte Teil des Fünften Sachstandsberichts (AR5) des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC) – *Klimaänderung 2013/2014*. Er wurde von Arbeitsgruppe III erstellt. Dieser Berichtsteil bietet eine umfassende und transparente wissenschaftliche Bewertung relevanter Optionen für die Minderung des Klimawandels durch Begrenzung oder Verhinderung von Treibhausgasemissionen sowie Maßnahmen zur Verringerung ihrer Konzentrationen in der Atmosphäre.

Dieser Bericht unterstreicht, dass – trotz einer zunehmenden Anzahl von Maßnahmen zur ihrer Minderung – die Treibhausgasemissionen im vergangenen Jahrzehnt noch schneller zugenommen haben. Hunderte von neuen Minderungsszenarien verdeutlichen, dass fundamentale Veränderungen notwendig sind, um den Temperaturanstieg innerhalb des 21. Jahrhunderts zu stabilisieren. Gleichzeitig wird klar, dass es eine Vielzahl von Emissionspfaden gibt, um den Temperaturanstieg auf unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Bedingungen zu begrenzen, aber diese beinhalten beträchtliche technologische, wirtschaftliche und institutionelle Herausforderungen. Die Verzögerung von Minderungsmaßnahmen oder eingeschränkte Verfügbarkeit von kohlenstoffarmen Technologien erhöht diese Herausforderungen zusätzlich. Weniger anspruchsvolle Klimaschutzziele wie 2,5 °C oder 3 °C bedeuten ähnliche Herausforderungen, nur weniger schnell. Ergänzend zu diesen Erkenntnissen bietet der Bericht eine umfassende wissenschaftliche Bewertung der verfügbaren technischen und verhaltensbezogenen Minderungsmaßnahmen in den Sektoren Energie, Transport, Gebäude, Industrie und Landnutzung und bewertet Politikmaßnahmen auf verschiedenen Entscheidungsebenen von der lokalen bis zur internationalen Skala.

Die Erkenntnisse in diesem Bericht haben unser Verständnis der Bandbreite an verfügbaren Minderungspfaden und der ihnen zugrundeliegenden technischen, wirtschaftlichen und institutionellen Voraussetzungen erheblich vertieft. Der Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Berichts ist deswegen von besonderer Bedeutung, weil er den Verhandlern, die für den Abschluss eines neuen Abkommens unter der VN-Klimarahmenkonvention im Jahr 2015 verantwortlich sind, ausschlaggebende Informationen liefern kann. So verlangt der Bericht dringende Aufmerksamkeit sowohl von politischen Entscheidungsträgern als auch der breiten Öffentlichkeit.

Seit er 1988 als zwischenstaatliches Gremium 1988 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 Gutachten zur Verfügung, die in Zuverlässigkeit und Objektivität unübertroffen sind. Die Produkte des IPCC sind eindeutig politik-relevant, geben jedoch keine politischen Empfehlungen. Seit Beginn der Veröffentlichungen im Jahr 1990 sind die Sachstandsberichte, Sonderberichte, Technischen Abhandlungen, Methodikberichte und andere Produkte des IPCC zu Standardnachschriftgewerken geworden.

Der Arbeitsgruppen III-Bericht wurde durch das Engagement und den Einsatz von vielen hundert Expertinnen und Experten weltweit ermöglicht, die eine große Bandbreite an Disziplinen repräsentieren. WMO und UNEP sind stolz, dass so viele Experten zu ihrem Netzwerk gehören.

Wir danken allen Autoren, Prüferinnen und Gutachtern dafür, dass sie ihr Wissen, ihre Expertise und ihre Zeit zur Verfügung gestellt haben. Wir danken ferner den Mitarbeitern der Geschäftsstelle von Arbeitsgruppe III und dem IPCC-Sekretariat für ihren Einsatz.

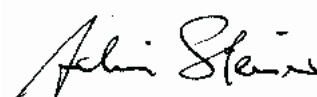
Wir sind auch den Regierungen dankbar, welche die Beteiligung ihrer Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler an der Erststellung dieses Berichts unterstützt und durch ihre Beiträge zum IPCC-Treuhandfonds die unerlässliche Beteiligung von Fachleuten aus Entwicklungsländern und Ländern mit im Übergang befindlichen Wirtschaftssystemen und Schwellenländern ermöglicht haben.

Wir möchten der Regierung von Italien danken für die Ausrichtung des Scoping-Treffens für den Fünften IPCC-Sachstandsbericht, den Regierungen der Republik Korea, von Neuseeland und Äthiopien sowie in Spanien der Universität Vigo und dem Forschungszentrum für Energiewirtschaft für die Ausrichtung der Leitautorentreffen von Arbeitsgruppe III. Weiter danken wir der deutschen Regierung für die Ausrichtung der 12. Sitzung von Arbeitsgruppe III, auf der der Bericht verabschiedet wurde. Wir möchten ferner den Regierungen von Indien, Peru, Ghana, den Vereinigten Staaten und Deutschland danken für die Ausrichtung der AR5-Expertentreffen in Kalkutta, Lima, Accra, Washington D.C. und Potsdam. Die großzügige finanzielle Unterstützung von Deutschland und die logistische Unterstützung durch das Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung ermöglichte die effektive Arbeit der Geschäftsstelle der Arbeitsgruppe III. Dafür sind wir sehr dankbar.

Wir möchten besonders Dr. Rajendra Pachauri, dem Vorsitzenden des IPCC, für die strategische Beratung und Führung des IPCC danken. Unsere tiefe Dankbarkeit gilt Prof. Ottmar Edenhofer, Dr. Ramon Pichs-Madruga und Dr. Youba Sokona, den Ko-Vorsitzenden von Arbeitsgruppe III, für ihren unermüdlichen Einsatz und die Führung während der Entwicklung und Erarbeitung dieses Berichtes.



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



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

## Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

### **Autoren des Entwurfs:**

Ottmar Edenhofer (Deutschland), Ramón Pichs-Madruga (Kuba), Youba Sokona (Mali), Shardul Agrawala (Frankreich), Igor Alexeyevich Bashmakov (Russland), Gabriel Blanco (Argentinien), John Broome (Großbritannien), Thomas Bruckner (Deutschland), Steffen Brunner (Deutschland), Mercedes Bustamante (Brasilien), Leon Clarke (USA), Felix Creutzig (Deutschland), Shobhakar Dhakal (Nepal/Thailand), Navroz K. Dubash (Indien), Patrick Eickemeier (Deutschland), Ellie Farahani (Kanada), Manfred Fischedick (Deutschland), Marc Fleurbaey (Frankreich), Reyer Gerlagh (Niederlande), Luis Gómez-Echeverri (Kolumbien/Österreich), Sujata Gupta (Indien/Philippinen), Jochen Harnisch (Deutschland), Kejun Jiang (China), Susanne Kadner (Deutschland), Sivan Kartha (USA), Stephan Klasen (Deutschland), Charles Kolstad (USA), Volker Krey (Österreich/Deutschland), Howard Kunreuther (USA), Oswaldo Lucon (Brasilien), Omar Masera (Mexiko), Jan Minx (Deutschland), Yacob Mulugetta (Äthiopien/Großbritannien), Anthony Patt (Österreich/Schweiz), Nijavalli H. Ravindranath (Indien), Keywan Riahi (Österreich), Joyashree Roy (Indien), Roberto Schaeffer (Brasilien), Steffen Schlömer (Deutschland), Karen Seto (USA), Kristin Seyboth (USA), Ralph Sims (Neuseeland), Jim Skea (Großbritannien), Pete Smith (Großbritannien), Eswaran Somanathan (Indien), Robert Stavins (USA), Christoph von Stechow (Deutschland), Thomas Sterner (Schweden), Taishi Sugiyama (Japan), Sangwon Suh (Republik Korea/USA), Kevin Chika Urama (Nigeria/Großbritannien/Kenia), Diana Ürge-Vorsatz (Ungarn), David G. Victor (USA), Dadi Zhou (China), Ji Zou (China), Timm Zwickel (Deutschland)

### **Mitwirkende Autoren des Entwurfs:**

Giovanni Baiocchi (Großbritannien/Italien), Helena Chum (Brasilien/USA), Jan Fuglestad (Norwegen), Helmut Haberl (Österreich), Edgar Hertwich (Österreich/Norwegen), Elmar Kriegler (Deutschland), Joeri Rogelj (Schweiz/Belgien), H.-Holger Rogner (Deutschland), Michiel Schaeffer (Niederlande), Steven J. Smith (USA), Detlef van Vuuren (Niederlande), Ryan Wiser (USA)

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

IPCC, 2014: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: *Klimaänderung 2014: Minderung des Klimawandels. Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)* [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 und J.C. Minx (Hrsg.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Großbritannien und New York, NY, USA. Deutsche Übersetzung durch Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Österreichisches Umweltbundesamt, ProClim, Bonn/Wien/Bern, 2015.

## SPM.1 Einleitung

Der Beitrag der Arbeitsgruppe III (WGIII) zum Fünften IPCC-Sachstandsbericht (AR5) wertet Literatur zu den wissenschaftlichen, technologischen, ökologischen, ökonomischen und sozialen Aspekten von Minderung der Klimaänderung aus. Er baut auf dem Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten IPCC-Sachstandsbericht (AR4), dem Sonderbericht „Erneuerbare Energiequellen und die Minderung des Klimawandels“ (SRREN) sowie früheren Berichten auf und berücksichtigt danach gewonnene neue Erkenntnisse und Forschungen. Der Bericht untersucht zudem Minderungsmöglichkeiten auf verschiedenen Entscheidungsebenen und in unterschiedlichen Wirtschaftssektoren sowie die gesellschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher Minderungsstrategien. Er empfiehlt jedoch keine bestimmten Minderungsmaßnahmen.

Diese Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (Summary for Policymakers, SPM) folgt der Struktur des Berichtes der Arbeitsgruppe III. Die Schilderung enthält eine Reihe fett gedruckter Schlussfolgerungen, die zusammengekommen eine kurze Zusammenfassung darstellen. Die Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger basiert auf den Kapitelabschnitten des zugrundeliegenden Berichtes sowie der Technischen Zusammenfassung (Technical Summary, TS). Verweise darauf sind in eckigen Klammern angegeben.

Der Grad der Unsicherheit von Aussagen in diesem Bericht beruht, wie in den Berichten aller drei IPCC-Arbeitsgruppen, auf den Bewertungen des zugrunde liegenden wissenschaftlichen Verständnisses durch die Autorenteamer und wird als qualitatives Vertrauensniveau (von „sehr gering“ bis „sehr hoch“) dargestellt, sowie, sofern möglich, probabilistisch mit einer quantifizierten Wahrscheinlichkeit (von „besonders unwahrscheinlich“ bis „praktisch sicher“). Das Vertrauen in die Gültigkeit einer Aussage beruht auf der Art, Menge, Qualität und Stimmigkeit der Belege (z. B. Daten, mechanistisches Verständnis, Theorie, Modelle, Expertenmeinung) sowie dem Grad der Übereinstimmung.<sup>1</sup> Wahrscheinlichkeitsschätzungen quantifizierter Unsicherheitsmaße einer Aussage beruhen auf statistischen Analysen von Beobachtungen, auf Modellergebnissen oder auf beidem sowie auf Expertenmeinungen.<sup>2</sup> Gegebenenfalls sind Aussagen auch als Tatsachenangaben ohne Unsicherheitsangaben formuliert. Innerhalb einzelner Absätze dieser Zusammenfassung gelten die Angaben zu Vertrauensniveau, Belegen und Übereinstimmung von fett gedruckten Aussagen auch für die darauffolgenden Aussagen des gleichen Absatzes, sofern keine zusätzlichen Begriffe angegeben sind.

## SPM.2 Ansätze zur Minderung des Klimawandels

Als Minderung bezeichnet man Eingreifen des Menschen mit dem Ziel, Quellen von Treibhausgasen zu verringern oder ihre Senken zu vergrößern. Minderung trägt zusammen mit der Anpassung an den Klimawandel zum Erreichen des in Artikel 2 des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) formulierten Ziels bei:

*Das Endziel dieses Übereinkommens und aller damit zusammenhängenden Rechtsinstrumente, welche die Konferenz der Vertragsparteien beschließt, ist es, in Übereinstimmung mit den einschlägigen Bestimmungen des Übereinkommens, die Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre auf einem Niveau zu*

<sup>1</sup> Die folgenden summarischen Ausdrücke werden zur Beschreibung der verfügbaren Belege verwendet: begrenzt, mittelstark oder belastbar; und für den Grad der Übereinstimmung: gering, mittel oder hoch. Das Vertrauensniveau wird unter Verwendung von fünf Stufen – sehr gering, gering, mittel, hoch und sehr hoch – beschrieben und kursiv gesetzt, z. B. *mittleres Vertrauen*. Einer über Belege und Übereinstimmung getroffenen Einstufung können unterschiedliche Vertrauensniveaus zugeordnet werden, jedoch sind stärkere Belege und höhere Grade der Übereinstimmung grundsätzlich mit einem höheren Vertrauensniveau verbunden. Weitere Einzelheiten können den „Leitlinien für Leitautoren des Fünften IPCC-Sachstandsberichts zur konsistenten Behandlung von Unsicherheiten“ (*Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties*) entnommen werden.

Anmerkung des Übersetzers: In dieser Übersetzung wird der weitgefasste englische Ausdruck „evidence“ mit dem Ausdruck „Belege“ wiedergegeben, wobei damit die Summe der vorhandenen Informationen gemeint ist, die je nach Einzelfall einfache Indizien/Hinweise bis zu weitgehend gesicherten Informationen umfassen kann.

<sup>2</sup> Die folgenden Begriffe wurden verwendet, um die bewertete Wahrscheinlichkeit von Ergebnissen zu beschreiben: „praktisch sicher“ 99–100 % Wahrscheinlichkeit, „sehr wahrscheinlich“ 90–100 %, „wahrscheinlich“ 66–100 %, „etwa ebenso so wahrscheinlich wie nicht“ 33–66 %, „unwahrscheinlich“ 0–33 %, „sehr unwahrscheinlich“ 0–10 %, „besonders unwahrscheinlich“ 0–1 %. Zusätzliche Ausdrücke („eher wahrscheinlich als nicht“ > 50–100 % und „eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich“ 0– < 50 %) werden gegebenenfalls auch verwendet. Die bewertete Wahrscheinlichkeit ist kursiv gedruckt, z. B. *sehr wahrscheinlich*.



*erreichen, auf dem eine gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems verhindert wird. Ein solches Niveau sollte innerhalb eines Zeitraums erreicht werden, der ausreicht, damit sich die Ökosysteme auf natürliche Weise den Klimaänderungen anpassen können, die Nahrungsmittelerzeugung nicht bedroht wird und die wirtschaftliche Entwicklung auf nachhaltige Weise fortgeführt werden kann.*

Klimapolitische Maßnahmen können von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen gestützt werden sowie von systematischen Methoden anderer Disziplinen. [1.2, 2.4, 2.5, Box 3.1]

**Nachhaltige Entwicklung und Gerechtigkeit bilden eine Grundlage für die Bewertung klimapolitischer Maßnahmen und unterstreichen die Notwendigkeit, sich mit den Risiken des Klimawandels zu befassen.**<sup>3</sup>

Eine Begrenzung der Auswirkungen des Klimawandels ist notwendig, um nachhaltige Entwicklung und Gerechtigkeit, einschließlich der Beseitigung von Armut, zu erreichen. Gleichzeitig könnten einige Minderungsansätze Maßnahmen untergraben, die im Rahmen des Rechts, nachhaltige Entwicklung zu fördern, bzw. zur Beseitigung von Armut und zum Erreichen von Gerechtigkeit unternommen werden. Folglich muss eine umfassende Bewertung klimapolitischer Maßnahmen über einen Fokus auf Minderungs- und Anpassungsmaßnahmen allein hinausgehen, um Entwicklungspfade und ihre Bestimmungsfaktoren umfassender zu untersuchen. [4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8]

**Wirksame Minderung wird nicht erreicht werden, wenn einzelne Akteure unabhängig voneinander ihre eigenen Interessen verfolgen.** Der Klimawandel hat Züge eines Problems kollektiven Handelns auf globaler Ebene, da sich die meisten Treibhausgase (THG) im Laufe der Zeit ansammeln und global mischen, und da die Emissionen eines Akteurs (z. B. Einzelperson, Gemeinde, Unternehmen, Land) andere Akteure beeinflussen.<sup>4</sup> Daher ist internationale Zusammenarbeit notwendig, um THG-Emissionen wirksam zu verringern und anderen Problemen im Zusammenhang mit dem Klimawandel zu begegnen [1.2.4, 2.6.4, 3.2, 4.2, 13.2, 13.3]. Darüber hinaus gibt es durch Forschung und Entwicklung zu Minderung Ausstrahlungseffekte hinsichtlich des erzeugten Wissens. Internationale Zusammenarbeit kann eine konstruktive Rolle bei der Entwicklung, der Verbreitung und dem Transfer von Wissen und umweltverträglichen Technologien spielen [1.4.4, 3.11.6, 11.8, 13.9, 14.4.3].

**Im Zusammenhang mit Minderung und Anpassung stellen sich Fragen der Gleichstellung, Gerechtigkeit und Fairness.**<sup>5</sup> Die bisherigen und künftigen Beiträge von Ländern zur Akkumulation von THG in der Atmosphäre sind unterschiedlich. Darüber hinaus sind Länder mit unterschiedlichen Herausforderungen und Umständen konfrontiert und verfügen über unterschiedliche Fähigkeiten zur Minderung und Anpassung. Es gibt Belege dafür, dass Ergebnisse, die als gerecht beurteilt werden, wirksamere Zusammenarbeit begünstigen können. [3.10, 4.2.2, 4.6.2]

**Viele Bereiche der Gestaltung von Klimapolitik beinhalten Werturteile und ethische Überlegungen.** Diese Bereiche reichen von der Frage, welches Maß an Minderung notwendig ist, um einen gefährlichen Eingriff in das Klimasystem zu verhindern, bis zur Auswahl bestimmter Minderungs- oder Anpassungsmaßnahmen [3.1, 3.2]. Soziale, wirtschaftliche und ethische Analysen können für Werturteile herangezogen werden und unterschiedliche Werte berücksichtigen, einschließlich des menschlichen Wohls, kultureller und nicht-menschlicher Werte [3.4, 3.10].

**Neben anderen Methoden wird üblicherweise eine wirtschaftliche Auswertung für die Gestaltung von Klimapolitik herangezogen.** Geeignete Instrumente für die wirtschaftliche Bewertung sind Kosten-Nutzen-Analysen, Kosten-Wirksamkeits-Analysen, Multi-Kriterien-Analysen und die Erwartungsnutzentheorie [2.5]. Die Grenzen dieser Instrumente sind gut belegt [3.5]. Ethische Theorien, die auf gesellschaftlichen Wohlfahrtsfunktionen basieren, implizieren, dass Verteilungsgewichte, die den unterschiedlichen Wert des Geldes für verschiedene Menschen berücksichtigen, für die finanzielle Bemessung von Nutzen und Schäden herangezogen werden sollten [3.6.1, Box TS.2]. Während die Verteilungsgewichtung

<sup>3</sup> Siehe Beitrag der WGII zum AR5, Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger.

<sup>4</sup> In den Sozialwissenschaften wird dies als „globales Gemeingutproblem“ bezeichnet. Dieser Begriff wird in den Sozialwissenschaften so verwendet, dass er keine besondere Bedeutung im Kontext rechtlicher Vereinbarungen oder von Kriterien für Lastenverteilung hat.

<sup>5</sup> Siehe FAQ 3.2 zur Erläuterung dieser Konzepte. Die philosophische Literatur zu Gerechtigkeit sowie andere Literatur kann diese Themenbereiche verdeutlichen [3.2, 3.3, 4.6.2].

bisher selten herangezogen wurde, um die Auswirkungen klimapolitischer Maßnahmen auf verschiedene Menschen zu einem bestimmten Zeitpunkt zu vergleichen, wird sie in Form von Diskontierung üblicherweise verwendet, um Auswirkungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu vergleichen [3.6.2].

**Klimaschutz überschneidet sich mit anderen gesellschaftlichen Zielen, sodass sich positive oder negative Nebeneffekte ergeben können. Sofern diesen Überschneidungen überlegt begegnet wird, können sie die Grundlage für die Anwendung von Klimamaßnahmen stärken.** Minderung und Anpassung können das Erreichen anderer gesellschaftlicher Ziele positiv oder negativ beeinflussen, wie z. B. solche im Zusammenhang mit Gesundheit, Ernährungssicherung, Biodiversität, lokaler Umweltqualität, Energiezugang, Existenzgrundlagen und gerechter nachhaltiger Entwicklung. Umgekehrt können auf andere gesellschaftliche Ziele ausgerichtete Maßnahmen das Erreichen von Minderungs- und Anpassungszielen beeinflussen [4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.8]. Diese Einflüsse können erheblich, jedoch bisweilen schwer zu quantifizieren sein, insbesondere in Bezug auf Wohlfahrtsaspekte [3.6.3]. 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 [1.2.1, 4.2, 4.8, 6.6.1].

**Klimapolitik kann auf die Berücksichtigung einer Vielfalt unterschiedlicher Risiken und Unsicherheiten gestützt werden, von denen einige schwer zu bemessen sind, insbesondere Ereignisse mit einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit, die jedoch signifikante Auswirkungen hätten, wenn sie eintreten.** Seit dem AR4 hat die wissenschaftliche Literatur Risiken im Zusammenhang mit Klimawandel, Anpassungs- und Minderungsstrategien untersucht. Eine gründliche Abschätzung der Vorteile von Minderung berücksichtigt die volle Bandbreite möglicher Auswirkungen des Klimawandels, einschließlich jener mit schweren Folgen, aber einer geringen Eintrittswahrscheinlichkeit. Die Vorteile von Minderung könnten andernfalls unterschätzt werden (*hohes Vertrauen*) [2.5, 2.6, Box 3.9]. Die Wahl von Minderungsmaßnahmen wird auch von Unsicherheiten vieler sozioökonomischer Variablen beeinflusst, einschließlich der Wirtschaftswachstumsrate und der Technologieentwicklung (*hohes Vertrauen*) [2.6, 6.3].

**Die Gestaltung von Klimapolitik wird dadurch beeinflusst, wie Einzelpersonen und Organisationen Risiken und Unsicherheiten wahrnehmen und diese berücksichtigen.** Menschen nutzen häufig vereinfachte Entscheidungsregeln wie eine Präferenz des Status quo. Einzelpersonen und Organisationen unterscheiden sich hinsichtlich ihres Grads der Risikovermeidung und der relativen Bedeutung, die sie kurzfristigen gegenüber langfristigen Auswirkungen bestimmter Maßnahmen beimessen [2.4]. Mithilfe formalisierter Methoden kann die Gestaltung von Klimapolitik verbessert werden, indem Risiken und Unsicherheiten in natürlichen, sozioökonomischen und technologischen Systemen sowie Entscheidungsprozesse, Wahrnehmung, Werte und Wohlstand berücksichtigt werden [2.5].

## SPM.3 Trends in Treibhausgasbeständen und -flüssen und deren Treiber

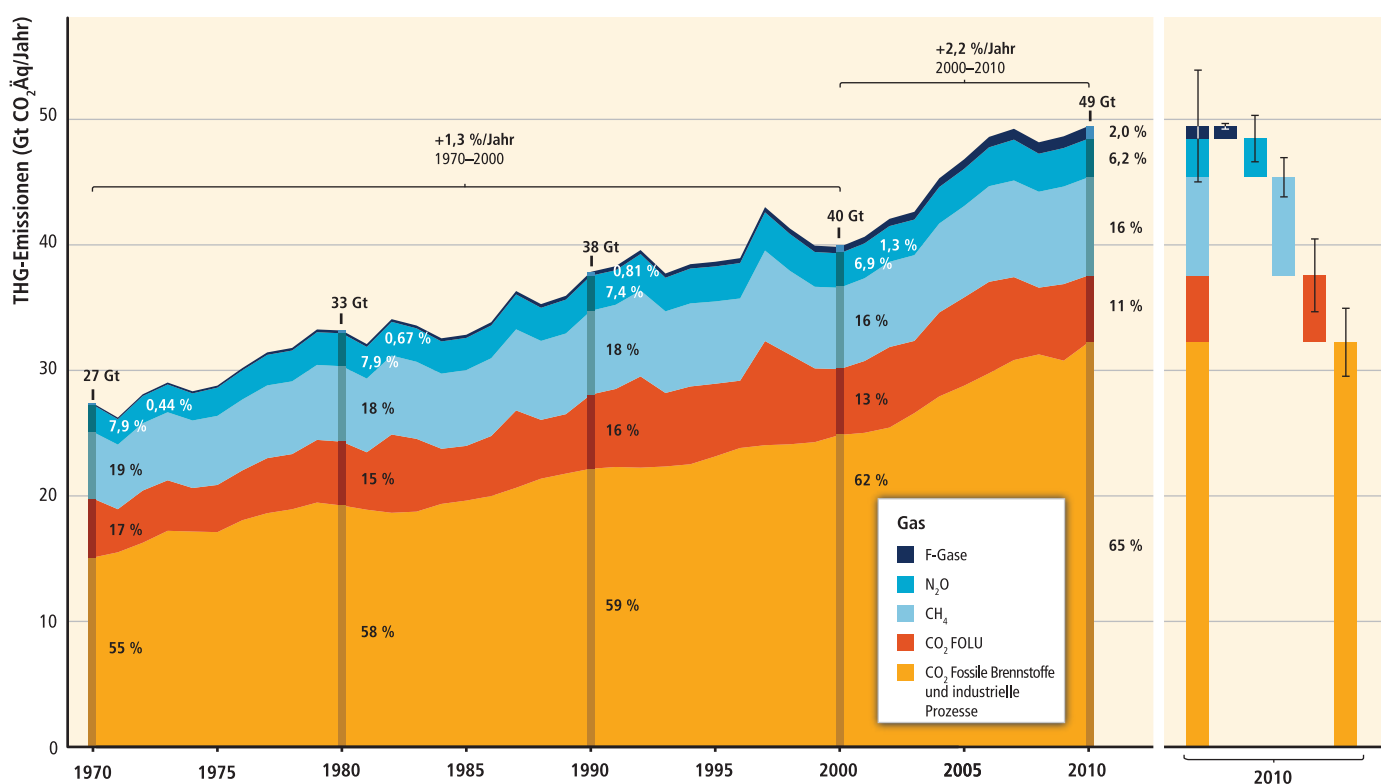
**Die gesamten anthropogenen THG-Emissionen sind zwischen 1970 und 2010, wobei die absoluten Anstiege pro Jahrzehnt gegen Ende dieses Zeitraumes größer waren, weiter gestiegen (*hohes Vertrauen*).** Trotz einer wachsenden Anzahl politischer Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels stiegen die jährlichen THG-Emissionen zwischen 2000 und 2010 durchschnittlich um 1,0 Gigatonnen Kohlendioxidäquivalent (Gt CO<sub>2</sub>Äq) (2,2 %) pro Jahr, gegenüber 0,4 Gt CO<sub>2</sub>Äq (1,3 %) pro Jahr zwischen 1970 und 2000 (Abbildung SPM.1).<sup>6,7</sup> Die gesamten anthropogenen THG-Emissionen waren zwischen 2000 und 2010 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 verringerte die Emissionen nur vorübergehend. [1.3, 5.2, 13.3, 15.2.2, Box TS.5, Abbildung 15.1]

<sup>6</sup> In dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger sind die Emissionen verschiedener Treibhausgase entsprechend ihres auf 100 Jahre bezogenen Globalen Erwärmungspotenzials (GWP<sub>100</sub>) aus dem Zweiten IPCC-Sachstandsbericht gewichtet. Alle THG-Metriken weisen Einschränkungen und Unsicherheiten bei der Bewertung der Folgen unterschiedlicher Emissionen auf. [3.9.6, Box TS.5, Anhang II.9, WGI SPM]

<sup>7</sup> In dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger sind Unsicherheiten der Daten über historische THG-Emissionen, sofern nicht anders angegeben, mit Unsicherheitsbereichen von 90 % dargestellt. Die THG-Emissionsmengen sind in diesem Bericht durchgängig auf zwei signifikante Stellen gerundet, daher können geringe Rundungsdifferenzen in den Summen auftreten.

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. 1–2 % zwischen 2011 und 2012. Von den insgesamt 49 (± 4,5) Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2010 bleibt CO<sub>2</sub> mit einem Anteil von 76 % (38 ± 3,8 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr) an den gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2010 das bedeutendste anthropogene THG. 16 % (7,8 ± 1,6 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr) entfallen auf Methan (CH<sub>4</sub>), 6,2 % (3,1 ± 1,9 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr) auf Lachgas (N<sub>2</sub>O) und 2,0 % (1,0 ± 0,2 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr) auf fluorierte Gase (Abbildung SPM.1). Seit 1970 sind jährlich ca. 25 % der anthropogenen THG in Form von Nicht-CO<sub>2</sub>-Gasen emittiert worden.<sup>8</sup> [1.2, 5.2]

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



**Abbildung SPM.1** | Gesamte jährliche anthropogene THG-Emissionen (Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr) 1970–2010 nach Gasgruppen: 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<sup>8</sup> (F-Gase). Auf der rechten Seite der Abbildung sind diese Untergruppen der THG-Emissionen im Jahr 2010 getrennt aufgetragen, wobei die jeweiligen Unsicherheiten (90 % Vertrauensbereich) durch Fehlerbalken dargestellt sind. Unsicherheiten für die gesamten anthropogenen THG-Emissionen sind, wie in Kapitel 5 [5.2.3.6] beschrieben, von den Schätzwerten der einzelnen Gase abgeleitet. Die globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe sind innerhalb eines Unsicherheitsbereiches von 8 % bekannt (90 % Vertrauensbereich). CO<sub>2</sub>-Emissionen aus FOLU weisen sehr große Unsicherheiten in einer Größenordnung von ± 50 % auf. Die Unsicherheiten für globale Emissionen von CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und fluorierten Gasen wurden auf jeweils 20 %, 60 % und 20 % geschätzt. 2010 war das aktuellste Jahr, für das Emissionsstatistiken für alle Gase sowie die Unsicherheitsbewertung vor dem Datenstichtag dieses Berichts im Wesentlichen abgeschlossen waren. Emissionen wurden auf der Grundlage von GWP<sub>100</sub><sup>6</sup> aus dem Zweiten IPCC-Sachstandsbericht in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. In den Emissionsdaten für FOLU sind landgebundene CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Waldbränden, Torfbränden sowie Torfzerfall enthalten, die dem in Kapitel 11 dieses Berichtes beschriebenen Netto-CO<sub>2</sub>-Fluss ungefähr entsprechen. Die Klammern geben die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate über unterschiedliche Zeiträume an. [Abbildung 1.3, Abbildung TS.1]

<sup>8</sup> Für diesen Bericht wurden die Daten zu den Nicht-CO<sub>2</sub>-THG, einschließlich der fluorierten Gase, der EDGAR-Datenbank (Anhang II.9) entnommen, die Substanzen aus der ersten Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls beinhaltet.

**Etwa die Hälfte der kumulativen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 1750 und 2010 erfolgte in den letzten 40 Jahren (hohes Vertrauen).** 1970 betrug die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Nutzung fossiler Brennstoffe, Zementherstellung und Abfackelung seit 1750 420 ± 35 Gt CO<sub>2</sub>; 2010 hatte sich dieser kumulative Wert auf 1300 ± 110 Gt CO<sub>2</sub> verdreifacht. Die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (FOLU)<sup>9</sup> seit 1750 stiegen von 490 ± 180 Gt CO<sub>2</sub> im Jahr 1970 auf 680 ± 300 Gt CO<sub>2</sub> im Jahr 2010. [5.2]

**Die jährlichen anthropogenen THG-Emissionen sind zwischen 2000 und 2010 um 10 Gt CO<sub>2</sub>-Äq gestiegen, wobei dieser Anstieg direkt auf die Sektoren Energieversorgung (47 %), Industrie (30 %), Verkehr (11 %) und Gebäude (3 %) zurückzuführen ist (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 außer AFOLU gestiegen. Von den 49 (± 4,5) Gt CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen im Jahr 2010 entfielen 35 % (17 Gt CO<sub>2</sub>-Äq) der THG-Emissionen auf den Energieversorgungssektor, 24 % (12 Gt CO<sub>2</sub>-Äq, Nettoemissionen) auf AFOLU, 21 % (10 Gt CO<sub>2</sub>-Äq) auf Industrie, 14 % (7,0 Gt CO<sub>2</sub>-Äq) auf Verkehr und 6,4 % (3,2 Gt CO<sub>2</sub>-Äq) auf Gebäude. Wenn Emissionen aus Elektrizitäts- und Wärmeherzeugung den Sektoren zugeordnet werden, die 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 %<sup>7</sup> (Abbildung SPM.2). [7.3, 8.2, 9.2, 10.3, 11.2]

**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 (Abbildung SPM.3). Eine im Verhältnis zu anderen Energiequellen gestiegene Kohlenutzung hat den langanhaltenden Trend einer schrittweisen Dekarbonisierung der weltweiten Energieversorgung umgekehrt. [1.3, 5.3, 7.2, 14.3, TS.2.2]

**Ohne zusätzliche Anstrengungen zur Verringerung der THG-Emissionen, die über die heute bestehenden hinausgehen, ist ein weiterer Anstieg der Emissionen aufgrund des Wachstums der Weltbevölkerung und der wirtschaftlichen Aktivitäten zu erwarten. Basisszenarien, also solche ohne zusätzliche Minderung, führen bis zum Jahr 2100 zu einem Anstieg der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur um 3,7 °C bis 4,8 °C gegenüber vorindustriellen Werten<sup>10</sup> (die Bandbreite basiert auf der medianen Klimareaktion; die Bandbreite beträgt unter Einbeziehung von Klimaunsicherheit 2,5 °C bis 7,8 °C, siehe Tabelle SPM.1)<sup>11</sup> (hohes Vertrauen).** Die für diesen Bericht gesammelten Emissionsszenarien stellen den vollen Strahlungsantrieb einschließlich THG, troposphärischen Ozons, Aerosole und Albedo-Änderungen dar. Basisszenarien (Szenarien ohne explizite zusätzliche Bemühungen zur Begrenzung von Emissionen) übersteigen 450 parts per million (ppm) CO<sub>2</sub>-Äq bis 2030 und erreichen bis zum Jahr 2100 CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentrationswerte zwischen 750 und mehr als 1300 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. Dies ist vergleichbar mit der Bandbreite atmosphärischer Konzentrationsniveaus zwischen den RCP6.0- und RCP8.5-Pfaden im Jahr 2100.<sup>12</sup> Zum Vergleich: die CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentration im Jahr 2011 wird auf 430 ppm (Unsicherheitsbereich 340–520 ppm) geschätzt.<sup>13</sup> [6.3, Box TS.6; WGI Abbildung SPM.5, WGI 8.5, WGI 12.3]

<sup>9</sup> Forstwirtschaft und andere Landnutzung (FOLU) – auch als LULUCF (Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft) bezeichnet – bezeichnet die Teilmenge der AFOLU-Emissionen und -Entnahmen von Treibhausgasen (THG), welche direkt aus von Menschen induzierter Landnutzung, Landnutzungsänderung und forstwirtschaftlichen Aktivitäten resultieren, unter Ausschluss landwirtschaftlicher Emissionen (siehe Glossar).

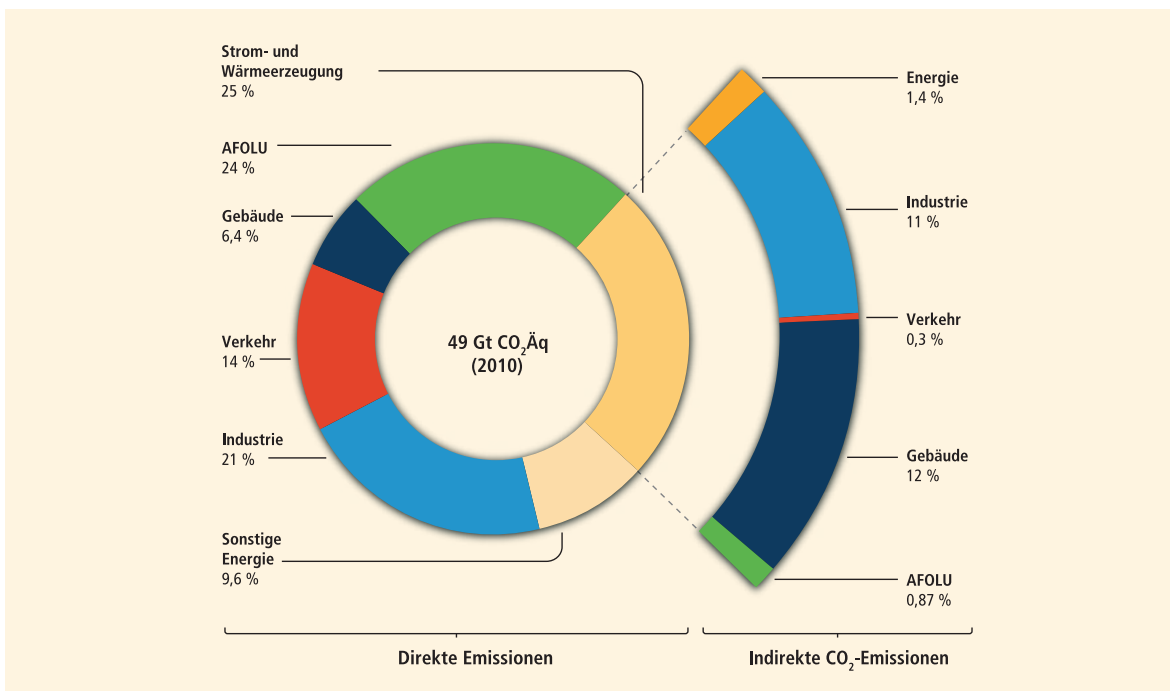
<sup>10</sup> Basierend auf dem längsten verfügbaren Datensatz zur globalen Erdoberflächentemperatur beträgt die beobachtete Veränderung zwischen dem Durchschnitt des Zeitraumes 1850–1900 und dem Referenzzeitraum des AR5 (1986–2005) 0,61 °C (5–95 % Vertrauensbereich: 0,55–0,67 °C) [WGI SPM.E], was hier als Näherungswert für die Veränderung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur gegenüber vorindustriellem Niveau (bezeichnet als Zeit vor 1750) verwendet wird.

<sup>11</sup> Die Klimaunsicherheit gibt das 5. bis 95. Perzentil der in Tabelle SPM.1 beschriebenen Klimamodellberechnungen wieder.

<sup>12</sup> Für diesen Bericht wurden über eine Ausschreibung ungefähr 300 Basisszenarien und 900 Minderungsszenarien von Arbeitsgruppen im Bereich der Integrierten Modellierung weltweit zusammengetragen. Diese Szenarien ergänzen die Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP, siehe Glossar). Die RCP werden entsprechend ihres ungefähren gesamten Strahlungsantriebs im Jahr 2100 im Verhältnis zu 1750 bezeichnet: 2,6 Watt pro Quadratmeter (W/m<sup>2</sup>) für RCP2.6, 4,5 W/m<sup>2</sup> für RCP4.5, 6,0 W/m<sup>2</sup> für RCP6.0 und 8,5 W/m<sup>2</sup> für RCP8.5. Die für diesen Bericht zusammengetragenen Szenarien umspannen eine etwas größere Bandbreite an Konzentrationen im Jahr 2100 als die vier RCP.

<sup>13</sup> Dies beruht auf der Abschätzung des gesamten anthropogenen Strahlungsantriebs für 2011 im Verhältnis zu 1750 in Arbeitsgruppe I, d. h. 2,3 W/m<sup>2</sup>, Unsicherheitsbereich 1,1 bis 3,3 W/m<sup>2</sup>. [WGI Abbildung SPM.5, WGI 8.5, WGI 12.3]

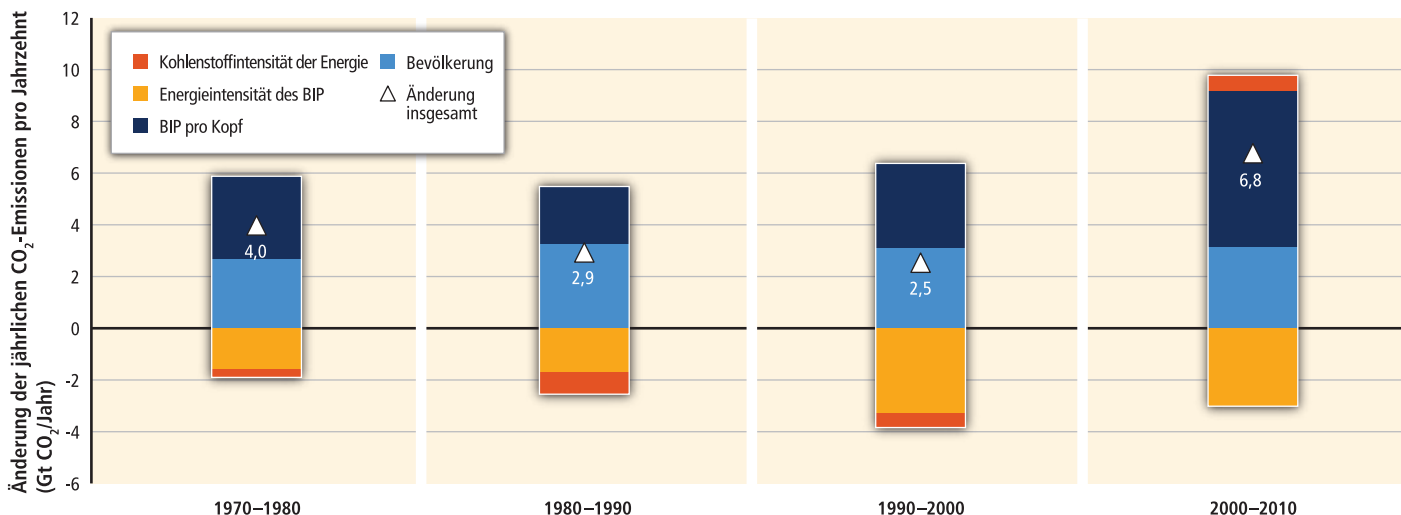
Treibhausgasemissionen nach Wirtschaftssektoren



**Abbildung SPM.2** | Gesamte anthropogene THG-Emissionen (Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr) nach Wirtschaftssektoren. Der innere Kreis zeigt den Anteil direkter THG-Emissionen (in Prozent 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 Prozent der gesamten anthropogenen THG-Emissionen) aus Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung den Sektoren zugeordnet werden, die die Endenergie nutzen. 'Sonstige Energie' bezieht sich wie in Anhang II definiert auf alle THG-Emissionsquellen im Energiesektor außer Elektrizitäts- und Wärmeerzeugung [A.II.9.1]. Die Emissionsdaten von Landwirtschaft, Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (AFOLU) beinhalten landbasierte CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Waldbränden, Torfbränden und Torferfall, die dem in Kapitel 11 dieses Berichtes beschriebenen Netto-CO<sub>2</sub>-Fluss aus dem Untersektor Forstwirtschaft und andere Landnutzung (FOLU) ungefähr entsprechen. Emissionen wurden auf der Grundlage von GWP<sub>100</sub><sup>6</sup> aus dem Zweiten IPCC-Sachstandsbericht in CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. Sektordefinitionen sind in Anhang II.9 aufgeführt. [Abbildung 1.3a, Abbildung TS.3 obere Tafel]

WGIII  
SPM

Zerlegung der Änderung der gesamten jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe pro Jahrzehnt



**Abbildung SPM.3** | Zerlegung der Änderungen der gesamten jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe pro Jahrzehnt nach vier bestimmenden Faktoren: Bevölkerung, Einkommen (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> pro Jahr bemessen; Einkommen wurden unter Verwendung von Kaufkraftparitäten in einheitliche Einheiten umgerechnet. [Abbildung 1.7]

**Tabelle SPM.1** | Schlüsselcharakteristika der für den AR5 (WGIII) gesammelten und bewerteten Szenarien. Für alle Parameter ist das 10. bis 90. Perzentil der Szenarien angegeben<sup>1,2</sup>. [Tabelle 6.3]

CO <sub>2</sub> -Äq-Konzentrationen im Jahr 2100 [ppm CO <sub>2</sub> -Äq]  Kategorienbezeichnung (Konzentrat.b.b.) <sup>3</sup>	Unter-kategorien	Relative Einordnung der RCP <sup>5</sup>	Kumulative CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>3</sup> [Gt CO <sub>2</sub> ]		Änderung der CO <sub>2</sub> -Äq-Emissionen gegenüber 2010 [%] <sup>4</sup>		Temperaturänderung (im Verhältnis zu 1850–1900) <sup>5,6</sup>				
			2011–2050	2011–2100	2050	2100	Temperaturveränderung im Jahr 2100 [°C] <sup>7</sup>	Wahrscheinlichkeit dafür, im Verlauf des 21. Jahrhunderts unterhalb eines bestimmten Temperaturniveaus zu bleiben <sup>8</sup>			
								1,5 °C	2,0 °C	3,0 °C	4,0 °C
< 430	Nur eine begrenzte Anzahl individueller Modellstudien hat das Niveau unter 430 ppm CO <sub>2</sub> -Äq untersucht										
450 (430–480)	Gesamtbandb. <sup>1,10</sup>	RCP2.6	550–1300	630–1180	-72 bis -41	-118 bis -78	1,5–1,7 (1,0–2,8)	eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich	wahrscheinlich		
500 (480–530)	Kein Überschreiten von 530 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		860–1180	960–1430	-57 bis -42	-107 bis -73	1,7–1,9 (1,2–2,9)	unwahrscheinlich	eher wahrscheinlich als nicht	wahrscheinlich	wahrscheinlich
	Überschreiten von 530 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		1130–1530	990–1550	-55 bis -25	-114 bis -90	1,8–2,0 (1,2–3,3)		etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht		
550 (530–580)	Kein Überschreiten von 580 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		1070–1460	1240–2240	-47 bis -19	-81 bis -59	2,0–2,2 (1,4–3,6)	unwahrscheinlich	eher unwahrscheinlich als nicht <sup>12</sup>	wahrscheinlich	wahrscheinlich
	Überschreiten von 580 ppm CO <sub>2</sub> -Äq		1420–1750	1170–2100	-16 bis 7	-183 bis -86	2,1–2,3 (1,4–3,6)				
(580–650)	Gesamtbereich	RCP4.5	1260–1640	1870–2440	-38 bis 24	-134 bis -50	2,3–2,6 (1,5–4,2)	unwahrscheinlich	unwahrscheinlich	eher wahrscheinlich als nicht	wahrscheinlich
(650–720)	Gesamtbereich		1310–1750	2570–3340	-11 bis 17	-54 bis -21	2,6–2,9 (1,8–4,5)				
(720–1000)	Gesamtbereich	RCP6.0	1570–1940	3620–4990	18 bis 54	-7 bis 72	3,1–3,7 (2,1–5,8)	unwahrscheinlich <sup>11</sup>	eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich		
> 1000	Gesamtbereich	RCP8.5	1840–2310	5350–7010	52 bis 95	74 bis 178	4,1–4,8 (2,8–7,8)	unwahrscheinlich <sup>11</sup>	unwahrscheinlich	unwahrscheinlich	eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich

<sup>1</sup> Der „Gesamtbereich“ der 430–480 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Szenarien entspricht der Bandbreite des 10.–90. Perzentils der in Tabelle 6.3 dargestellten Unterkategorie dieser Szenarien.

<sup>2</sup> Basisszenarien (siehe SPM.3) fallen in die Kategorien > 1000 und 720–1000 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. Letztere Kategorie schließt auch Minderungsszenarien ein. Basisszenarien dieser Kategorie gelangen im Jahr 2100 zu einer Temperaturänderung von 2,5–5,8 °C gegenüber vorindustriellem Niveau. 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 2,5–7,8 °C (Bandbreite auf Basis des Medians der Klimareaktion: 3,7–4,8 °C).

<sup>3</sup> Zum Vergleich der hier behandelten Schätzungen kumulativer CO<sub>2</sub>-Emissionen mit denen von Arbeitsgruppe I: Es wird für das Jahr 2111 von 515 [445–585] Gt C (1890 [1630–2150] Gt CO<sub>2</sub>) ausgegangen, die seit 1870 ausgestoßen wurden [WGI, Abschnitt 12.5]. Es ist zu beachten, dass hier kumulative Emissionen für unterschiedliche Zeiträume (2011–2050 und 2011–2100) dargestellt sind, während in Arbeitsgruppe I kumulative Emissionen als gesamte mit den RCP (2012–2100) kompatible Emissionen bzw. als Gesamtemissionen dargestellt sind, die mit gegebener Wahrscheinlichkeit mit einem gegebenen Temperaturziel kompatibel sind. [WGI Tabelle SPM.3, WGI SPM.E.8]

<sup>4</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). Die CO<sub>2</sub>-Äq-Emissionen beinhalten die Gruppe der Kyoto-Gase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O sowie F-Gase).

<sup>5</sup> Der Bericht von Arbeitsgruppe III schließt eine große Anzahl von Szenarien ein, die in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlicht wurden, und ist daher nicht auf die RCP beschränkt. Um die CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentration und die klimatischen Auswirkungen dieser Szenarien zu bewerten, wurde das MAGICC-Modell in einem wahrscheinlichkeitstheoretischen Modus verwendet (siehe Anhang II). Für einen Vergleich der Ergebnisse des MAGICC-Modells mit den Ergebnissen der in Arbeitsgruppe I verwendeten Modelle siehe Abschnitte WGI 12.4.1.2 und WGI 12.4.8 sowie 6.3.2.6. Gründe für die Unterschiede zur WGI SPM Tabelle 2 sind unter anderem die unterschiedlichen Bezugszeiträume (1986–2005 in WGI gegenüber hier vorliegend 1850–1900), die unterschiedlichen Berichtsjahre (2081–2100 in WGI gegenüber hier vorliegend 2100), der Aufbau der Simulation (CMIP5-Konzentration als Treiber gegenüber hier vorliegend MAGICC-Emissionen als Treiber) sowie der umfangreichere Satz an Szenarien (RCP gegenüber hier vorliegend dem gesamten Satz an Szenarien in der WGIII AR5-Szenariendatenbank).

<sup>6</sup> Die Temperaturänderung wird für das Jahr 2100 angegeben, was nicht direkt mit der von Arbeitsgruppe III im AR4 angegebenen Gleichgewichtserwärmung [Tabelle 3.5, Kapitel 3] vergleichbar ist. Für die Temperaturschätzungen für das Jahr 2100 ist die vorübergehende Reaktion des Klimas (TCR) die wichtigste Systemeigenschaft. Für MAGICC wird eine 90 %-Bandbreite der TCR von 1,2–2,6 °C (Median 1,8 °C) angenommen. Dies ist vergleichbar mit der 90 %-Bandbreite der TCR von 1,2–2,4 °C für CMIP5 [WGI 9.7] und einer ermittelten wahrscheinlichen Bandbreite von 1–2,5 °C aus mehreren Belegketten, die im WGI AR5 vorgestellt werden [Box 12.2 in Abschnitt 12.5].

<sup>7</sup> Die Temperaturänderung im Jahr 2100 ist als Schätzung des Medianwertes der MAGICC-Berechnungen dargestellt, was die Unterschiede zwischen den Emissionspfaden der Szenarien in jeder Kategorie verdeutlicht. Die in Klammern angegebene Bandbreite der Temperaturänderung berücksichtigt zudem den Kohlenstoffkreislauf und Klimasystem-Unsicherheiten, wie vom MAGICC-Modell dargestellt [weitere Einzelheiten siehe unter 6.3.2.6]. Die auf den Bezugszeitraum 1850–1900 bezogenen Temperaturdaten wurden errechnet, indem zu der gesamten projizierten Erwärmung im Verhältnis zum Zeitraum 1986–2005 eine Temperaturänderung von 0,61 °C für den Zeitraum 1986–2005 im Vergleich zu 1850–1900 hinzuaddiert wurden, basierend auf HadCRUT4 [siehe WGI Tabelle SPM.2].

<sup>8</sup> Die in dieser Tabelle dargestellte Bewertung basiert auf den Wahrscheinlichkeiten, die für sämtliche Szenarien der Arbeitsgruppe III unter Verwendung des Modells MAGICC errechnet wurden sowie auf der Bewertung der Unsicherheit in den nicht von Klimamodellen abgedeckten Temperaturprojektionen aus Arbeitsgruppe I. Die Aussagen sind also konsistent mit den Aussagen von Arbeitsgruppe I, die auf CMIP5-Läufen der RCP und den ermittelten Unsicherheiten basieren. Daher repräsentieren die Wahrscheinlichkeitsaussagen unterschiedliche Belegketten aus beiden Arbeitsgruppen. Die Methode von Arbeitsgruppe I wurde auch auf Szenarien mit mittleren Konzentrationsniveaus angewendet, für die keine CMIP5-Läufe verfügbar sind. Die Wahrscheinlichkeitsaussagen sind lediglich indikativ [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>9</sup> Die CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentration beinhaltet den Strahlungsantrieb aller THG, einschließlich halogener Gase und troposphärischen Ozons, sowie von Aerosolen und Albedo-Änderungen (errechnet auf der Grundlage des gesamten Strahlungsantriebes aus einem einfachen Kohlenstoffkreislauf-/Klima-Modell, MAGICC).

<sup>10</sup> Die überwiegende Mehrheit der Szenarien dieser Kategorie überschreitet zeitweise die Kategoriengrenze von 480 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentrationen.

<sup>11</sup> Für Szenarien dieser Kategorie bleibt kein CMIP5-Lauf [WGI AR5: Kapitel 12, Tabelle 12.3] und keine MAGICC-Realisierung [6.3] unterhalb des entsprechenden Temperaturniveaus. Sie werden dennoch als *unwahrscheinlich* eingeordnet, um Unsicherheiten darzustellen, die möglicherweise nicht durch die derzeitigen Klimamodelle reflektiert werden.

<sup>12</sup> Szenarien in der 580–650 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.

## SPM.4 Minderungspfade und -maßnahmen im Kontext nachhaltiger Entwicklung

### SPM.4.1 Langfristige Minderungspfade

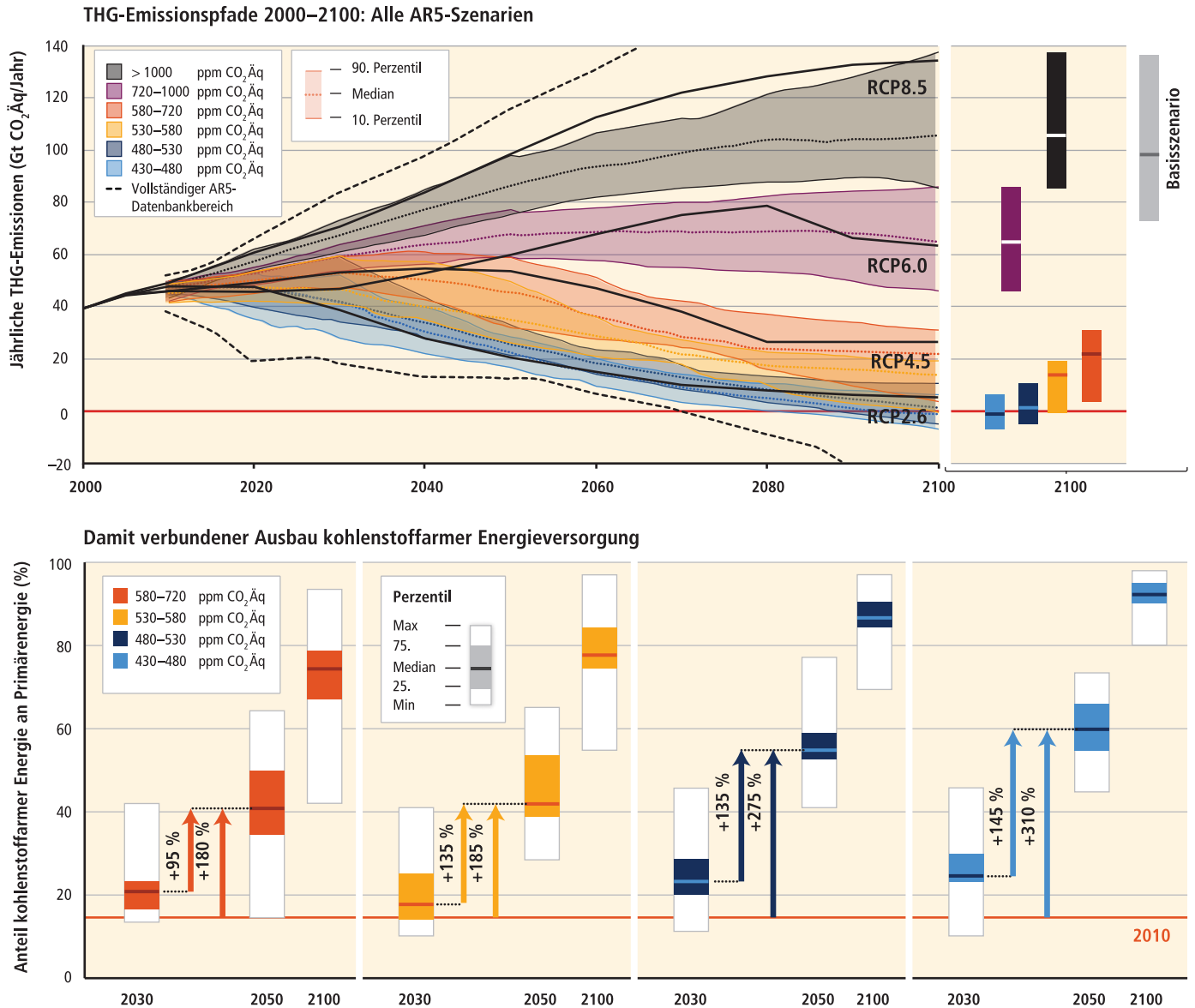
Es gibt eine Vielzahl an Szenarien mit einer Bandbreite an Technologie- und Verhaltensoptionen, mit unterschiedlichen Charakteristika und Implikationen für nachhaltige Entwicklung, die mit unterschiedlichen Minderungsniveaus übereinstimmen. Für diesen Bericht wurden ca. 900 Minderungsszenarien in einer auf veröffentlichten Integrierten Modellen basierenden Datenbank gesammelt.<sup>14</sup> Diese Bandbreite deckt atmosphärische Konzentrationsniveaus im Jahr 2100 von 430 bis über 720 ppm CO<sub>2</sub>Äq ab, was mit den Strahlungsantriebsniveaus für das Jahr 2100 zwischen RCP2.6 und RCP6.0 vergleichbar ist. Zudem wurden Szenarien außerhalb dieses Bereichs aufgenommen, einschließlich einiger Szenarien mit einer Konzentration von unter 430 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahre 2100 (siehe Diskussion dieser Szenarien unten). Die Minderungsszenarien decken eine große Bandbreite technologischer, sozioökonomischer und institutioneller Entwicklungsverläufe ab, jedoch bestehen Unsicherheiten und Modellbeschränkungen, und Entwicklungen außerhalb dieser Bandbreite sind ebenso möglich (Abbildung SPM.4, obere Tafel). [6.1, 6.2, 6.3, TS.3.1, Box TS.6]

Minderungsszenarien, in denen es *wahrscheinlich* ist, dass die durch anthropogene THG-Emissionen verursachte Temperaturänderung unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Niveaus gehalten werden kann, zeichnen sich durch atmosphärische Konzentrationen von ca. 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 aus (*hohes Vertrauen*). Für Minderungsszenarien, die zu Konzentrationsniveaus von ca. 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 gelangen, ist es *eher wahrscheinlich als nicht*, dass eine Temperaturänderung unter einem Anstieg von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau gehalten werden kann. Falls sie vor dem Jahr 2100 temporär über Konzentrationsniveaus von ungefähr 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq „hinausschießen“, wäre es *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*, dass sie dieses Ziel erreichen.<sup>15</sup> In Szenarien, die 530 bis 650 ppm CO<sub>2</sub>Äq-Konzentrationen bis zum Jahr 2100 erreichen, ist es *eher unwahrscheinlich als wahrscheinlich*, dass die Temperaturänderung unter 2 °C im Verhältnis zum vorindustriellen Niveau gehalten wird. In Szenarien, die ca. 650 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 übersteigen, ist es *unwahrscheinlich*, dass die Temperaturänderung auf unter 2 °C im Verhältnis zum vorindustriellen Niveau begrenzt wird. Minderungsszenarien, in denen der Temperaturanstieg bis zum Jahr 2100 *eher wahrscheinlich als nicht* weniger als 1,5 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau beträgt, zeichnen sich durch Konzentrationen von unter 430 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 aus. In diesen Szenarien durchläuft die Temperatur im Verlauf dieses Jahrhunderts ein Maximum und geht anschließend zurück. Wahrscheinlichkeitsaussagen über weitere Temperaturänderungsniveaus können anhand von Tabelle SPM.1 getroffen werden. [6.3, Box TS.6]

Szenarien, die atmosphärische Konzentrationsniveaus von ca. 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 erreichen (*konsistent mit einer wahrscheinlichen Begrenzung der Temperaturänderung unterhalb von 2 °C im Verhältnis zum vorindustriellen Niveau*), beinhalten beträchtliche Reduktionen anthropogener THG-Emissionen bis zur Mitte des Jahrhunderts durch umfangreiche Änderungen in Energiesystemen und eventuell in der Landnutzung (*hohes Vertrauen*). Szenarien, die diese Konzentrationen bis zum Jahr 2100 erreichen, sind durch geringere

<sup>14</sup> Die in Arbeitsgruppe III bewerteten langfristigen Szenarien wurden primär mit großskaligen Integrierten Modellen entwickelt, die viele Schlüsselkriterien für Minderungspfade bis zur Mitte des Jahrhunderts und darüber hinaus projizieren. Diese Modelle verknüpfen viele wichtige Systeme des Menschen (z. B. Energie, Landwirtschaft und Landnutzung, Wirtschaft) mit physikalischen Prozessen, die mit dem Klimawandel verbunden sind (z. B. dem Kohlenstoffkreislauf). Die Modelle liefern Näherungswerte von kosteneffizienten Lösungen, welche die aggregierten wirtschaftlichen Kosten für das Erreichen von Minderungsniveaus minimieren, sofern die Berechnungen nicht anderweitig ausdrücklich auf bestimmte Parameter festgelegt werden. Es handelt sich um vereinfachte, stilisierte Darstellungen der in der wirklichen Welt stattfindenden, hochkomplexen Prozesse, und die daraus entstehenden Szenarien basieren auf ungewissen Projektionen für Schlüsselereignisse und Treiber über oft jahrhundertelange Zeiträume. Aufgrund der Vereinfachungen und unterschiedlichen Annahmen können sich Ergebnisse aus verschiedenen Modellen bzw. Versionen desselben Modells voneinander unterscheiden und Projektionen aus allen Modellen beträchtlich von der eintretenden Realität abweichen. [Box TS.7, 6.2]

<sup>15</sup> Minderungsszenarien, einschließlich jener, die im Jahr 2100 Konzentrationen von etwa 550 ppm CO<sub>2</sub>Äq oder mehr erreichen, können temporär über atmosphärische CO<sub>2</sub>Äq-Konzentrationsniveaus „hinausschießen“, bevor sie später auf niedrigere Niveaus sinken. Ein solches Konzentrationsüberschießen beinhaltet weniger Minderung in der nahen Zukunft und schnellere und umfangreichere Emissionsminderungen später. Konzentrationsüberschießen erhöht die Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung jedes gegebenen Temperaturziels. [6.3, Tabelle SPM.1]



**Abbildung SPM.4 |** Globale Treibhausgasemissionen (Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr) in Basis- und Minderungsszenarien für unterschiedliche, langfristige Konzentrationsniveaus (obere Tafel, Abb. 6.7) und damit verbundener notwendiger Ausbau kohlenstoffarmer Energie (in % der Primärenergie) für 2030, 2050 und 2100, verglichen mit den Niveaus für 2010 in Minderungsszenarien (untere Tafel, Abb. 7.16). In der unteren Tafel sind Szenarien mit begrenzter Technologie-Verfügbarkeit und exogener CO<sub>2</sub>-Preis-Entwicklung ausgeschlossen. Zu Definitionen von CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Emissionen und CO<sub>2</sub>-Äquivalente-Konzentrationen siehe Glossar.

globale THG-Emissionen im Jahr 2050 als 2010 gekennzeichnet, global 40 % bis 70 % geringer<sup>16</sup>, und durch einen Emissionsausstoß nahe null Gt CO<sub>2</sub>Äq oder darunter im Jahr 2100. In Szenarien, die bis zum Jahr 2100 zu etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq gelangen, sind die Emissionsniveaus 2050 global um 25 % bis 55 % niedriger als im Jahr 2010. In Szenarien, die etwa 550 ppm CO<sub>2</sub>Äq erreichen, liegen die Emissionen im Jahr 2050 global zwischen 5 % über und 45 % unter dem Niveau von 2010 (Tabelle SPM.1). Auf globaler Ebene sind die Szenarien, die etwa 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq erreichen, auch

<sup>16</sup> Diese Bandbreite unterscheidet sich von der für eine vergleichbare Konzentrationskategorie im AR4 angegebenen (50 % bis 85 % geringer als im Jahr 2000 für CO<sub>2</sub> allein). Gründe für diese Differenz sind unter anderem, dass für diesen Bericht wesentlich mehr Szenarien analysiert wurden als für den AR4 und dass sämtliche THG eingeschlossen wurden. Darüber hinaus beinhaltet ein großer Teil der neuen Szenarien Technologien zur Entfernung von Kohlendioxid (Carbon Dioxide Removal, CDR) (siehe unten). 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.



durch schnellere Verbesserungen der Energieeffizienz und durch eine Verdreifachung bis annähernd Vervielfachung des Anteils kohlenstofffreier und kohlenstoffarmer Energieversorgung durch Erneuerbare Energien, Atomenergie und fossile Energie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (*Carbon Dioxide Capture and Storage, CCS*) bzw. Bioenergie mit CCS (*Bioenergy with CCS, BECCS*) bis zum Jahr 2050 (Abbildung SPM.4, untere Tafel) gekennzeichnet. 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. Sämtliche Änderungen von Emissionen, Energie und Landnutzung variieren regional.<sup>17</sup> Szenarien, die zu höheren Konzentrationen gelangen, beinhalten vergleichbare Änderungen, jedoch über einen größeren Zeitraum hinweg. Umgekehrt erfordern Szenarien, die zu niedrigeren Konzentrationen gelangen, diese Änderungen innerhalb kürzerer Zeit. [6.3, 7.11]

**Minderungsszenarien, die ca. 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 erreichen, beinhalten typischerweise ein temporäres Überschreiten der atmosphärischen Konzentration, ebenso wie viele Szenarien, die etwa 500 ppm bis etwa 550 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 erreichen. Abhängig vom Grad der Überschreitung stützen sich Überschreitungsszenarien typischerweise auf die Verfügbarkeit und den verbreiteten Einsatz von BECCS und Aufforstung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts. Ob und in welchem Umfang diese und andere CDR-Technologien (Entfernung von Kohlendioxid) und -Methoden verfügbar sind, ist ungewiss, und CDR-Technologien und -Methoden sind in unterschiedlichem Maß mit Herausforderungen und Risiken verbunden (hohes Vertrauen)** (siehe Abschnitt SPM.4.2)<sup>18</sup>. CDR ist auch in vielen Szenarien ohne Überschreitung verbreitet, um verbleibende Emissionen aus Sektoren zu kompensieren, in denen Minderung teurer ist. Es besteht Unsicherheit über das Potenzial von BECCS in großem Maßstab, von großflächiger Aufforstung und sonstigen CDR-Technologien und -Methoden. [2.6, 6.3, 6.9.1, Abb. 6.7, 7.11, 11.13]

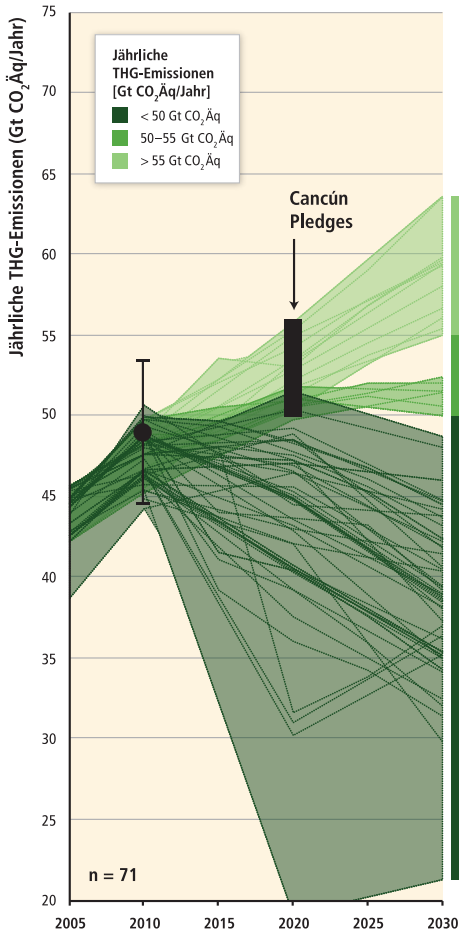
**Die geschätzten globalen Emissionsniveaus im Jahr 2020, basierend auf den Cancún-Pledges, stehen nicht im Einklang mit kosteneffizienten langfristigen Minderungspfaden, die die Temperaturänderung mindestens etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht auf 2 °C im Verhältnis zu vorindustriellen Niveaus begrenzen (Konzentrationen im Jahr 2100 von ca. 450 bis ca. 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq), sie schließen jedoch die Möglichkeit, dieses Ziel zu erreichen, nicht aus (hohes Vertrauen).** Um dieses Ziel zu erreichen, wären weitere beträchtliche Verringerungen über 2020 hinaus erforderlich. Die Cancún Pledges sind annähernd vereinbar mit kosteneffizienten Szenarien, die die Temperaturänderung *wahrscheinlich* unterhalb von 3 °C im Verhältnis zu vorindustriellen Niveaus halten. [6.4, 13.13, Abbildung TS.11]

**Schätzungen zufolge erschwert ein Aufschub von Minderungsbemühungen, die über die heute bestehenden hinausgehen, bis nach 2030 den Übergang auf niedrige langfristige Emissionsniveaus und engt die Bandbreite an Möglichkeiten ein, die mit einer Temperaturänderung unter 2 °C gegenüber vorindustriellen Niveaus vereinbar sind (hohes Vertrauen).** Kosteneffiziente Minderungsszenarien, die es mindestens *etwa ebenso so wahrscheinlich wie nicht* erscheinen lassen, dass eine Temperaturänderung unterhalb von 2 °C gegenüber vorindustriellen Niveaus bleibt (Konzentrationen im Jahr 2100 von ca. 450 bis ca. 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq) zeichnen sich typischerweise durch jährliche THG-Emissionen im Jahr 2030 aus, die ungefähr zwischen 30 Gt CO<sub>2</sub>Äq und 50 Gt CO<sub>2</sub>Äq (Abbildung SPM.5, linke Tafel) liegen. Szenarien mit jährlichen THG-Emissionen über 55 Gt CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2030 sind durch erheblich stärkere Emissionsminderung zwischen 2030 und 2050 gekennzeichnet (Abbildung SPM.5, mittlere Tafel), einen wesentlich schnelleren Ausbau kohlenstoffarmer Energie in diesem Zeitraum (Abbildung SPM.5, rechte Tafel), eine langfristig größere Abhängigkeit von CDR-Technologien sowie kurz- und langfristig größere wirtschaftliche Auswirkungen (Tabelle SPM.2, orangefarbener Teil). Aufgrund dieser gesteigerten Minderungsanforderungen konnten viele Modelle mit jährlichen THG-Emissionen von über 55 Gt CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2030 keine Szenarien berechnen, die atmosphärische Konzentrationsniveaus erreichen, die es *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* erscheinen lassen, dass die Temperaturänderung im Verhältnis zu vorindustriellen Niveaus unterhalb von 2 °C bleibt. [6.4, 7.11, Abbildungen TS.11, TS.13]

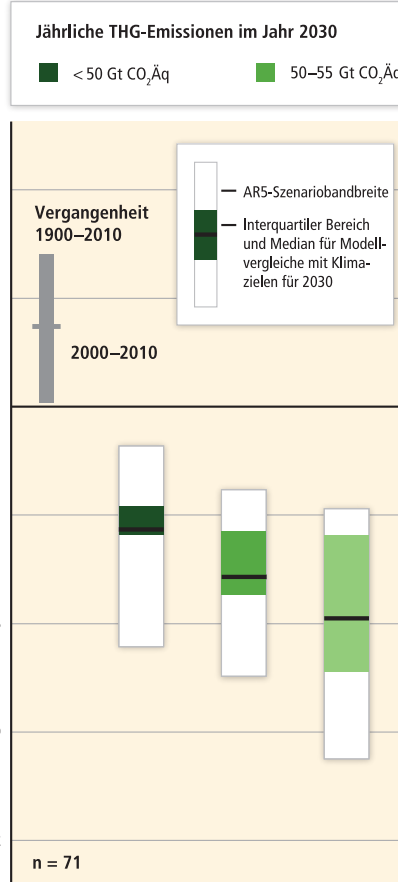
<sup>17</sup> Auf nationaler Ebene werden Veränderungen dann als besonders wirksam angesehen, wenn sie landesweite und lokale Visionen und Ansätze zum Erreichen nachhaltiger Entwicklung entsprechend der nationalen Gegebenheiten und Prioritäten reflektieren. [6.4, 11.8.4, WGII AR5 SPM]

<sup>18</sup> Arbeitsgruppe I zufolge ist das Potenzial der CDR-Methoden auf globaler Ebene biogeochemisch und technologisch begrenzt. Das bestehende Wissen reicht nicht aus, um zu quantifizieren, in welchem Umfang CO<sub>2</sub>-Emissionen im Laufe eines Jahrhunderts durch CDR teilweise kompensiert werden können. CDR-Methoden haben Nebenwirkungen und langfristige Konsequenzen auf globaler Ebene. [WGI AR5 SPM.E.8]

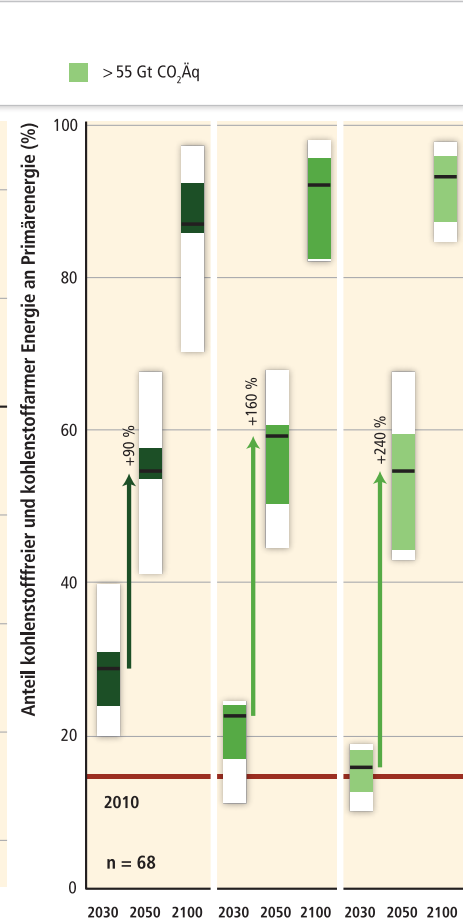
THG-Emissionspfade bis 2030



Auswirkungen unterschiedlicher THG-Emissionsniveaus in 2030 auf die jährliche durchschnittliche CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungsrate von 2030–2050



Auswirkungen unterschiedlicher THG-Emissionsniveaus in 2030 auf den Ausbau kohlenstoffarmer Energie



WGIII  
SPM

**Abbildung SPM.5** | Die Auswirkungen unterschiedlicher THG-Emissionsniveaus im Jahr 2030 (linke Tafel) auf die Geschwindigkeit der CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen von 2030 bis 2050 (mittlere Tafel) und den Ausbau kohlenstoffarmer Energie zwischen 2030 und 2050 bzw. 2100 (rechte Tafel) in Minderungsszenarien mit 450 bis etwa 500 (430–530) ppm CO<sub>2</sub>-Konzentrationen 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 (Gt CO<sub>2</sub>Äq/Jahr), die zu diesen Niveaus im Jahr 2030 führen. 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 zwischen 1900 und 2010 (fortlaufend über einen Zeitraum von 20 Jahren) und die durchschnittliche jährliche Rate der Emissionsänderungen zwischen 2000 und 2010 sind in grau eingezeichnet. 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, uneingeschränkte Portfolio an Minderungstechnologien der zugrundeliegenden Modelle (Standard-Technologieannahme) einsetzen. Ausgenommen sind Szenarien mit hohen negativen globalen Nettoemissionen (> 20 Gt CO<sub>2</sub>/Jahr), Szenarien mit der Annahme eines exogenen CO<sub>2</sub>-Preises sowie Szenarien mit Emissionen für 2010, die signifikant außerhalb der historischen Bandbreite liegen. Die rechte Tafel zeigt lediglich 68 Szenarien, da für drei der 71 in der Abbildung dargestellten Szenarien einige Unterkategorien für Primärenergie nicht ausgewiesen sind, die für die Berechnung des Anteils kohlenstofffreier und -armer Energie erforderlich sind. [Abbildungen 6.32, 7.16; 13.13.1.3]

**Tabelle SPM.2** Globale Minderungskosten in kosteneffizienten Szenarien<sup>1</sup> und geschätzte Kostensteigerungen aufgrund der Annahme begrenzter Verfügbarkeit spezifischer Technologien und verzögerter zusätzlicher Minderung. Die in dieser Tabelle dargestellten Kostenschätzungen berücksichtigen weder die Vorteile einer verringerten Klimaänderung noch positive und negative Nebeneffekte von Minderung. Die gelben Spalten zeigen Konsumverluste in den Jahren 2030, 2050 und 2100 sowie den aufs Jahr umgerechneten Rückgang des Konsumwachstums im Laufe des Jahrhunderts in kosteneffizienten Szenarien im Verhältnis zu einer Referenzentwicklung ohne klimapolitische Strategien. Die grau gefärbten Spalten zeigen den prozentualen Anstieg der diskontierten Kosten<sup>2</sup> über das Jahrhundert – im Verhältnis zu kosteneffizienten Szenarien – in Szenarien, in denen die Verfügbarkeit einzelner Technologien gegenüber der jeweiligen Standard-Technologie-Annahme<sup>3</sup> eingeschränkt ist. Die orange gefärbten Spalten zeigen den Anstieg von Minderungskosten in den Zeiträumen 2030–2050 und 2050–2100 – im Verhältnis zu Szenarien mit sofortiger Minderung – aufgrund von verzögerter zusätzlicher Minderung bis 2030<sup>4</sup>. Diese Szenarien mit verzögerter zusätzlicher Minderung sind nach Emissionsniveaus von weniger bzw. mehr als 55 Gt CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2030 und zwei Konzentrationsbereichen im Jahr 2100 gruppiert (430–530 ppm CO<sub>2</sub>Äq und 530–650 ppm CO<sub>2</sub>Äq). Für alle Zahlenangaben ist der Median des verwendeten Szenariensatzes ohne Klammern angegeben, in Klammern steht der Bereich vom 16. bis zum 84. Perzentil des Szenariensatzes, und die Anzahl der Szenarien in einem Satz ist in eckigen Klammern gezeigt.<sup>5</sup> [Abbildungen TS.12, TS.13, 6.21, 6.24, 6.25, Anhang II.10]

Konzentration im Jahr 2100 (ppm CO <sub>2</sub> Äq)	Konsumverluste in kosteneffizienten Szenarien <sup>1</sup>				Anstieg der gesamten diskontierten Minderungskosten in Szenarien mit begrenzter Technologie-Verfügbarkeit				Anstieg der mittel- und langfristigen Minderungskosten aufgrund verzögerter zusätzlicher Minderung bis zum Jahr 2030			
	(Konsumrückgang gegenüber dem Basisszenario in %)			(Verringerung der jährlichen Konsumwachstumsrate in %)	(Anstieg der gesamten diskontierten Minderungskosten (2015–2100) im Verhältnis zu Standard-Technologie-Annahmen in %)				(Anstieg der Minderungskosten im Verhältnis zu einer sofortigen Minderung in %)			
	2030	2050	2100	2010–2100	Kein CCS	Atomausstieg	Begrenzte Solar-/Windenergie	Begrenzte Bioenergie	≤ 55 Gt CO <sub>2</sub> Äq		> 55 Gt CO <sub>2</sub> Äq	
									2030–2050	2050–2100	2030–2050	2050–2100
<b>450 (430–480)</b>	1,7 (1,0–3,7) [N: 14]	3,4 (2,1–6,2)	4,8 (2,9–11,4)	0,06 (0,04–0,14)	138 (29–297) [N: 4]	7 (4–18) [N: 8]	6 (2–29) [N: 8]	64 (44–78) [N: 8]	28 (14–50) [N: 34]	15 (5–59)	44 (2–78) [N: 29]	37 (16–82)
<b>500 (480–530)</b>	1,7 (0,6–2,1) [N: 32]	2,7 (1,5–4,2)	4,7 (2,4–10,6)	0,06 (0,03–0,13)	N/A	N/A	N/A	N/A				
<b>550 (530–580)</b>	0,6 (0,2–1,3) [N: 46]	1,7 (1,2–3,3)	3,8 (1,2–7,3)	0,04 (0,01–0,09)	39 (18–78) [N: 11]	13 (2–23) [N: 10]	8 (5–15) [N: 10]	18 (4–66) [N: 12]				
<b>580–650</b>	0,3 (0–0,9) [N: 16]	1,3 (0,5–2,0)	2,3 (1,2–4,4)	0,03 (0,01–0,05)	N/A	N/A	N/A	N/A	3 (-5–16) [N: 14]	4 (-4–11)	15 (3–32) [N: 10]	16 (5–24)

<sup>1</sup> Kosteneffiziente Szenarien gehen von einer sofortigen Minderung in allen Ländern sowie von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis aus, und sie sehen keine zusätzlichen Technologie-Einschränkungen im Verhältnis zu den Standard-Technologie-Annahmen der Modelle vor.

<sup>2</sup> Prozentualer Anstieg des Netto-Barwertes von Konsumverlusten in Prozent des Referenzkonsums (für Szenarien aus Allgemeinen Gleichgewichtsmodellen) sowie Vermeidungskosten in Prozent des globalen Referenz-BIP (für Szenarien aus Partialgleichgewichtsmodellen) für den Zeitraum 2015–2100, diskontiert mit 5 % pro Jahr.

<sup>3</sup> Kein CCS: CCS ist in diesen Szenarien nicht enthalten. Atomausstieg: Keine zusätzlichen Atomanlagen über im Bau befindliche 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 [11.13.5]).

<sup>4</sup> Prozentualer Anstieg der gesamten Minderungskosten ohne Diskontierung für die Zeiträume 2030–2050 und 2050–2100.

<sup>5</sup> Die Bandbreite wird durch die zentralen Szenarien zwischen dem 16. und 84. Perzentil des Szenariensatzes bestimmt. Es werden 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 mit Annahmen über eine begrenzte Verfügbarkeit an Technologien und/oder verzögerte zusätzliche Minderung keine Szenarien für Konzentrationsniveaus unterhalb von 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq im Jahr 2100 hervorbringen.



Schätzungen der aggregierten wirtschaftlichen Minderungskosten fallen unterschiedlich aus und hängen stark von Modellgestaltung und Annahmen sowie der Spezifizierung von Szenarien ab, einschließlich der Charakterisierung von Technologien und des Zeitpunkts der Minderungsmaßnahmen (*hohes Vertrauen*). Szenarien, in denen alle Länder der Erde sofort mit der 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 (Tabelle SPM.2, gelbe Segmente). Unter diesen Annahmen führen Minderungsszenarien, die atmosphärische Konzentrationen von ca. 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 erreichen, zu globalen Konsumverlusten – die Vorteile eines geminderten Klimawandels sowie positive und negative Nebeneffekte einer Minderung nicht eingeschlossen<sup>19</sup> – 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, der im Laufe des Jahrhunderts um 300 % bis hin zu 900 % steigt. Diese Zahlen entsprechen einer jährlichen Verringerung der Konsumsteigerung um 0,04 bis 0,14 (Median: 0,06) Prozentpunkte im Laufe des Jahrhunderts im Vergleich zum Referenzwert der jährlichen Konsumsteigerung zwischen 1,6 % und 3 % pro Jahr. Schätzungen am oberen Ende dieser Kostenbandbreiten stammen aus Modellen, die vergleichsweise unflexibel beim Erreichen der langfristig für diese Ziele erforderlichen einschneidenden Emissionsminderungen sind und/oder Annahmen über Marktverzerrungen beinhalten, die zu Kostensteigerungen führen würden. Bei Fehlen oder begrenzter Verfügbarkeit von Technologien können sich die Minderungskosten abhängig von der betrachteten Technologie wesentlich erhöhen (Tabelle SPM.2, grau gefärbtes Segment). Eine Verzögerung zusätzlicher Minderung hat mittel- bis langfristig einen Anstieg der Minderungskosten zur Folge (Tabelle SPM.2, orangefarbenes Segment). Viele Modelle konnten atmosphärische Konzentrationsniveaus von ca. 450 ppm CO<sub>2</sub>Äq bis zum Jahr 2100 nicht erreichen, wenn zusätzliche Minderung erheblich verzögert wird oder Schlüsseltechnologien wie Bioenergie, CCS und deren Kombination (BECCS) nur begrenzt verfügbar sind. [6.3]

**Lediglich eine begrenzte Anzahl von Studien hat Szenarien untersucht, die es eher wahrscheinlich als nicht erscheinen lassen, die Temperaturänderung bis 2100 auf unter 1,5 °C im Verhältnis zum vorindustriellen Niveau zurückzubringen; diese Szenarien bringen atmosphärische Konzentrationen bis zum Jahr 2100 auf unter 430 ppm CO<sub>2</sub>Äq (*hohes Vertrauen*).** Eine Bewertung dieses Ziels ist derzeit schwierig, da diese Szenarien nicht in Multimodellstudien untersucht wurden. Szenarien, die mit der begrenzten Zahl veröffentlichter Studien über dieses Ziel in Zusammenhang stehen, sind gekennzeichnet durch (1) sofortige Minderungsmaßnahmen; (2) den schnellen Ausbau des vollen Portfolios an Minderungstechnologien; und (3) eine Entwicklung mit niedrigem Energiebedarf.<sup>20</sup> [6.3, 7.11]

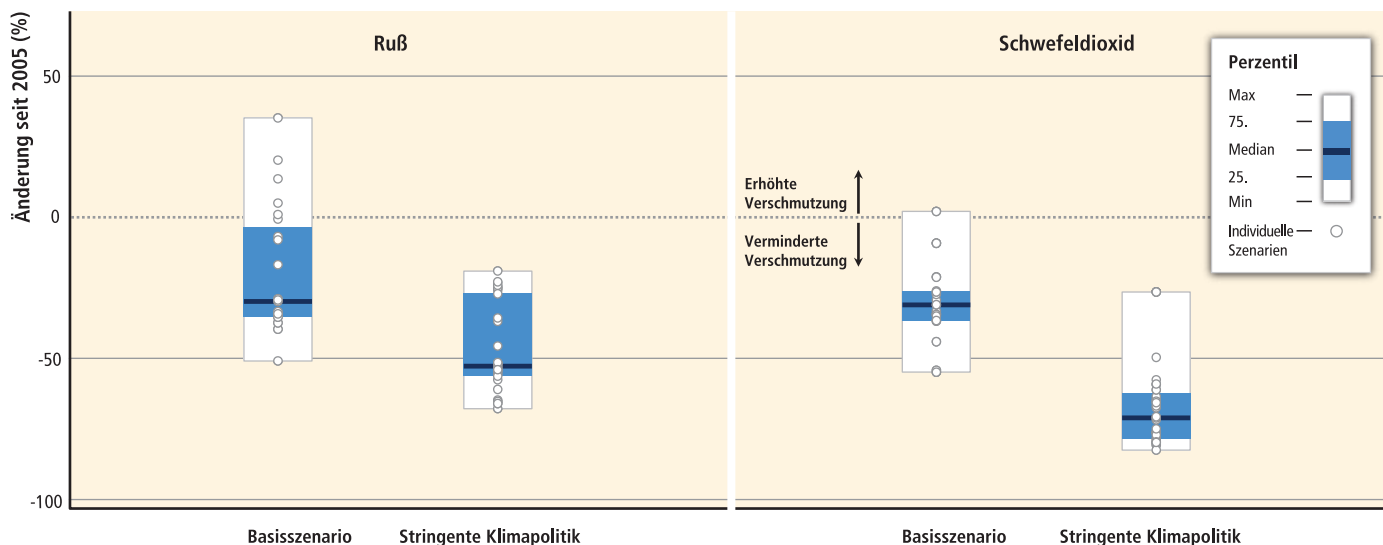
**Minderungsszenarien, die bis zum Jahr 2100 etwa 450 bis etwa 500 ppm CO<sub>2</sub>Äq erreichen, weisen reduzierte Kosten für das Erreichen von Luftreinheits- und Energiesicherheitszielen auf, mit signifikanten positiven Nebeneffekten in Bezug auf Gesundheit, Auswirkungen auf Ökosysteme sowie Ressourcenschonung und Resilienz des Energiesystems; in diesen Szenarien sind sonstige positive bzw. negative Nebeneffekte nicht quantifiziert (*mittleres Vertrauen*).** Diese Minderungsszenarien zeigen Verbesserungen im Hinblick auf ausreichende Ressourcenverfügbarkeit zur Abdeckung des nationalen Energiebedarfs sowie die Resilienz der Energieversorgung, sodass Energiesysteme entstehen, die weniger anfällig gegenüber Preisschwankungen und Versorgungsunterbrechungen sind. Die Vorteile verringerter Auswirkungen auf Gesundheit und auf Ökosysteme durch beträchtliche Senkungen des Ausstoßes von luftverschmutzenden Schadstoffen (Abbildung SPM.6) sind insbesondere dort hoch, wo derzeit gesetzliche und geplante Schadstoffkontrollen nur in geringem Umfang vorhanden sind. Außer Luftreinheit und Energiesicherung gibt es eine Vielzahl positiver und negativer Nebeneffekte für weitere Ziele. Insgesamt übertrifft das Potenzial für positive Nebeneffekte von Maßnahmen, die die Energieendnutzung betreffen, das Potenzial für negative Nebeneffekte, wobei Belege darauf hindeuten, dass dies möglicherweise nicht für alle Energieversorgungs- und AFOLU-Maßnahmen zutrifft. [WGIII 4.8, 5.7, 6.3.6, 6.6, 7.9, 8.7, 9.7, 10.8, 11.7, 11.13.6, 12.8, Abbildung TS.14, Tabelle 6.7, Tabellen TS.3–TS.7; WGIII 11.9]

<sup>19</sup> Die vollständigen wirtschaftlichen Auswirkungen bei unterschiedlichen Temperaturniveaus würden Klimaschutzkosten, positive und negative Nebeneffekte der Minderung, Anpassungskosten und Klimaschäden beinhalten. Schätzungen der Kosten von Minderung und von Klimaschäden für ein gegebenes Temperaturniveau können nicht miteinander verglichen werden, um Kosten und Nutzen der Minderung zu bewerten. Vielmehr sollte die Abwägung von wirtschaftlichen Kosten und Nutzen von Minderung die Verringerung von Klimaschäden im Vergleich zu einer unverminderten Klimaänderung beinhalten.

<sup>20</sup> In diesen Szenarien liegen die kumulativen CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen 680 und 800 Gt CO<sub>2</sub> für den Zeitraum 2011–2050 und zwischen 90 und 310 Gt CO<sub>2</sub> für den Zeitraum 2011–2100. Die globalen CO<sub>2</sub>Äq-Emissionen liegen im Jahr 2050 70 bis 95 % unter den Emissionen von 2010 und im Jahr 2100 110 bis 120 % unter den Emissionen von 2010.

## Positive Nebeneffekte für die Luftqualität durch Minderung des Klimawandels

Auswirkungen einer stringenten Klimapolitik auf Luftschadstoffemissionen (Global, 2005–2050)



**Abbildung SPM.6** | Emissionsniveaus für die Luftschadstoffe Ruß und Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) 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 ca. 450 bis ca. 500 (430–530) ppm  $\text{CO}_2$ -Äq-Konzentrationen bis zum Jahr 2100 vereinbar sind. [Abbildung 6.33]

Es existiert eine große Bandbreite an möglichen negativen wie positiven Nebeneffekten und Ausstrahlungseffekten klimapolitischer Strategien, die noch nicht genau quantifiziert wurden (*hohes Vertrauen*). Ob Nebeneffekte auftreten oder nicht, und in welchem Ausmaß, wird fall- und ortsspezifisch sein, da sie von den Umständen vor Ort sowie von Maßstab, Umfang und der Geschwindigkeit der Implementierung abhängen. Wichtige Beispiele sind u. a. die Erhaltung der Biodiversität, Wasserverfügbarkeit, Ernährungssicherung, Einkommensverteilung, Effizienz des Steuersystems, Arbeitsplätze und Beschäftigung, Zersiedelung sowie die Nachhaltigkeit des Wachstums von Entwicklungsländern. [Box TS.11]

Minderungsbemühungen und damit verbundene Kosten sind in Minderungsszenarien je nach Land unterschiedlich. Die Kostenverteilung auf die Länder 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 untersuchten, schätzten erhebliche globale Finanzströme im Zusammenhang mit Minderung für Szenarien, die zu atmosphärischen Konzentrationen von ca. 450 bis ca. 550 ppm  $\text{CO}_2$ -Äq im Jahr 2100 führen. [Box 3.5, 4.6, 6.3.6, Tabelle 6.4, Abbildungen 6.9, 6.27, 6.28 und 6.29, 13.4.2.4]

Minderungsmaßnahmen könnten Vermögenswerte im Bereich fossiler Brennstoffe abwerten und die 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 (*hohes Vertrauen*). Die Auswirkungen von Minderung auf Erträge aus dem Erdgasexport sind unsicherer, wobei einige Studien mittelfristig bis ca. 2050 mögliche Gewinne für die Exporterträge aufzeigen (*mittleres Vertrauen*). Die Verfügbarkeit von CCS würde die negative Auswirkung von Minderung auf den Wert von fossilen Brennstoffvorräten verringern (*mittleres Vertrauen*). [6.3.6, 6.6, 14.4.2]

## SPM.4.2 Sektorspezifische und sektorenübergreifende Minderungspfade und -maßnahmen

### SPM.4.2.1 Sektorenübergreifende Minderungspfade und -maßnahmen

Basisszenarien projizieren einen Anstieg der THG-Emissionen für alle Wirtschaftszweige, mit Ausnahme der Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen im AFOLU-Bereich<sup>21</sup> (*belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung*). Emissionen aus dem Energieversorgungssektor werden voraussichtlich weiterhin die Hauptquelle von THG-Emissionen, und letztendlich für den signifikanten Anstieg indirekter Emissionen aus der Elektrizitätsnutzung in den Bereichen Gebäude und Industrie verantwortlich sein. Während in Basisszenarien zwar ein Anstieg der landwirtschaftlichen Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase projiziert wird, gehen die Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem AFOLU-Bereich im Laufe der Zeit zurück, wobei ihn einige Modelle als eine Nettosenke gegen Ende des Jahrhunderts projizieren (Abbildung SPM.7).<sup>22</sup> [6.3.1.4, 6.8, Abbildung TS.15]

Infrastrukturentwicklungen und langlebige Produkte, die Gesellschaften auf THG-intensive Emissionspfade festlegen, können nur schwer oder unter hohen Kosten zu ändern sein, was die Bedeutung frühzeitiger Maßnahmen für eine ambitionierte Minderung bekräftigt (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Dieses Risiko eines sogenannten Lock-In-Effekts wird durch die Lebensdauer der Infrastruktur, den Unterschied an den mit Alternativen verbundenen Emissionen und die Höhe der Investitionskosten verstärkt. Daher ist der auf Infrastruktur und Raumplanung bezogene Lock-In-Effekt am schwierigsten zu verringern. Jedoch können Materialien, Produkte und Infrastrukturen mit langer Lebensdauer und geringen Lebenszyklusemissionen einen Übergang zu Niedrigemissionspfaden erleichtern und zugleich Emissionen durch einen niedrigeren Materialverbrauch verringern. [5.6.3, 6.3.6.4, 9.4, 10.4, 12.3, 12.4]

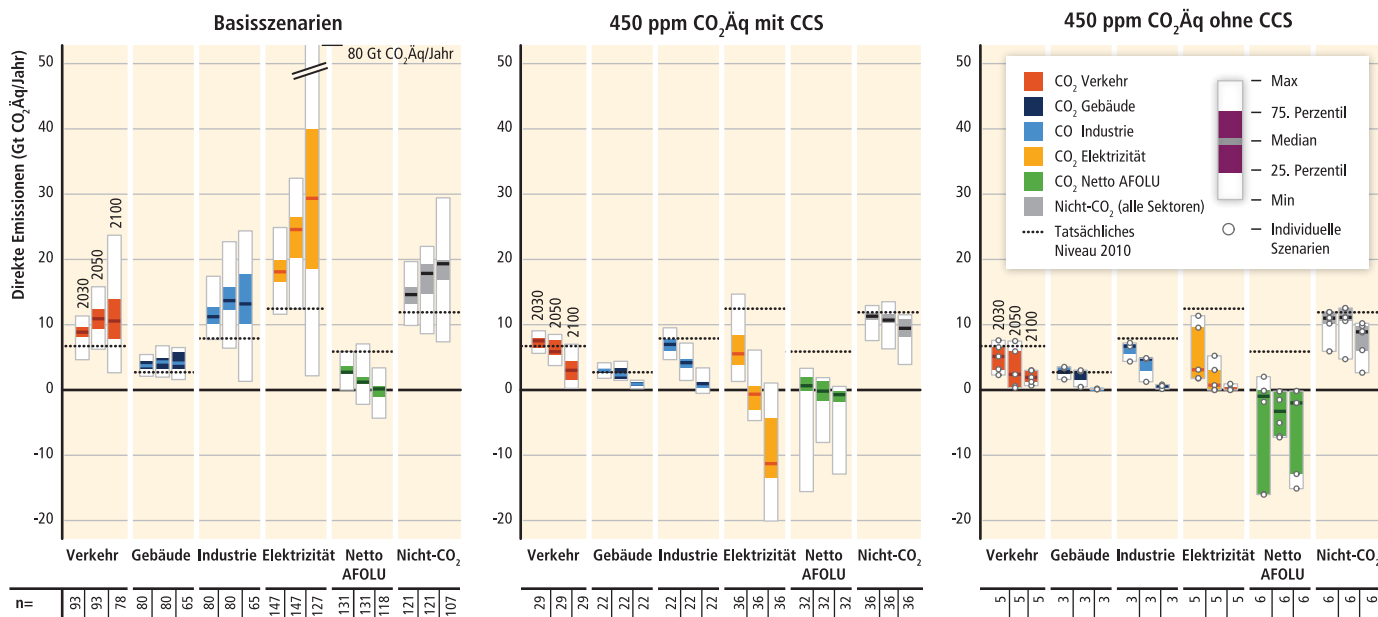
In Minderungsszenarien bestehen starke Wechselbeziehungen zwischen der Geschwindigkeit der Einführung von Minderungsmaßnahmen in der Energieversorgung und -endnutzung und den Entwicklungen im AFOLU-Bereich (*hohes Vertrauen*). Die Verteilung der Minderungsbemühungen auf die Wirtschaftszweige wird stark von der Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit von BECCS sowie einer umfassenden Aufforstung beeinflusst (Abbildung SPM.7). Dies gilt insbesondere für Szenarien, die bis zum Jahr 2100 CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentrationen von ca. 450 ppm erreichen. Gut durchdachte systemische und sektorenübergreifende Minderungsstrategien sind für die Reduktion von Emissionen kosteneffizienter als ein Fokus auf individuelle Technologien und Sektoren. Auf der Ebene der Energiesysteme gehören dazu Verringerungen der THG-Emissionsintensität des Energieversorgungssektors, ein Wechsel zu kohlenstoffarmen Energieträgern (einschließlich kohlenstoffarmer Elektrizität) sowie Verringerungen der Energienachfrage in den Endverbrauchssektoren ohne dabei die Entwicklung zu gefährden (Abbildung SPM.8). [6.3.5, 6.4, 6.8, 7.11, Tabelle TS.2]

Minderungsszenarien, die bis zum Jahr 2100 ca. 450 ppm CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentrationen erreichen, weisen umfangreiche globale Änderungen im Energieversorgungssektor auf (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Diese ausgewählten Szenarien projizieren einen Rückgang der globalen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieversorgungssektor im Laufe der nächsten Jahrzehnte und zeichnen sich durch Verringerungen um 90 % oder mehr unter das Niveau von 2010 zwischen 2040 und 2070 aus. In vielen dieser Szenarien wird ein Rückgang der Emissionen nach diesem Zeitraum auf unter Null projiziert. [6.3.4, 6.8, 7.1, 7.11]

<sup>21</sup> AFOLU netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen beinhalten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem und CO<sub>2</sub>-Aufnahmen im AFOLU-Bereich, einschließlich forstbewirtschafteter Flächen und, in einigen Untersuchungen, CO<sub>2</sub>-Senken in landwirtschaftlichen Böden.

<sup>22</sup> Der Großteil der von WGI bewerteten Erdsystemmodelle projiziert eine anhaltende Kohlenstoffaufnahme durch Landflächen in allen RCP bis zum Jahr 2100, jedoch simulieren einige Modelle einen Kohlenstoffverlust aus Landflächen aufgrund des kombinierten Effektes von Klimaänderung und Landnutzungsänderung. [WGI AR5 SPM.E.7, WGI 6.4]

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



**Abbildung SPM.7** | Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Wirtschaftssektor und gesamte Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgasemissionen (Kyoto-Gase) über alle Sektoren hinweg in Basis- (linke Tafel) und Minderungsszenarien, die etwa 450 (430–480) ppm CO<sub>2</sub>Äq mit CCS (mittlere Tafel) und ohne CCS (rechte Tafel) erreichen. 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 ca. 450 ppm bis zum Jahr 2100 nicht erreichen können, was zu einer geringen Anzahl von Szenarien für die rechte Tafel führt [Abbildungen 6.34 und 6.35].

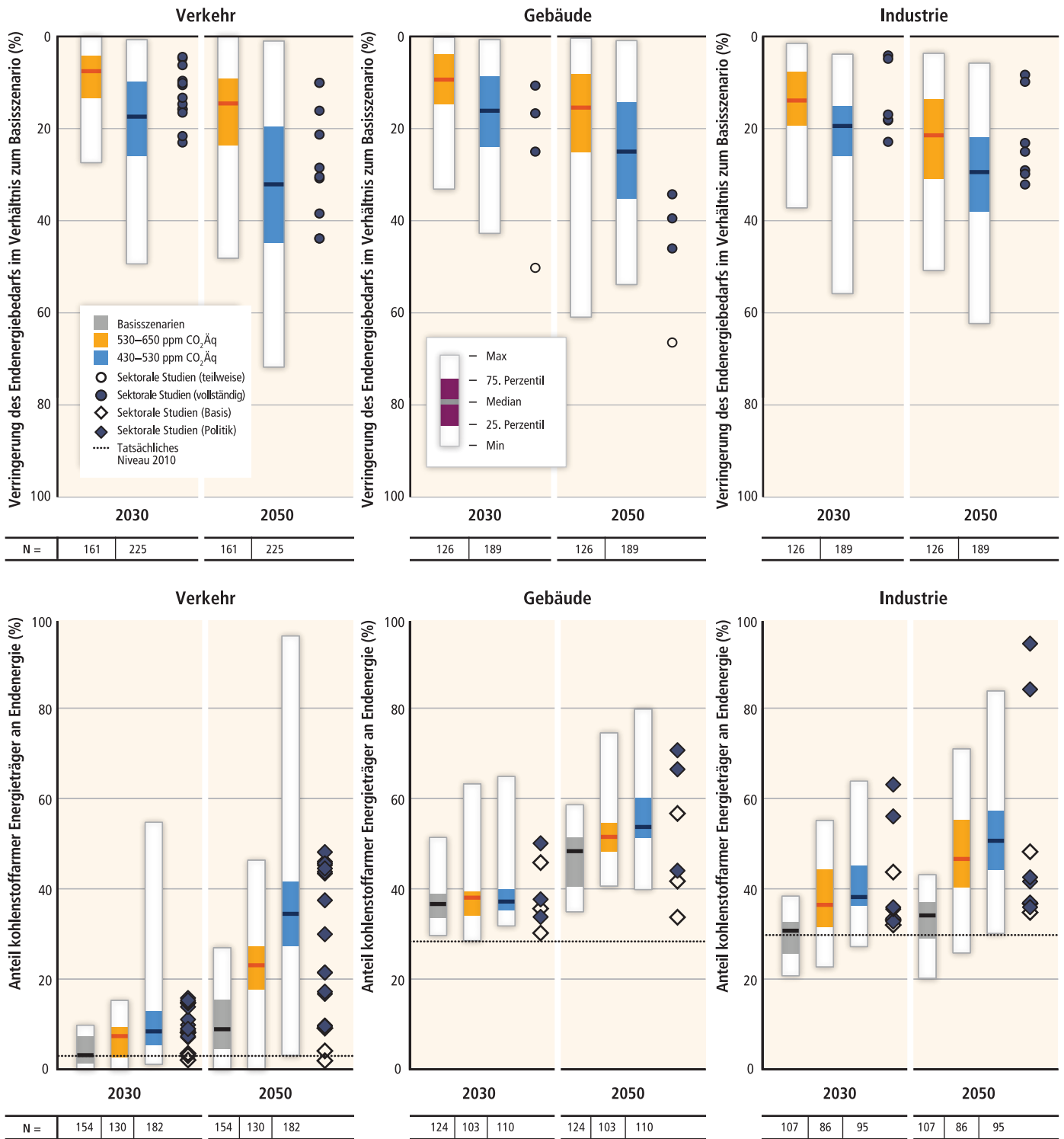
**Effizienzsteigerungen und Verhaltensänderungen, die den Energiebedarf gegenüber Basisszenarien verringern, ohne die Entwicklung einzuschränken, sind eine entscheidende Minderungsstrategie in Szenarien, die atmosphärische CO<sub>2</sub>Äq-Konzentrationen von ca. 450 bis ca. 500 ppm bis zum Jahr 2100 erreichen (belastbare Belege, hohe Übereinstimmung).** Kurzfristige Verringerungen des Energiebedarfs stellen ein wichtiges Element kosteneffizienter Minderungsstrategien dar, erlauben eine größere Flexibilität bei Maßnahmen zur Verringerung der Kohlenstoffintensität im Energieversorgungssektor, bieten eine Absicherung gegen damit einhergehende Versorgungsrisiken, vermeiden einen Lock-In-Effekt in kohlenstoffintensive Infrastrukturen und sind mit bedeutenden positiven Nebeneffekten verbunden. Sowohl integrierte als auch sektorspezifische Studien gelangen zu vergleichbaren Schätzungen über Rückgänge im Energiebedarf in den Wirtschaftszweigen Verkehr, Gebäude und Industrie für 2030 und 2050 (Abbildung SPM.8). [6.3.4, 6.6, 6.8, 7.11, 8.9, 9.8, 10.10]

**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<sup>23</sup> (mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung).** Emissionen können durch Änderungen in 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. [6.8, 7.9, 8.3.5, 8.9, 9.2, 9.3, 9.10, Box 10.2, 10.4, 11.4, 12.4, 12.6, 12.7, 15.3, 15.5, Tabelle TS.2]

<sup>23</sup> Strukturwandel bezieht sich auf Systemtransformationen, in deren Zuge einige Komponenten entweder verdrängt oder potenziell durch andere ersetzt werden (siehe Glossar).



Verringerung des Endenergiebedarfs und Anteile kohlenstoffarmer Energieträger in Energie-Endverbrauchssektoren



WGIII  
SPM

**Abbildung SPM.8 |** Rückgang des Endenergiebedarfs im Verhältnis zum Basisszenario (obere Zeile) und anteilige Beiträge kohlenstoffarmer Energieträger zur Endenergie (untere Zeile) in den Wirtschaftszweigen Verkehr, Gebäude und Industrie bis 2030 und 2050 in Szenarien aus zwei unterschiedlichen CO<sub>2</sub>-Äq-Konzentrationskategorien, verglichen mit sektorspezifischen Studien, die in Kapitel 8–10 bewertet werden. Die in diesen Szenarien gezeigten Bedarfsrückgänge gefährden nicht die Entwicklung. Kohlenstoffarme Energieträger beinhalten Elektrizität, Wasserstoff und flüssige Biokraftstoffe im Verkehr, Elektrizität in Gebäuden sowie Elektrizität, Wärme, Wasserstoff und Bioenergie in der Industrie. Die Zahlen am unteren Rand der Grafiken beziehen sich auf die Anzahl von Szenarien, die innerhalb der Bandbreite liegen. Diese Anzahl variiert je nach Sektor und Zeit aufgrund unterschiedlichen Detailgrads der Beschreibung der Sektoren und der Zeithorizonte der Modelle. [Abbildungen 6.37 und 6.38]



## SPM.4.2.2

## Energieversorgung

In den im AR5 bewerteten Basisszenarien wird nahezu eine Verdoppelung oder sogar Verdreifachung der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieversorgungssektor bis 2050 projiziert, verglichen mit dem Niveau von 14,4 Gt CO<sub>2</sub>/Jahr im Jahr 2010, sofern Verbesserungen in der Energieintensität nicht signifikant gegenüber der bisherigen Entwicklung beschleunigt werden können (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Im letzten Jahrzehnt haben hauptsächlich der steigende Energiebedarf und ein Anstieg des Kohleanteils im globalen Brennstoffmix zu einem Anstieg der Emissionen beigetragen. Die Verfügbarkeit von fossilen Brennstoffen allein wird nicht ausreichen, um die CO<sub>2</sub>-Konzentration auf Niveaus wie 450 ppm, 550 ppm, oder 650 ppm zu begrenzen. (Abbildung SPM.7) [6.3.4, 7.2, 7.3, Abbildungen 6.15, TS.15]

Die Dekarbonisierung (d. h. die Verringerung der Kohlenstoffintensität) der Stromerzeugung ist ein wesentlicher Bestandteil kosteneffizienter Minderungsstrategien, um niedrige Stabilisierungsniveaus zu erreichen (430–530 ppm CO<sub>2</sub>-Äq); in den meisten Szenarien integrierter Modelle erfolgt die Dekarbonisierung der Stromerzeugung schneller als in den Sektoren Industrie, Gebäude und Verkehr (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*) (Abbildung SPM.7). In den meisten Niedrig-Stabilisierungsszenarien steigt der Anteil kohlenstoffarmer Stromversorgung (bestehend aus Erneuerbaren Energien (EE), Atomenergie und CCS) vom derzeitigen Anteil von etwa 30 % auf mehr als 80 % bis zum Jahr 2050, und der Ausstieg aus der Stromerzeugung mittels fossiler Brennstoffe ohne CCS ist bis zum Jahr 2100 nahezu vollzogen (Abbildung SPM.7). [6.8, 7.11, Abbildungen 7.14, TS.18]

Seit dem AR4 haben viele Technologien im Bereich Erneuerbare Energien beträchtliche Leistungsverbesserungen und Kostensenkungen gezeigt, und eine wachsende Anzahl von EE-Technologien hat einen Reifegrad erreicht, der ihren Einsatz in signifikantem Ausmaß ermöglicht (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Betrachtet man nur die Stromerzeugung, entfielen im Jahr 2012 knapp über die Hälfte der neuen Stromerzeugungskapazität, die weltweit hinzukam, auf EE, angeführt von einem Wachstum in den Bereichen Wind-, Wasser- und Sonnenenergie. Viele EE-Technologien benötigen jedoch immer noch direkte und/oder indirekte Unterstützung, wenn ihre Marktanteile signifikant erhöht werden sollen; politische Maßnahmen zu Erneuerbaren Energien haben erfolgreich zum jüngsten Wachstum des Bereiches Erneuerbare Energien beigetragen. Herausforderungen hinsichtlich der Integration von Erneuerbaren Energien in die Energiesysteme und die damit verbundenen Kosten unterscheiden sich je nach Technologie, regionalen Umständen und den Eigenschaften des bestehenden Hintergrund-Energiesystems (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). [7.5.3, 7.6.1, 7.8.2, 7.12, Tabelle 7.1]

Atomenergie ist eine ausgereifte Grundlaststromquelle mit geringen THG-Emissionen, ihr Anteil an der globalen Stromerzeugung ist jedoch zurückgegangen (seit 1993). Atomenergie könnte einen steigenden Beitrag zu einer kohlenstoffarmen Energieversorgung leisten, jedoch existieren zahlreiche Hemmnisse und Risiken (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Hierzu zählen: operationelle Risiken und die damit verbundenen Bedenken, Risiken im Uranabbau, finanzielle und regulatorische Risiken, ungelöste Abfallentsorgungsprobleme, Bedenken hinsichtlich einer Verbreitung von Atomwaffen, sowie eine ablehnende Haltung der Öffentlichkeit (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Neue Kraftstoffzyklen und Reaktortechnologien, die einigen dieser Probleme begegnen, werden zurzeit untersucht und es wurden Fortschritte in der Forschung und Entwicklung in Bezug auf Sicherheit und Abfallentsorgung erzielt. [7.5.4, 7.8, 7.9, 7.12, Abbildung TS.19]

THG-Emissionen aus der Energieversorgung können signifikant verringert werden, indem Kohlekraftwerke, die dem derzeitigen weltweiten Durchschnitt entsprechen, durch moderne, hocheffiziente Gas- und Dampfkombikraftwerke oder Heizkraftwerke ersetzt werden, vorausgesetzt, dass Erdgas verfügbar ist und die mit der Extraktion und Versorgung verbundenen flüchtigen Emissionen gering sind oder gemindert werden (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). In Minderungsszenarien, die bis zum Jahr 2100 etwa 450 ppm

CO<sub>2</sub>-Konzentrationen erreichen, dient die Erdgasstromerzeugung ohne CCS als Brückentechnologie, deren Einsatz steigt, bevor er einen Höchststand erreicht, bis zum Jahr 2050 unter das derzeitige Niveau fällt und in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts noch weiter zurückgeht (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). [7.5.1, 7.8, 7.9, 7.11, 7.12]

**Technologien zur Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CSS) könnten die Lebenszyklusemissionen von Treibhausgasen aus fossilen Brennstoffkraftwerken verringern** (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Obwohl alle Komponenten integrierter CCS-Systeme verfügbar sind und derzeit von der Industrie zur Förderung fossiler Brennstoffe und deren Raffination genutzt werden, wurde CCS noch nicht in großem Maßstab in einem großen, betriebsfähigen kommerziellen fossilen Brennstoffkraftwerk angewandt. CCS-Kraftwerke könnten auf dem Markt erscheinen, wenn Anreize dafür über Regulierung geschaffen würden und/oder sie mit ihren ungemindert emittierenden Kontrahenten wettbewerbsfähig würden, zum Beispiel dadurch, dass die zusätzlichen Investitions- und Betriebskosten, die in Teilen durch Effizienzverringerungen entstehen, durch ausreichend hohe Kohlenstoffpreise (oder direkte finanzielle Unterstützung) kompensiert werden. Für den großflächigen zukünftigen Einsatz von CCS sind eindeutig definierte Vorschriften im Hinblick auf die kurz- und langfristige Haftung für die Speicherung sowie wirtschaftliche Anreize erforderlich. Hemmnisse für einen großflächigen Einsatz von CCS-Technologien sind unter anderem Bedenken hinsichtlich der Betriebssicherheit und der langfristigen Unversehrtheit der CO<sub>2</sub>-Speicher sowie Transportrisiken. Es existiert jedoch immer mehr Literatur darüber, wie die Unversehrtheit von CO<sub>2</sub>-Lagerstätten sichergestellt werden kann, über mögliche Folgen eines durch die CO<sub>2</sub>-Speicherung verursachten Druckaufbaus innerhalb einer geologischen Formation (wie z. B. induzierte seismische Aktivität), sowie über die möglichen Auswirkungen von aus der primären Injektionszone entweichendem CO<sub>2</sub> auf die Gesundheit des Menschen und die Umwelt (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). [7.5.5., 7.8, 7.9, 7.11, 7.12, 11.13]

**Die Kombination von Bioenergie mit CCS (BECCS) bietet die Aussicht auf eine Energieversorgung mit hohen negativen Netto-Emissionen, welche eine bedeutende Rolle in vielen Niedrig-Stabilisierungsszenarien spielt, die jedoch gleichzeitig Herausforderungen und Risiken mit sich bringt** (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). Zu diesen Herausforderungen und Risiken zählen jene, die im Vorfeld mit der umfangreichen Bereitstellung der in der CCS-Anlage genutzten Biomasse verbunden sind sowie jene, die mit der CCS-Technologie selbst einhergehen. [7.5.5, 7.9, 11.13]

### SPM.4.2.3 Energieendverbrauchssektoren

#### Verkehr

**Auf den Verkehrssektor entfielen im Jahr 2010 27 % des Energieendverbrauchs und 6,7 Gt direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen, wobei projiziert wird, dass sich die Emissionen in den Basisszenarien bis 2050 annähernd verdoppeln werden** (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Dieser Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund eines wachsenden globalen Passagier- und Frachtaufkommens könnte zukünftige Minderungsmaßnahmen teilweise aufwiegen, darunter Verbesserungen der Kohlenstoffintensität von Kraftstoffen und der Energieintensität, Infrastrukturentwicklungen, Verhaltensänderungen und eine umfassende Implementierung politischer Maßnahmen (*hohes Vertrauen*). Insgesamt könnten bis zum Jahr 2050 Verringerungen der gesamten verkehrsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen um 15–40 % verglichen mit dem Anstieg in Basisszenarien erreicht werden (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). (Abbildung SPM.7) [6.8, 8.1, 8.2, 8.9, 8.10]

**Technische und verhaltensbezogene Minderungsmaßnahmen für alle Verkehrsarten, plus Investitionen in neue Infrastruktur und Stadterneuerung könnten den Endenergiebedarf im Jahr 2050 um etwa 40 % unter den Basiswert senken, wobei das Minderungspotenzial höher als im AR4 eingeschätzt wird** (*belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung*). Projizierte Verbesserungen der Energieeffizienz und der Fahrzeugleistung reichen von 30 % bis 50 % im Jahr 2030 gegenüber 2010, abhängig von der Verkehrsart und dem Fahrzeugtyp (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Integrierte Stadtplanung, transitorientierte Entwicklung und kompaktere Stadtformen, die das

Radfahren und Zufußgehen fördern, können sämtlich zu Verkehrsverlagerungen führen, ebenso wie – langfristig – Stadterneuerung und Investitionen in neue Infrastrukturen wie z. B. Hochgeschwindigkeits-Eisenbahnnetze, die den Bedarf an Kurzstreckenflügen verringern (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Solche Minderungsmaßnahmen sind anspruchsvoll, ihre Wirkungen können nicht genau vorausgesagt werden, und sie könnten die verkehrsbedingten THG-Emissionen im Jahr 2050 um 20–50 % gegenüber dem Basiswert verringern (*begrenzte Belege, geringe Übereinstimmung*). (Abbildung SPM.8 obere Tafel) [8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9, 12.4, 12.5]

**Strategien zur Verringerung der Kohlenstoffintensität von Kraftstoffen und die Geschwindigkeit, mit der die Kohlenstoffintensität verringert wird, werden durch Herausforderungen, die mit der Energiespeicherung und der relativ niedrigen Energiedichte von kohlenstoffarmen Kraftstoffen verbunden sind, beschränkt** (*mittleres Vertrauen*). Integrierte und sektorspezifische Studien stimmen weitgehend darin überein, dass kurzfristig Möglichkeiten für einen Wechsel zu kohlenstoffarmen Kraftstoffen bestehen und diese im Laufe der Zeit noch zunehmen. Der Anteil methanbasierter Kraftstoffe wächst bereits für Straßen- und Wasserfahrzeuge. Elektrizität aus kohlenstoffarmen Quellen bietet ein kurzfristiges Potenzial für Elektrobahnen, sowie ein kurz- bis mittelfristiges Potenzial für den Einsatz von Elektrobussen, leichten Nutzfahrzeugen und Zweirädern. Wasserstoffkraftstoffe aus kohlenstoffarmen Quellen stellen langfristige Optionen dar. Kommerziell verfügbare flüssige und gasförmige Biokraftstoffe sorgen bereits für positive Nebeneffekte zusammen mit Minderungsoptionen, die durch technologischen Fortschritt noch erhöht werden können. Eine Verringerung der verkehrsbedingten Emissionen von Feinstaub (einschließlich Ruß), troposphärischen Ozons und von Aerosolvorläufern (einschließlich NO<sub>x</sub>) kann kurzfristig positive Nebeneffekte für die Gesundheit des Menschen und Minderung erbringen (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). [8.2, 8.3, 11.13, Abbildung TS.20, rechte Tafel]

**Die Kosteneffizienz unterschiedlicher Maßnahmen zur Kohlenstoffverringerung im Verkehrssektor unterscheidet sich signifikant je nach Fahrzeug- und Verkehrsart** (*hohes Vertrauen*). Die Gestehungskosten der Kohlenstoffersparung können für viele kurzfristige Verhaltensmaßnahmen und Effizienzverbesserungen für leichte und schwere Nutzfahrzeuge sowie Wasserfahrzeuge sehr gering oder sogar negativ sein. Im Jahr 2030 könnten für einige Elektrofahrzeuge, Flugzeuge und möglicherweise Hochgeschwindigkeitszüge die Gestehungskosten mehr als 100 USD pro vermiedene Tonne CO<sub>2</sub> betragen (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). [8.6, 8.8, 8.9, Abbildungen TS.21, TS.22]

**Regionale Unterschiede beeinflussen die Wahl der Minderungsoptionen für den Verkehr** (*hohes Vertrauen*). Institutionelle, rechtliche, finanzielle und kulturelle Hemmnisse beschränken die Einführung kohlenstoffarmer Technologien und von Verhaltensänderungen. Etablierte Infrastrukturen können die Optionen für Verkehrsverlagerung einschränken und zu einer größeren Abhängigkeit von modernen Fahrzeugtechnologien führen; eine Verlangsamung des Nachfragewachstums für leichte Nutzfahrzeuge ist bereits in einigen OECD-Ländern feststellbar. Investitionen in öffentliche Verkehrssysteme und in kohlenstoffarme Infrastruktur können in allen Volkswirtschaften, insbesondere jenen mit hohen urbanen Wachstumsraten, einen Lock-In-Effekt in kohlenstoffintensive Verkehrsarten vermeiden. Eine Priorisierung einer für Fußgänger geeigneten Infrastruktur und die Einbindung nicht-motorisierter und Transitdienstleistungen kann positive wirtschaftliche und soziale Nebeneffekte in allen Regionen hervorrufen (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). [8.4, 8.8, 8.9, 14.3, Tabelle 8.3]

**Minderungsmaßnahmen können – wenn sie mit nicht-klimapolitischen Maßnahmen auf allen Regierungsebenen verbunden sind – in allen Regionen eine Entkoppelung der verkehrsbedingten THG-Emissionen vom Wirtschaftswachstum fördern** (*mittleres Vertrauen*). Diese Strategien können helfen, den Verkehrsbedarf zu verringern, Anreize für Frachtunternehmen zur Verringerung der Kohlenstoffintensität ihrer logistischen Systeme zu schaffen und Verkehrsverlagerungen hervorzurufen. Außerdem können sie positive Nebeneffekte wie einen einfacheren Zugang zu und Verbesserung von Mobilität, verbesserte Gesundheit und Sicherheit, höhere Energiesicherheit sowie Kosten- und Zeiteinsparungen herbeiführen (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). [8.7, 8.10]

### Gebäude

Im Jahr 2010 entfielen auf den Gebäudesektor<sup>24</sup> etwa 32 % des Endenergieverbrauchs und 8,8 Gt CO<sub>2</sub>-Emissionen, einschließlich direkter und indirekter Emissionen, wobei in Basisszenarien für den Energiebedarf annähernd eine Verdoppelung und für die CO<sub>2</sub>-Emissionen ein Anstieg um 50–150 % bis zur Mitte des Jahrhunderts projiziert werden (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Dieser Anstieg des Energiebedarfs resultiert aus zunehmendem Wohlstand, Änderungen des Lebensstils, Zugang zu modernen Energiedienstleistungen und adäquaten Wohnverhältnissen sowie Urbanisierung. Wegen der langen Lebensdauer von Gebäuden und der damit verbundenen Infrastruktur bestehen signifikante Lock-In-Risiken, welche insbesondere in Regionen mit hoher Bautätigkeit bedeutend sind (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). (Abbildung SPM.7) [9.4]

**Jüngste Fortschritte in Technologie, Know-how und politischen Maßnahmen schaffen Möglichkeiten, den globalen Energieverbrauch im Gebäudesektor bis zur Jahrhundertmitte zu stabilisieren oder zu verringern** (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Die Einführung sehr niedriger Energienormen ist für Neubauten wichtig und seit dem AR4 erheblich fortgeschritten. Sanierungen sind wesentlicher Bestandteil der Minderungsstrategie in Ländern mit bestehender Gebäudesubstanz, und in einzelnen Gebäuden wurden Verringerungen der Energienutzung für Heizung und Kühlung um 50–90 % erreicht. Jüngste große Verbesserungen von Leistung und Kosten machen Niedrigenergiebauten und Sanierungen wirtschaftlich attraktiv, bisweilen sogar zu negativen Nettokosten. [9.3]

**Lebensstil, Kultur und Verhalten beeinflussen den Energieverbrauch in Gebäuden signifikant** (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Für vergleichbare gebäudebezogene Energieleistungsniveaus wurden Unterschiede im Energieverbrauch um den Faktor drei bis fünf nachgewiesen. Für Industrieländer zeigen Szenarien, dass Änderungen in Lebensstil und Verhalten den Energiebedarf kurzfristig um bis zu 20 % und bis zur Jahrhundertmitte um bis zu 50 % des derzeitigen Niveaus verringern können. In Entwicklungsländern können durch die Integration von Elementen traditioneller Lebensstile in Bauverfahren und Architektur hohe Energiedienstleistungsniveaus mit wesentlich geringerem Energieaufwand als in Basisszenarien geschaffen werden. [9.3]

**Die meisten Minderungsoptionen für Gebäude haben über Energiekosteneinsparungen hinaus beträchtliche und mannigfaltige positive Nebeneffekte** (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Hierzu zählen Verbesserungen der Energiesicherheit, Gesundheit (z. B. durch sauberere holzbeheizte Küchenherde), Umweltauswirkungen, Arbeitsplatzproduktivität, Verringerung von Energiearmut und Nettobeschäftigungsgewinne. Viele Studien, die positive Nebeneffekte monetarisiert haben, zeigen, dass diese die Energiekosteneinsparungen und möglicherweise die Klimavorteile übersteigen (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). [9.6, 9.7, 3.6.3]

**Starke Hemmnisse, wie entgegengesetzte Interessen (z. B. Mieter und Bauherr), fragmentierte Märkte und unzureichender Zugang zu Information und Finanzierung, behindern die marktbasiertere Umsetzung kosteneffizienter Möglichkeiten.** Hemmnisse können durch politische Interventionen in allen Phasen der Lebenszyklen von Gebäuden und Geräten überwunden werden (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). [9.8, 9.10, 16, Box 3.10]

**Die Entwicklung von Portfolios von politischen Energieeffizienzmaßnahmen und deren Umsetzung ist seit dem AR4 beträchtlich fortgeschritten. Bauvorschriften und Gerätestandards – sofern überlegt gestaltet und umgesetzt – gehören zu den umweltwirksamsten und kostengünstigsten Instrumenten zur Emissionsminderung** (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). In einigen Industrieländern haben sie zu einer Stabilisierung bzw. Verringerung des Gesamtenergiebedarfes von Gebäuden beigetragen. Eine bedeutende Verstärkung dieser Vorschriften, ihre Einbindung in die Rechtsprechung und ihre Ausweitung auf mehr Gebäude- bzw. Gerätetypen werden wesentliche Faktoren für das Erreichen ambitionierter Klimaziele sein. [9.10, 2.6.5.3]

<sup>24</sup> Der Gebäudesektor deckt die Wohnungs-, Handels- und Dienstleistungssektoren sowie den öffentlichen Sektor ab. Baubedingte Emissionen sind dem Industriesektor zugeordnet.

## Industrie

Im Jahr 2010 entfielen auf den Industriesektor etwa 28 % des Endenergieverbrauchs und 13 Gt CO<sub>2</sub>-Emissionen, einschließlich direkter und indirekter Emissionen sowie Prozessemissionen, wobei in den im AR5 bewerteten Basisszenarien ein Anstieg der Emissionen um 50–150 % bis zum Jahr 2050 projiziert wird, sofern nicht Energieeffizienzverbesserungen bedeutend beschleunigt werden (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Industrie-Emissionen waren für knapp über 30 % der globalen THG-Emissionen im Jahr 2010 verantwortlich und sind derzeit höher als Emissionen aus den Endverbrauchssektoren Gebäude bzw. Verkehr. (Abbildungen SPM.2, SPM.7) [10.3]

Die Energieintensität des Industriesektors könnte durch den umfassenden Ausbau, Austausch und Einsatz der bestverfügbaren Technologien unmittelbar um 25 % gegenüber dem aktuellen Niveau verringert werden, insbesondere in Ländern, in denen diese noch nicht verwendet werden, sowie in nicht-energieintensiven Industrien (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Eine weitere Verringerung der Energieintensität um ca. 20 % kann potenziell durch Innovation realisiert werden (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). Hemmnisse bei der Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen beruhen größtenteils auf anfänglichen Investitionskosten und einem Mangel an Information. Informationsprogramme sind der vorherrschende Ansatz zur Förderung von Energieeffizienz, gefolgt von wirtschaftlichen Instrumenten, regulatorischen Ansätzen und freiwilligen Maßnahmen. [10.7, 10.9, 10.11]

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 Servicebedarfs könnten – zusätzlich zur Energieeffizienz – dabei helfen, die THG-Emissionen im Industriesektor unter das Niveau in den Basisszenarien zu senken (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Viele Emissionsminderungsoptionen sind kosteneffizient, rentabel und verbunden mit vielfachen positiven Nebeneffekten (bessere Umweltbilanz, Vorteile für die Gesundheit etc.). Langfristig könnte die Umstellung auf kohlenstoffarme Elektrizität, neue Industrieverfahren, grundlegende Produktinnovationen (z. B. Alternativen zu Zement) oder CCS (z. B. zur Verringerung von Prozessemissionen) zu einer signifikanten Verringerung von THG-Emissionen beitragen. Fehlende Politikmaßnahmen und fehlende Erfahrungen in der Material- und Produktleistungseffizienz sind wesentliche Hemmnisse. [10.4, 10.7, 10.8, 10.11]

CO<sub>2</sub>-Emissionen dominieren die THG-Emissionen aus der Industrie, es bestehen aber auch erhebliche Minderungsmöglichkeiten für Nicht-CO<sub>2</sub>-Gase (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O sowie fluorierte Gase aus der Industrie waren im Jahr 2010 für die Emission von 0,9 Gt CO<sub>2</sub>-Äq verantwortlich. Zu den wesentlichen Minderungsmöglichkeiten zählen z. B. die Verringerung der Fluorkohlenwasserstoffemissionen durch Prozessoptimierung und Kühlmittelrückgewinnung, -recycling und -austausch, obwohl Hemmnisse bestehen. [Tabellen 10.2, 10.7]

Systemische Ansätze und Zusammenarbeit über Unternehmen und Sektoren hinweg können den Energie- und Materialverbrauch und damit die THG-Emissionen verringern (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Der Einsatz von Querschnittstechnologien (z. B. effiziente Motoren) und -maßnahmen (z. B. Verringerung von Luft- bzw. Dampfleckagen) sowohl in großen, energieintensiven Industrieunternehmen als auch in kleinen und mittleren Unternehmen kann die Prozessleistung und Anlageneffizienz kosteneffizient verbessern. Die Zusammenarbeit von Unternehmen (z. B. in Industrieparks) und von Sektoren könnte die gemeinsame Nutzung von Infrastrukturen, Informationen und Abwärme beinhalten. [10.4, 10.5]

Wichtige Optionen für Minderung in der Abfallwirtschaft sind Abfallverringern, gefolgt von Wiederverwertung, Recycling und Energierückgewinnung (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Abfall und Abwasser waren 2010 für 1,5 Gt CO<sub>2</sub>-Äq verantwortlich. Da der Anteil an recycelten bzw. wiederverwerteten Materialien immer noch gering ist (z. B. werden global etwa 20 % des städtischen Feststoffabfalls recycelt), können Abfallentsorgungstechnologien und Energierückgewinnung zur Verringerung des Bedarfs an fossilen Brennstoffen zu wesentlichen Verringerungen der direkten Emissionen aus der Abfallentsorgung führen. [10.4, 10.14]

#### SPM.4.2.4 Landwirtschaft, Forstwirtschaft und andere Landnutzung (Agriculture, Forestry and Other Land Use, AFOLU)

Auf den AFOLU-Sektor entfällt etwa ein Viertel (~10–12 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr) der anthropogenen Netto-THG-Emissionen, hauptsächlich aus Entwaldung, landwirtschaftlichen Emissionen aus Boden- und Nährstoffmanagement sowie Viehhaltung (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Jüngste Schätzungen zeigen einen Rückgang der CO<sub>2</sub>-Flüsse im AFOLU-Sektor, größtenteils aufgrund sinkender Entwaldungsraten und zunehmender Aufforstung. Jedoch sind die Unsicherheiten bezüglich historischer Nettoemissionen aus AFOLU größer als für andere Sektoren und es bestehen zusätzliche Unsicherheiten für die projizierten Basis-Nettoemissionen aus AFOLU. Gleichwohl wird für die Zukunft ein Rückgang der jährlichen Basis-Netto-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus AFOLU projiziert, wobei die Nettoemissionen bis zum Jahr 2050 potenziell weniger als die Hälfte des Niveaus von 2010 betragen und die Möglichkeit besteht, dass die AFOLU-Sektoren vor Ende des Jahrhunderts zu einer Netto-CO<sub>2</sub>-Senke werden (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). (Abbildung SPM.7) [6.3.1.4, 11.2, Abbildung 6.5]

AFOLU spielt eine zentrale Rolle für die Ernährungssicherung und nachhaltige Entwicklung. 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*). Das wirtschaftliche Minderungspotenzial angebotsorientierter Maßnahmen wird auf 7,2 bis 11 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr<sup>25</sup> im Jahr 2030 für Minderungsmaßnahmen bei einem Kohlenstoffpreis<sup>26</sup> von bis zu 100 USD pro t CO<sub>2</sub>Äq geschätzt, von dem etwa ein Drittel bei < 20 USD pro t CO<sub>2</sub>Äq erreicht werden kann (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Es gibt potenzielle Hindernisse für die Umsetzung verfügbarer Minderungsoptionen [11.7, 11.8]. 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*). Schätzungen variieren und liegen bei etwa 0,76–8,6 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr bis zum Jahr 2050 (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). [11.4, 11.6, Abbildung 11.14]

Politische Maßnahmen, die landwirtschaftliche Praktiken sowie Walderhaltung und Forstwirtschaft regeln, sind wirksamer, wenn sie sowohl Minderung als auch Anpassung berücksichtigen. Einige Minderungsoptionen im AFOLU-Sektor (wie Kohlenstoffspeicher in Böden und Wald) können Klimaänderungen gegenüber anfällig sein (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Bei nachhaltiger Umsetzung sind Aktivitäten zur Verringerung von Emissionen aus Entwaldung und Waldschädigung (REDD+<sup>27</sup> ist ein Beispiel für nachhaltig gestaltetes Vorgehen) kosteneffiziente Maßnahmenoptionen, um den Klimawandel zu mindern, mit potenziellen wirtschaftlichen, sozialen und sonstigen ökologischen und die Anpassung betreffenden positiven Nebeneffekten (z. B. Erhalt von Biodiversität und Wasserressourcen sowie Verringerung von Bodenerosionen) (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). [11.3.2, 11.10]

Bioenergie kann für die Minderung eine entscheidende Rolle spielen, es sind jedoch Fragen wie die Nachhaltigkeit der Methoden und die Wirksamkeit von Bioenergiesystemen zu bedenken (*belastbare Belege, mittlere Übereinstimmung*) [11.4.4, Box 11.5, 11.13.6, 11.13.7]. 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. Die wissenschaftliche Debatte über die Gesamt-Klimawirkung, die bestimmte Bioenergiepfade aufgrund von Landnutzungskonkurrenzen nach sich ziehen, bleibt ungelöst (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). [11.4.4, 11.13] Bioenergie-Technologien sind vielfältig und umfassen eine große Bandbreite an Optionen und Technologiepfaden. Es gibt Belege, die dafür sprechen, dass Optionen

<sup>25</sup> Gesamte Bandbreite aller Studien: 0,49–11 Gt CO<sub>2</sub>Äq pro Jahr

<sup>26</sup> In vielen Modellen, die für die Bewertung der wirtschaftlichen Minderungskosten herangezogen werden, wird der Kohlenstoffpreis stellvertretend für die Darstellung des mit Minderungsmaßnahmen verbundenen Aufwands verwendet (siehe Glossar).

<sup>27</sup> Siehe Glossar.

mit geringen Lebenszyklusemissionen (z. B. Zuckerrohr, Miscanthus, schnellwachsende Baumarten und die nachhaltige Verwertung von Biomasserückständen) – 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. In einigen Regionen könnten spezifische Bioenergieoptionen wie verbesserte Küchenherde oder kleinskalige Biogas- und Biostromproduktion THG-Emissionen verringern und so Lebensgrundlagen und Gesundheit im Kontext einer nachhaltigen Entwicklung verbessern (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). [11.13]

#### SPM.4.2.5 Siedlungen, Infrastruktur und Raumplanung

**Urbanisierung ist ein globaler Trend, der mit steigenden Einkommen verknüpft ist, und höhere urbane Einkommen korrelieren mit höherem Energieverbrauch und höheren Treibhausgasemissionen** (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Mehr als 52 % der Weltbevölkerung leben in städtischen Räumen (Stand 2011). Im Jahr 2006 entfielen 67–76 % des Energieverbrauchs und 71–76 % der energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen auf städtische Räume. Bis zum Jahr 2050 wird ein Anwachsen der städtischen Bevölkerung auf 5,6–7,1 Milliarden bzw. 64–69 % der Weltbevölkerung erwartet. Städte in Nicht-Annex-I-Ländern weisen allgemein einen höheren Energieverbrauch im Vergleich zum nationalen Durchschnitt auf, während der Energieverbrauch pro Kopf in Städten in Annex-I-Ländern im Allgemeinen geringer ist als der nationale Durchschnitt (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). [12.2, 12.3]

**Die kommenden zwei Jahrzehnte bieten eine einmalige Möglichkeit zur Minderung in städtischen Räumen, da ein großer Teil der weltweiten städtischen Räume in dieser Zeit erschlossen werden wird** (*begrenzte Belege, hohe Übereinstimmung*). Unter Berücksichtigung der Trends zu abnehmenden Bevölkerungsdichten und des anhaltenden Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums wird eine Ausweitung des städtischen Flächenverbrauchs um 56–310 % zwischen 2000 und 2030 projiziert. [12.2, 12.3, 12.4, 12.8]

**Minderungsoptionen in städtischen Räumen unterscheiden sich nach Urbanisierungsverläufen und werden voraussichtlich am effektivsten sein, wenn politische Instrumente gebündelt werden** (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Infrastruktur und Stadtform sind eng miteinander verknüpft und legen Landnutzungsmuster, die Wahl von Verkehrsmitteln, Wohnformen und Verhaltensweisen fest. Wirksame Minderungsstrategien beinhalten Pakete sich gegenseitig verstärkender Maßnahmen, wie die räumliche Koppelung von hohen Wohn- und Beschäftigungsdichten, das Erreichen einer großen Vielfalt und Integration von Landnutzung, steigende Anbindung an und Investitionen in öffentliche Verkehrsmittel sowie weitere Maßnahmen zum Bedarfsmanagement. [8.4, 12.3, 12.4, 12.5, 12.6]

**Die größten Minderungsmöglichkeiten im Hinblick auf Siedlungen bestehen in Gebieten mit rascher Urbanisierung, für die Stadtform und Infrastruktur nicht festgelegt sind, wo aber häufig nur begrenzte Regulierung sowie begrenzte technische, finanzielle und institutionelle Kapazitäten bestehen** (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Der Großteil des urbanen Wachstums wird sich voraussichtlich in kleinen bis mittelgroßen Städten in Entwicklungsländern abspielen. Die Umsetzbarkeit von Raumplanungsinstrumenten zur Minderung des Klimawandels hängt in hohem Maße von den finanziellen Mitteln und politischen Steuerungskapazitäten einer Stadt ab. [12.6, 12.7]

**Tausende Städte haben Klima-Aktionspläne, aber deren Gesamteinfluss auf urbane Emissionen ist ungewiss** (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Bisher gab es nur wenige systematische Begutachtungen hinsichtlich ihrer Umsetzung und darüber, inwiefern Emissionsminderungsziele erreicht bzw. Emissionen verringert werden. Derzeitige Klima-Aktionspläne konzentrieren sich größtenteils auf Energieeffizienz. Weniger Klima-Aktionspläne berücksichtigen Landnutzungsplanungsstrategien, sektorenübergreifende Maßnahmen zur Verringerung von Zersiedelung oder fördern eine transitorientierte Entwicklung<sup>28</sup>. [12.6, 12.7, 12.9]

<sup>28</sup> Siehe Glossar.

Eine erfolgreiche Umsetzung von Minderungsstrategien auf städtischer Ebene kann positive Nebeneffekte haben (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Weltweit kämpfen städtische Räume weiterhin mit Herausforderungen, unter anderem der Sicherstellung von Zugang zu Energie, der Begrenzung von Luft- und Wasserverschmutzung sowie der Aufrechterhaltung von Arbeitsplätzen und Wettbewerbsfähigkeit. Die Umsetzung von Minderungsmaßnahmen auf städtischer Ebene hängt häufig von der Möglichkeit ab, Minderungsbemühungen im Hinblick auf die Klimaänderung mit lokalen positiven Nebeneffekten zu verbinden (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). [12.5, 12.6, 12.7, 12.8]

## SPM.5 Minderungsmaßnahmen und Institutionen

### SPM.5.1 Sektorale und nationale Maßnahmen

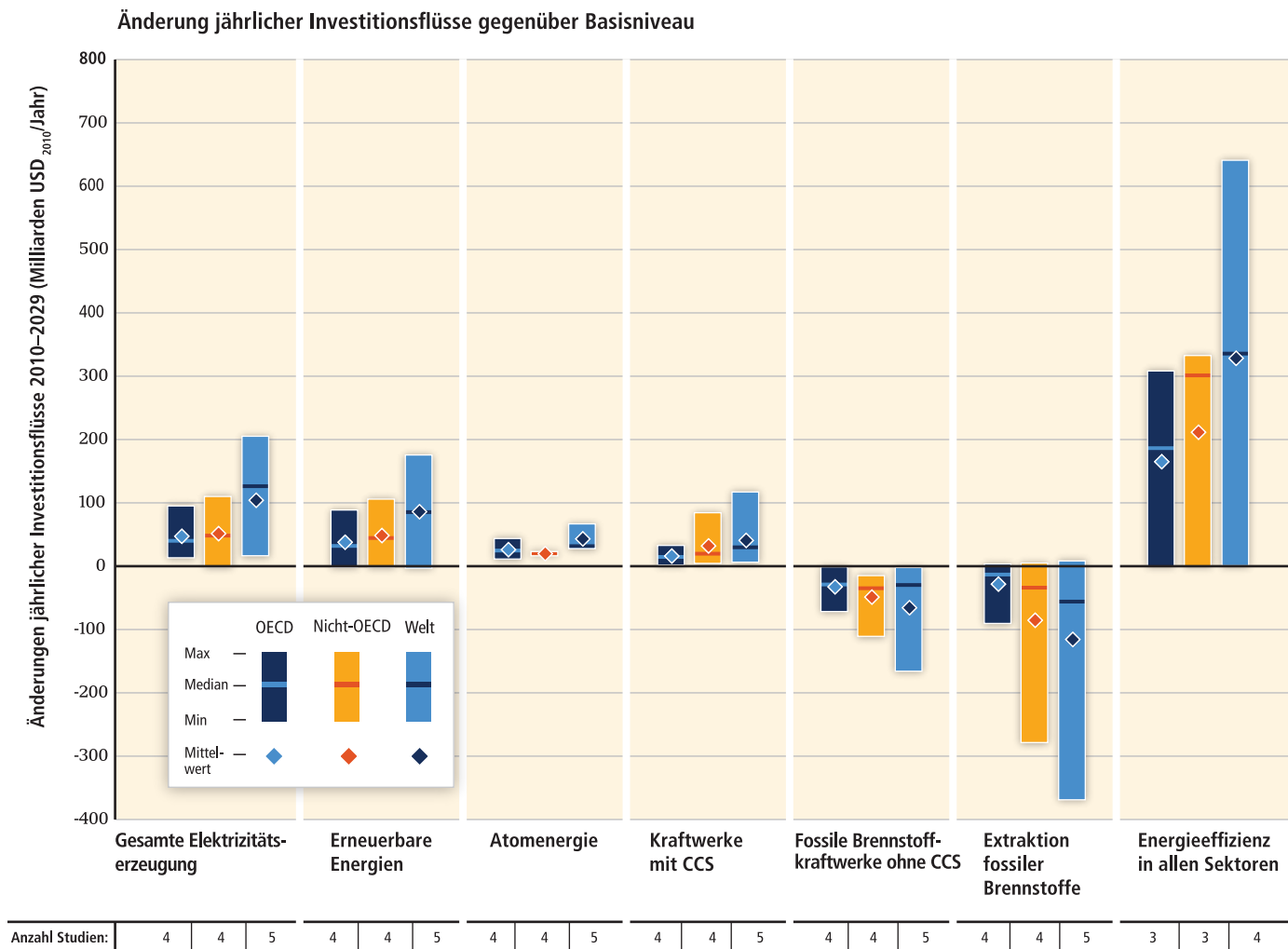
Substanzielle Emissionsminderungen würden große Änderungen in Investitionsmustern erfordern. Minderungsszenarien, in denen Maßnahmen die atmosphärischen Konzentrationen im Bereich von 430 bis 530 ppm CO<sub>2</sub>Äq (ohne Überschießen) bis zum Jahr 2100 stabilisieren, führen zu erheblichen Verschiebungen der jährlichen Investitionsflüsse im Zeitraum von 2010–2029 gegenüber den Basisszenarien (Abbildung SPM.9). Während der nächsten zwei Jahrzehnte (2010 bis 2029) wird ein Rückgang der jährlichen Investitionen in konventionelle, fossile Brennstofftechnologien für den Stromversorgungssektor um ca. 30 (2–166) Mrd. USD (Median: -20 % verglichen mit 2010) projiziert, während für die jährlichen Investitionen in kohlenstoffarme Stromversorgung (d. h. Erneuerbare Energien, Atomenergie und Stromerzeugung mit CCS) ein Anstieg von ca. 147 (31–360) Mrd. USD (Median: +100 % verglichen mit 2010) projiziert wird (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). Zum Vergleich betragen die gesamten globalen jährlichen Investitionen in das Energiesystem derzeit ca. 1200 Mrd. USD. Darüber hinaus wird ein Anstieg der jährlichen inkrementellen Energieeffizienz-Investitionen in den Sektoren Verkehr, Gebäude und Industrie um ca. 336 (1–641) Mrd. USD projiziert (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*), häufig verbunden mit einer Modernisierung bestehender Anlagen. [13.11, 16.2.2]

Es existiert keine weithin anerkannte Definition des Begriffes „Klimafinanzierung“, Schätzungen der mit Minderung des Klimawandels und der Anpassung daran verbundenen Finanzströme sind jedoch verfügbar. Veröffentlichte Schätzungen 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*) [Box TS.14]. Der Großteil hiervon entfällt auf Minderung. 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 in der Größenordnung zwischen 10 und 37 Mrd. USD pro Jahr im Zeitraum von 2008 bis 2011 (*mittleres Vertrauen*). [16.2.2]

Seit dem AR4 hat die Zahl nationaler und subnationaler Minderungspläne und -strategien beträchtlich zugenommen. Im Jahr 2012 unterlagen 67 % der globalen THG-Emissionen nationalen Gesetzen oder Strategien gegenüber 45 % im Jahr 2007. Es gab jedoch noch keine substanzielle Abweichung der globalen Emissionen vom früheren Trend [Abbildung 1.3c]. 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 weltweite Emissionen erschwert (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). [14.3.4, 14.3.5, 15.1, 15.2]

Seit dem AR4 lag der Fokus zunehmend auf Strategien, die mehrere Ziele integrieren, positive Nebeneffekte steigern und negative Nebeneffekte verringern sollen (*hohes Vertrauen*). Regierungen verweisen in klima- und sektorenbezogenen Plänen und Strategien häufig explizit auf positive Nebeneffekte. Die wissenschaftliche Literatur zeigt Bemühungen, das Ausmaß von positiven Nebeneffekten (siehe Abschnitt SPM.4.1) und die größere politische





**Abbildung SPM.9** | Änderungen der jährlichen Investitionsflüsse gegenüber dem durchschnittlichen Basisniveau in den nächsten zwei Jahrzehnten (2010–2029) in Minderungszenarien, die Konzentrationen bis zum Jahr 2100 innerhalb eines Bereiches von ca. 430–530 ppm CO<sub>2</sub>-Äq stabilisieren. Investitionsänderungen basieren auf einer begrenzten Anzahl von Modellstudien und Modellvergleichen. Die gesamte Stromerzeugung (Spalte links außen) umfasst die Summe aus Erneuerbaren Energien, Atomkraft, 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. Nähe zu diesem Medianwert bedeutet keine höhere Wahrscheinlichkeit aufgrund des unterschiedlichen Aggregationsgrades der Modellergebnisse, der geringen Anzahl verfügbarer Studien und der unterschiedlichen Annahmen in den verschiedenen berücksichtigten Studien. Die Zahlen in der unteren Zeile geben die Gesamtzahl der Studien in der für die Bewertung verwendeten Literatur an. Dies unterstreicht, dass der Investitionsbedarf immer noch ein sich entwickelnder Forschungsbereich ist, den verhältnismäßig wenige Studien untersucht haben. [Abbildung 16.3]

Umsetzbarkeit und Beständigkeit von Politikmaßnahmen mit umfassenden positiven und geringen negativen Nebenefekten zu bewerten. [4.8, 5.7, 6.6, 13.2, 15.2] Trotz des wachsenden Interesses in Politik und wissenschaftlicher Literatur seit dem AR4 bleiben die analytischen und empirischen Grundlagen für das Verständnis vieler dieser Wechselwirkungen unterentwickelt [1.2, 3.6.3, 4.2, 4.8, 5.7, 6.6].

**Sektorspezifische Strategien wurden in größerem Umfang angewandt als gesamtwirtschaftliche Strategien** (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Obwohl in der Wirtschaftstheorie größtenteils davon ausgegangen wird, dass gesamtwirtschaftliche Strategien für das Einzelziel „Minderung des Klimawandels“ kosteneffizienter wären als sektorspezifische Strategien, hat eine wachsende Anzahl an Studien seit dem AR4 gezeigt, dass administrative und politische

Hemmnisse die Gestaltung und Umsetzung von gesamtwirtschaftlichen Strategien stärker erschweren können 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. [6.3.6.5, 8.10, 9.10, 10.10, 15.2, 15.5, 15.8, 15.9]

**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. Obwohl bei solchen Ansätzen häufig netto ein sozialer Vorteil beobachtet wurde, ist die wissenschaftliche Literatur geteilter Ansicht über den Umfang, in dem solche Strategien mit negativen privaten Kosten für Unternehmen und Einzelpersonen umgesetzt werden können. [Box 3.10, 15.5.5, 15.5.6] Es besteht allgemein Einigkeit darüber, dass Rebound-Effekte existieren, bei denen eine höhere Effizienz zu niedrigeren Energiepreisen und höherem Konsum führen kann, es besteht jedoch nur eine *geringe Übereinstimmung* in der Literatur hinsichtlich des Ausmaßes [3.9.5, 5.7.2, 14.4.2, 15.5.4].

**Seit dem AR4 wurden in einer Reihe von Ländern und Regionen Emissionshandelssysteme für THGs nach dem „cap-and-trade“-Prinzip etabliert. Deren kurzfristiger ökologischer Effekt war aufgrund von lockeren Emissionsobergrenzen oder Obergrenzen, die sich als nicht limitierend erwiesen haben, begrenzt** (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). Dies hing mit Faktoren wie der Finanz- und Wirtschaftskrise, die den Energiebedarf verringert hat, neuen Energiequellen, Wechselwirkungen mit anderen Maßnahmen und regulatorischen Unsicherheiten zusammen. Grundsätzlich kann ein Emissionshandelssystem kostengünstig zu Minderung führen; seine Umsetzung hängt von den nationalen Gegebenheiten ab. Auch wenn frühere Programme sich fast ausschließlich auf einen Bestandsschutz (freie Zuteilung von Emissionsrechten) berufen haben, werden Emissionsrechte zunehmend versteigert. Sofern Emissionsrechte versteigert werden, können die Erträge dafür verwendet werden, andere Investitionen mit hohen Sozialerträgen zu tätigen und/oder die Steuer- und Schuldenlast zu verringern. [14.4.2, 15.5.3]

**In einigen Ländern haben – neben Technologie- und anderen Maßnahmen – steuerbasierte Maßnahmen, die spezifisch auf die Verringerung von THG-Emissionen ausgerichtet waren, dazu beigetragen, die Kopplung von THG-Emissionen und BIP aufzuweichen** (*hohes Vertrauen*). In vielen Ländern haben Mineralölsteuern (auch wenn diese nicht notwendigerweise zum Zwecke der Minderung erhoben wurden) Auswirkungen, die sektoralen CO<sub>2</sub>-Steuern ähneln [Tabelle 15.2]. Der mit einem Preisanstieg von 1 % verbundene Rückgang der Nachfrage nach Kraftstoffen im Verkehrswesen beläuft sich langfristig auf 0,6 % bis 0,8 %, wobei die kurzfristige Auswirkung wesentlich geringer ausfällt [15.5.2]. In einigen Ländern werden die Erträge dafür verwendet, andere Steuern zu senken 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. Während man früher davon ausging, dass Kraftstoffsteuern im Verkehrssektor rückläufig sind, gab es seit dem AR4 eine Reihe zusätzlicher Studien, die gezeigt haben, dass sie zunehmen, insbesondere in Entwicklungsländern (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). [3.6.3, 14.4.2, 15.5.2]

**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 Gesamtemissionen bis zur Jahrhundertmitte zur Folge haben könnte (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*) [7.12, 13.13, 14.3.2, 15.5.2]. 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 nationaler Gegebenheiten verschwenderisch und ineffizient sind. Auch wenn beträchtliche politische Wirtschaftshemmnisse bestehen, haben einige Länder ihre Steuer- und Haushaltssysteme reformiert, um Brennstoffsubventionen zu verringern. Um mögliche negative Auswirkungen auf Geringverdiener, die häufig einen großen Teil ihres Einkommens für Energieleistungen aufwenden, zu mindern, haben viele Regierungen pauschale Barzahlungen oder andere Mechanismen zur Entlastung der Armen eingesetzt. [15.5.2]

**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 verbindliche Obergrenze hat (ausreichend stringent, um emissionsbezogene Entscheidungen zu beeinflussen), andere Maßnahmen wie Subventionen für Erneuerbare Energien keine weiteren Auswirkungen auf die Emissionsminderung innerhalb des Zeitraumes haben, für den das Emissionsziel gilt (auch wenn sie die Kosten und möglicherweise die Durchführbarkeit 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. [15.7]

**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 vermieden werden** (*mittleres Vertrauen*). In besonderem Maße zu beachten ist, dass ca. 1,3 Milliarden Menschen weltweit keinen Zugang zu Elektrizität haben und ca. 3 Milliarden abhängig von traditionellen Festbrennstoffen zum Kochen und Heizen sind, was schwerwiegende negative Auswirkungen auf Gesundheit, Ökosysteme und Entwicklung mit sich bringt. Die Schaffung eines Zugangs zu modernen Energiedienstleistungen ist ein wichtiges Ziel nachhaltiger Entwicklung. Für die Schaffung eines nahezu universellen Zugangs zu Elektrizität und sauberen 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*). Der Übergang weg von der Nutzung traditioneller Biomasse<sup>29</sup> und die effizientere Verbrennung von Festbrennstoffen verringern die Emission von Schadstoffen wie Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO) und Ruß (black carbon, BC) und führen so zu großen gesundheitlichen Vorteilen (*hohes Vertrauen*). [4.3, 6.6, 7.9, 9.3, 9.7, 11.13.6, 16.8]

**Technologiepolitik ergänzt andere Minderungsmaßnahmen** (*hohes Vertrauen*). Technologiepolitik beinhaltet Technologieschub (z. B. öffentlich finanzierte Forschung und Entwicklung) und Nachfragesog (z. B. staatliche Beschaffungsprogramme). Solche Strategien können Marktversagen im Zusammenhang mit der Verbreitung von Innovationen und Technologien abschwächen. [3.11, 15.6] Technologieförderprogramme haben beträchtliche Innovationen und die Verbreitung neuer Technologien gefördert, die Kosteneffizienz solcher Programme ist jedoch häufig schwer zu bewerten [2.6.5, 7.12, 9.10]. Trotzdem können Evaluierungsdaten über diese Programme empirische Belege über die relative Effizienz unterschiedlicher Strategien erbringen und bei der Gestaltung von politischen Maßnahmen helfen [15.6.5].

**In vielen Ländern spielt der private Sektor eine zentrale Rolle sowohl bei den Abläufen, die zu Emissionen führen, als auch bei denen, die zu Minderungen führen. In einem geeigneten förderlichen Umfeld kann der private Sektor gemeinsam mit dem öffentlichen Sektor eine wichtige Rolle bei der Minderungsfinanzierung 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

<sup>29</sup> Siehe Glossar.

fördern öffentliche Finanzinterventionen seitens Regierungen sowie nationaler und internationaler Entwicklungsbanken Klimainvestitionen seitens des Privatsektors [16.2.1] 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 von Maßnahmen sowie an anderen Faktoren, die einen wesentlichen Einfluss auf die Investitionsbereitschaft privater Unternehmen in neue Technologien und Infrastrukturen haben [16.3]. Zielgerichtete Politikinstrumente, wie zum Beispiel Kreditversicherungen, Stromkaufverträge und Einspeisetarife, Konzessionsfinanzierungen oder Rabatte, bieten Anreize für Investitionen, indem sie die Risiken für private Akteure senken [16.4].

## SPM.5.2 Internationale Zusammenarbeit

**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.** Weitere Institutionen auf unterschiedlichen Governance-Ebenen haben zu einer Diversifizierung der internationalen Zusammenarbeit bezüglich des Klimawandels geführt.

[13.3.1, 13.4.1.4, 13.5]

**Bestehende und angestrebte internationale Kooperationsvereinbarungen 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. [Abbildung TS.38, 13.4.1, 13.13.2, 14.4]

**Das Kyoto-Protokoll bietet Erfahrungen, die für den Fortschritt im Hinblick auf das oberste Ziel der UNFCCC hilfreich sein können, insbesondere bezüglich Beteiligung, Umsetzung, Flexiblen Mechanismen und Umweltwirksamkeit (mittelstarke Belege, geringe Übereinstimmung).** [5.3.3, 13.3.4, 13.7.2, 13.13.1.1, 13.13.1.2, 14.3.7.1, Tabelle TS.9]

**UNFCCC-Aktivitäten haben seit 2007 zu einer wachsenden Zahl von Institutionen und anderen Vereinbarungen zur internationalen Zusammenarbeit im Hinblick auf den Klimawandel geführt.**

[13.5.1.1, 13.13.1.3, 16.2.1]

**Regionale, nationale und subnationale klimapolitische Strategien zu verknüpfen, eröffnet mögliche Vorteile für Klimaschutz und Anpassung (mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung).** Verknüpfungen können zwischen nationalen Strategien, verschiedenen Instrumenten und durch regionale Zusammenarbeit hergestellt werden. [13.3.1, 13.5.3, 13.6, 13.7, 13.13.2.3, 14.4, Abbildung 13.4]

**Verschiedene regionale Initiativen von der nationalen bis zur globalen Ebene werden zurzeit entwickelt oder bereits umgesetzt, jedoch war ihre Auswirkung auf den weltweiten Klimaschutz bislang begrenzt (mittleres Vertrauen).** Viele klimapolitische Maßnahmen können wirksamer sein, wenn sie über geografische Regionen hinweg umgesetzt werden. [13.13, 13.6, 14.4, 14.5]