ipcc

ZWISCHENSTAATLICHER AUSSCHUSS FÜR Klimaänderungen

Klimawandel 2022

Minderung des Klimawandels

Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung

WGIII

Beitrag der Arbeitsgruppe III
zum Sechsten Sachstandsbericht
des Zwischenstaatlichen Ausschusses
für Klimaänderungen (IPCC)

WMO UNEP

Englisches Original

© 2022 Intergovernmental Panel on Climate Change

IPCC, 2022: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2022: *Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. doi: 10.1017/9781009157926.001

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

Die englische Originalversion dieses Dokuments ist in elektronischer Form auf der IPCC-Webseite unter https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/ erhältlich.

Titelbild: Matt Bridgestock, Director and Architect at John Gilbert Architects

Deutsche Übersetzung (vorläufige Version, endgültiges Layout und Übersetzung der Abbildungen stehen noch aus)

Die vorliegende Übersetzung ist keine offizielle Übersetzung durch den IPCC. Sie wurde erstellt mit dem Ziel, die im Originaltext verwendete Sprache möglichst angemessen wiederzugeben. Sie berücksichtigt Errata bis einschließlich Oktober 2022.

Herausgeber: Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, DLR Projektträger
www.de-ipcc.de | de-ipcc@dlr.de

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Österreich
www.bmk.gv.at | vi-1@bmk.gv.at

Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, ProClim
proclim@scnat.ch | www.proclim.ch

Die Luxemburger Regierung
andrew.ferrone@asta.etat.lu | www.gouvernement.lu

Übersetzung: Carola Best unter Mitarbeit von Manfred Fischedick, Oliver Geden, C. Kabel, Silvia Kreibiehl, Elmar Kriegler, Andreas Löschel, Jan Minx, Urs Neu, Leila Niamir, Manfred Ogris, Alexander Popp, Christiane Textor, Monika Voigt, Judith Voß-Stemping

Mitfinanzierung: Auswärtiges Amt der Bundesrepublik Deutschland (AA)

Deutsches Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Österreich

Schweizerisches Bundesamt für Umwelt (BAFU)

Diese Übersetzung kann von den Webseiten www.de-ipcc.de, www.proclim.ch und www.umweltbundesamt.at als PDF-Datei heruntergeladen werden. Sie sollte folgendermaßen zitiert werden:

IPCC, 2022: Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung. In: Klimawandel 2022: *Minderung des Klimawandels. Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley (Hrsg.)]. Deutsche Übersetzung auf Basis der Version vom Juli 2022. Deutsche IPCC-Koordinierungsstelle, Bonn; Die Luxemburger Regierung, Luxemburg; Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien; Akademie der Naturwissenschaften Schweiz SCNAT, ProClim, Bern; November 2022. DOI 10.48585/ncrb-8p46

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 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).

Klimawandel 2022
Minderung des Klimawandels

Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Sechsten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)

Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung

Herausgegeben von

Priyadarshi R. Shukla
Ko-Vorsitzender von Arbeitsgruppe III

Jim Skea
Ko-Vorsitzender von Arbeitsgruppe III

Raphael Slade
Wissenschaftlicher Leiter der Geschäftsstelle

Alaa Al Khourdajie
Leitender Wissenschaftler

Renée van Diemen
Leitende Wissenschaftlerin

David McCollum
Leitender Wissenschaftler

Minal Pathak
Leitende Wissenschaftlerin

Shreya Some
Wissenschaftlerin

Purvi Vyas
Wissenschaftliche Mitarbeiterin

Sigourney Luz
Kommunikationsmanagerin

Roger Fradera
Organisatorischer Leiter der Geschäftsstelle

Malek Belkacemi
IT-/Web-Manager

Apoorva Hasija
Publikationsmanagerin

Juliette Malley
Verwaltungsleiterin

Géninha Lisboa
Verwaltung der Geschäftsstelle

Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung

SPM

Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung

Autorinnen und Autoren des Entwurfs:

Jim Skea (Vereinigtes Königreich), Priyadarshi R Shukla (Indien), Andy Reisinger (Neuseeland), Raphael Slade (Vereinigtes Königreich), Minal Pathak (Indien), Alaa Al Khourdajie (Vereinigtes Königreich/Syrien), Renée van Diemen (Niederlande/Vereinigtes Königreich), Amjad Abdulla (Malediven), Keigo Akimoto (Japan), Mustafa Babiker (Sudan/Saudi-Arabien), Quan Bai (China), Igor Bashmakov (Russische Föderation), Christopher Bataille (Kanada), Göran Berndes (Schweden), Gabriel Blanco (Argentinien), Kornelis Blok (Niederlande), Mercedes Bustamante (Brasilien), Edward Byers (Österreich), Luisa F. Cabeza (Spanien), Katherine Calvin (Vereinigte Staaten von Amerika), Carlo Carraro (Italien), Leon Clarke (Vereinigte Staaten von Amerika), Annette Cowie (Australien), Felix Creutzig (Deutschland), Diriba Korecha Dadi (Äthiopien), Dipak Dasgupta (Indien), Heleen de Coninck (Niederlande), Fatima Denton (Gambia), Shobhakar Dhakal (Nepal/Thailand), Navroz K. Dubash (Indien), Oliver Geden (Deutschland), Michael Grubb (Vereinigtes Königreich), Céline Guivarch (Frankreich), Shreekant Gupta (Indien), Andrea Hahmann (Chile), Kirsten Halsnaes (Dänemark), Paulina Jaramillo (Vereinigte Staaten von Amerika), Kejun Jiang (China), Frank Jotzo (Australien), Tae Yong Jung (Republik Korea), Suzana Kahn Ribeiro (Brasilien), Smail Khennas (Algerien), Şiir Kılkış (Türkei), Silvia Kreibiehl (Deutschland), Volker Krey (Österreich), Elmar Kriegler (Deutschland), William Lamb (Deutschland), Franck Lecocq (Frankreich), Shuaib Lwasa (Uganda), Nagmeldin Mahmoud (Sudan), Cheikh Mbow (Senegal), David McCollum (Vereinigte Staaten von Amerika), Jan Christoph Minx (Deutschland), Catherine Mitchell (Vereinigtes Königreich), Rachid Mrabet (Marokko), Yacob Mulugetta (Äthiopien), Gert-Jan Nabuurs (Niederlande), Gregory Nemet (Vereinigte Staaten von Amerika/Kanada), Peter Newman (Australien), Leila Niamir (Deutschland/Iran), Lars J. Nilsson (Schweden), Sudarmanto Budi Nugroho (Indonesien), Chukwumerije Okereke (Nigeria/Vereinigtes Königreich), Shonali Pachauri (Indien), Anthony Patt (Schweiz), Ramón Pichs-Madruga (Kuba), Joana Portugal Pereira (Brasilien), Lavanya Rajamani (Indien), Keywan Riahi (Österreich), Joyashree Roy (Indien/Thailand), Yamina Saheb (Frankreich/Algerien), Roberto Schaeffer (Brasilien), Karen Seto (Vereinigte Staaten von Amerika), Shreya Some (Indien), Linda Steg (Niederlande), Ferenc L. Toth (Ungarn), Diana Ürge-Vorsatz (Ungarn), Detlef van Vuuren (Niederlande), Elena Verdolini (Italien), Purvi Vyas (Indien), Yi-Ming Wei (China), Mariama Williams (Jamaika/Vereinigte Staaten von Amerika), Harald Winkler (Republik Südafrika).

Mitwirkende Autorinnen und Autoren:

Parth Bhatia (Indien), Sarah Burch (Kanada), Jeremy Emmet-Booth (Neuseeland), Jan S. Fuglestvedt (Norwegen), Meredith Kelller (Vereinigte Staaten von Amerika), Jarmo Kikstra (Österreich/Niederlande), Michael König (Deutschland), Malte Meinshausen (Australien/Deutschland), Zebedee Nicholls (Australien), Kaj-Ivar van der Wijst (Niederlande).

A. Einleitung und Rahmensetzung

Der Beitrag der Arbeitsgruppe III (*Working Group III*, WG III) zum Sechsten IPCC-Sachstandsbericht (AR6) bewertet die Literatur zu den wissenschaftlichen, technologischen, ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten der Minderung des Klimawandels aus wissenschaftlicher Sicht[1]. Vertrauensniveaus[2] sind in runden Klammern () angegeben. Numerische Bandbreiten sind in eckigen Klammern [] angegeben. Verweise auf Kapitel, Abschnitte, Abbildungen und Boxen im zugrundeliegenden Bericht und in der Technischen Zusammenfassung (*Technical Summary*, TS) sind in geschweiften Klammern {} angegeben.

Der Bericht spiegelt neue Erkenntnisse aus der einschlägigen Literatur wider und stützt sich auf frühere IPCC-Berichte, einschließlich des Beitrags von Arbeitsgruppe III zum Fünften Sachstandsbericht des IPCC (AR5), der Beiträge der Arbeitsgruppen I und II zum AR6 und der drei Sonderberichte des Sechsten Berichtszyklus[3] sowie auf andere wissenschaftliche Berichte im UN-Kontext. Einige der wichtigsten Entwicklungen, die für diesen Bericht relevant sind, sind {TS.1, TS.2}:

- **Internationaler Kontext im Wandel.** In der Literatur spiegeln sich unter anderem folgende Faktoren wider: die Entwicklungen beim Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (*United Nations Framework Convention on Climate Change*, UNFCCC), einschließlich der Ergebnisse des Kyoto-Protokolls und der Verabschiedung des Übereinkommens von Paris {13, 14, 15, 16}; die UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung, einschließlich der Ziele für nachhaltige Entwicklung (*Sustainable Development Goals*, SDG) {1, 3, 4, 17}; sowie die sich verändernden Rollen von internationaler Zusammenarbeit {14}, Finanzierung {15} und Innovation {16}.

- **Zunehmende Vielfalt von Akteuren und von Ansätzen zur Minderung des Klimawandels.** In der neueren Literatur wird die wachsende Rolle von nichtstaatlichen und subnationalen Akteuren wie Städten, Unternehmen, indigenen Völkern, Bürgerinnen und Bürgern einschließlich lokaler Gemeinschaften und Jugendlicher, transnationalen Initiativen und öffentlich-privaten Einrichtungen bei den globalen Anstrengungen zur Bekämpfung des Klimawandels hervorgehoben {5, 13, 14, 15, 16, 17}. Die Literatur dokumentiert die weltweite Verbreitung klimapolitischer Maßnahmen und den Kostenrückgang bei bestehenden und neu aufkommenden emissionsarmen Technologien sowie unterschiedliche Ansätze und Niveaus von Bemühungen zur Minderung des Klimawandels und eine nachhaltige Verringerung der Treibhausgasemissionen in einigen Ländern {2, 5, 6, 8, 12, 13, 16} sowie die Auswirkungen der COVID-19-Pandemie und einige Lehren daraus. {1, 2, 3, 5, 13, 15, Box TS.1, Cross-Chapter Box1 in Kapitel 1}

- **Enge Verknüpfungen zwischen Minderung des Klimawandels, der Anpassung daran und Entwicklungspfaden.** Die von Ländern in allen Phasen der wirtschaftlichen Entwicklung eingeschlagenen Entwicklungspfade wirken sich auf die Treibhausgasemissionen aus und bestimmen somit die Herausforderungen und Möglichkeiten bei der Minderung des Klimawandels, die je nach Land und Region unterschiedlich sind. In der Literatur wird untersucht, wie Entwicklungsentscheidungen und die Schaffung günstiger Rahmenbedingungen für Maßnahmen und Unterstützung die Machbarkeit und die Kosten der Emissionsbegrenzung beeinflussen {1, 3, 4, 5, 13, 15, 16}. In der Literatur wird hervorgehoben, dass Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels, die im Kontext von nachhaltiger Entwicklung, Gerechtigkeit und Armutsbekämpfung konzipiert und durchgeführt werden und die in den Entwicklungsbestrebungen derjenigen Gesellschaften, in denen sie stattfinden, verwurzelt sind, besser akzeptiert werden sowie dauerhafter und

---

[1] Der Bericht umfasst Literatur, die bis zum 11. Oktober 2021 zur Veröffentlichung angenommen wurde.

[2] Jede Erkenntnis stützt sich auf eine Bewertung der zugrundeliegenden Belege und der Übereinstimmung. Ein Vertrauensniveau wird unter Verwendung von fünf Abstufungen angegeben und kursiv gesetzt: *sehr gering, gering, mittel, hoch* und *sehr hoch*. Folgende Begriffe wurden verwendet, um die bewertete Wahrscheinlichkeit eines Ergebnisses anzugeben: *praktisch sicher* 99–100 %, *sehr wahrscheinlich* 90–100 %, *wahrscheinlich* 66–100 %, *eher wahrscheinlich als nicht* 50–100 %, *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* 33–66 %, unwahrscheinlich 0–33 %, *sehr unwahrscheinlich* 0–10 % und *besonders unwahrscheinlich* 0–1 %. Zusätzliche Begriffe können ebenfalls verwendet werden wo angebracht, in Übereinstimmung mit den IPCC-Leitlinien zur Unsicherheit: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/uncertainty-guidance-note.pdf.

Anmerkung der Übersetzerin: 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.

[3] Die drei Sonderberichte sind: 1,5 °C globale Erwärmung. Ein IPCC-Sonderbericht über die Folgen einer globalen Erwärmung um 1,5 °C gegenüber vorindustriellem Niveau und die damit verbundenen globalen Treibhausgasemissionspfade im Zusammenhang mit einer Stärkung der weltweiten Reaktion auf die Bedrohung durch den Klimawandel, nachhaltiger Entwicklung und Anstrengungen zur Beseitigung von Armut (2018); Klimawandel und Landsysteme. Ein IPCC-Sonderbericht über Klimawandel, Desertifikation, Landdegradierung, nachhaltiges Landmanagement, Ernährungssicherheit und Treibhausgasflüsse in terrestrischen Ökosystemen (2019); IPCC-Sonderbericht über den Ozean und die Kryosphäre in einem sich wandelnden Klima (2019).

wirksamer sind {1, 3, 4, 5}. Dieser Bericht befasst sich mit der Minderung des Klimawandels sowohl durch gezielte Maßnahmen als auch durch Politik und Governance mit anderen Hauptzielen.

- **Neue Ansätze der wissenschaftlichen Bewertung.** Zusätzlich zu den sektoralen und systembezogenen Kapiteln {3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12} enthält der Bericht zum ersten Mal in einem WGIII-Bericht Kapitel über die Nachfrage nach Dienstleistungen und soziale Aspekte der Minderung des Klimawandels {5, Box TS.11} sowie über Innovation, Technologieentwicklung und -transfer {16}. Die Auswertung zukünftiger Pfade in diesem Bericht deckt die nahe Zukunft (bis 2030) sowie mittelfristige (bis 2050) und langfristige (bis 2100) Zeiträume ab. Dabei kombiniert sie die Analyse bestehender Zusicherungen und Maßnahmen {4, 5} mit der Betrachtung der Emissionsreduktionen (und deren Konsequenzen), die mit den langfristig daraus resultierenden Temperaturen bis zum Jahr 2100 in Verbindung stehen {3}[4]. Die Betrachtung modellierter globaler Pfade befasst sich mit der Frage, wie Entwicklungspfade in Richtung Nachhaltigkeit umgelenkt werden können. Eine verstärkte Zusammenarbeit zwischen den IPCC-Arbeitsgruppen spiegelt sich in den *Cross-Working Group Boxes* wider, die naturwissenschaftliche Erkenntnisse, Klimarisiken und Anpassung sowie die Minderung des Klimawandels integrieren.[5]

- **Zunehmende Vielfalt von analytischen Ansätzen aus verschiedenen Disziplinen, einschließlich der Sozialwissenschaften.** In diesem Bericht werden mehrere analytische Ansätze zur wissenschaftlichen Bewertung von Antriebsfaktoren, Hürden und Optionen für Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels vorgestellt. Dazu gehören: Wirtschaftliche Effizienz (einschließlich der Vorteile vermiedener Folgen), Ethik und Gerechtigkeit, miteinander verknüpfte technologische und soziale Veränderungsprozesse sowie der gesellschaftspolitische Rahmen, einschließlich Institutionen und Governance {1, 3, 13, Cross-Chapter Box 12 in Kapitel 16}. Diese tragen dazu bei, Risiken und Chancen zum Handeln zu ermitteln, darunter auch positive Nebeneffekte und gerechten und ausgewogenen Wandel auf lokaler, nationaler und globaler Ebene. {1, 3, 4, 5, 13, 14, 16, 17}

Abschnitt B dieser Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung (*Summary for Policymakers*, SPM) betrachtet *Jüngste Entwicklungen und aktuelle Trends*, einschließlich Datenunsicherheiten und -lücken. Abschnitt C, *Systemtransformationen zur Begrenzung der globalen Erwärmung*, identifiziert Emissionspfade und alternative Portfolios zur Minderung des Klimawandels, die mit einer Begrenzung der globalen Erwärmung auf verschiedene Niveaus vereinbar sind, und bewertet spezifische Optionen zur Minderung des Klimawandels auf sektoraler und Systemebene. Abschnitt D befasst sich mit den *Zusammenhängen zwischen Minderung, Anpassung und nachhaltiger Entwicklung*. Abschnitt E, *Stärkung der Reaktion,* wertet das Wissen darüber aus, wie förderliche Rahmenbedingungen bei institutioneller Gestaltung, politischer Strategie, Finanzierung, Innovation und die Gestaltung von Governance zur Minderung des Klimawandels im Kontext von nachhaltiger Entwicklung beitragen können.

---

[4] Der Begriff "Temperatur" bezieht sich überall in dieser Zusammenfassung für die politische Entscheidungsfindung auf "globale Oberflächentemperaturen", wie in Fußnote 8 der AR6 WGI SPM definiert (siehe Fußnote 14 in Tabelle SPM.2). Die Emissionspfade und die damit verbundenen Temperaturänderungen werden anhand von Modellen unterschiedlicher Art berechnet, wie in Box SPM.1 und Kapitel 3 zusammengefasst und in Annex III erörtert.

[5] Als da sind: Wirtschaftlicher Nutzen von vermiedenen Klimafolgen entlang langfristiger Minderungspfade/*Economic Benefits from Avoided Climate Impacts along Long-Term Mitigation Pathways* {Cross-Working Group Box 1 in Kapitel 3}; Urban: Städte und Klimawandel/*Urban: Cities and Climate Change* {Cross-Working Group Box 2 in Kapitel 8}; und Minderung und Anpassung durch Bioökonomie/*Mitigation and Adaptation via the Bioeconomy* {Cross-Working Group Box 3 in Kapitel 12}.

B. Jüngste Entwicklungen und aktuelle Trends

B.1 Die gesamten anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen[6] sind im Zeitraum 2010–2019 weiter gestiegen, ebenso wie die kumulierten Netto-CO_2-Emissionen seit 1850. Die durchschnittlichen jährlichen Treibhausgasemissionen waren im Zeitraum 2010–2019 höher als in jedem vorangegangenen Jahrzehnt, aber die Wachstumsgeschwindigkeit zwischen 2010 und 2019 war niedriger als diejenige zwischen 2000 und 2009. *(hohes Vertrauen)* (Abbildung SPM.1) {Abbildung 2.2, Abbildung 2.5, Tabelle 2.1, 2.2, Abbildung TS.2}

B.1.1 Die globalen anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen lagen 2019 bei 59 ± 6,6 Gt CO_2Äq[7,8], etwa 12 % (6,5 Gt CO_2Äq) höher als 2010 und 54 % (21 Gt CO_2Äq) höher als 1990. Der Jahresdurchschnitt während des Jahrzehnts 2010–2019 lag bei 56 ± 6,0 Gt CO_2Äq, 9,1 Gt CO_2Äq pro Jahr höher als in den Jahren 2000 bis 2009. Dies ist der höchste Anstieg der jahrzehntweise gemittelten Emissionen seit Beginn der Aufzeichnungen. Die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate verlangsamte sich von 2,1 % pro Jahr zwischen 2000 und 2009 auf 1,3 % pro Jahr zwischen 2010 und 2019. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.1) {Abbildung 2.2, Abbildung 2.5, Tabelle 2.1, 2.2, Abbildung TS.2}

B.1.2 Die Zunahme der anthropogenen Emissionen hat sich seit 1990 bei allen Hauptgruppen von Treibhausgasen fortgesetzt, wenn auch mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten. Bis 2019 war der größte Zuwachs an absoluten Emissionen bei CO_2 aus fossilen Brennstoffen und der Industrie zu verzeichnen, gefolgt von CH_4, während der größte relative Zuwachs bei fluorierten Gasen zu verzeichnen war, ausgehend von niedrigen Werten im Jahr 1990 (*hohes Vertrauen*). Die anthropogenen Netto-CO_2-Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CO_2-LULUCF) sind mit großen Unsicherheiten und hohen jährlichen Schwankungen behaftet, wobei selbst bezüglich der Richtung des langfristigen Trends *geringes Vertrauen* besteht[9]. (Abbildung SPM.1) {Abbildung 2.2, Abbildung 2.5, 2.2, Abbildung TS.2}

B.1.3 Die historischen kumulierten Netto-CO_2-Emissionen von 1850 bis 2019 betragen 2400 ± 240 Gt CO_2 (*hohes Vertrauen*). Davon entstand mehr als die Hälfte (58 %) zwischen 1850 und 1989 [1400 ± 195 Gt CO_2], und etwa 42 % zwischen 1990 und 2019 [1000 ± 90 Gt CO_2]. Etwa 17 % der historischen kumulierten Netto-CO_2-Emissionen seit 1850 entstanden zwischen 2010 und 2019 [410 ± 30 Gt CO_2].[10] Zum Vergleich: Der Median von Berechnungen des ab 2020 verbleibenden CO_2-Budgets für die Begrenzung der Erwärmung auf 1,5 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % liegt derzeit bei 500 Gt CO_2 und für eine Wahrscheinlichkeit von 67 %, die Erwärmung

---

[6] Die Netto-Treibhausgasemissionen in diesem Bericht beziehen sich auf die Freisetzung von Treibhausgasen aus anthropogenen Quellen abzüglich Entnahmen durch anthropogene Senken, bezogen auf diejenigen Gasarten, die nach dem gemeinsamen Berichtsformat des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) gemeldet werden: CO_2 aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen (CO_2-FFI); Netto-CO_2-Emissionen aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CO_2-LULUCF); Methan (CH_4); Lachgas (N_2O) und fluorierte Gase (F-Gase), bestehend aus teilhalogenierten Fluorkohlenwasserstoffen (H-FKW), perfluorierten Kohlenwasserstoffen (PFC), Schwefelhexafluorid (SF_6) sowie Stickstofftrifluorid (NF_3). Es existieren verschiedene Datensätze für Treibhausgasemissionen mit unterschiedlichen Zeithorizonten und Abdeckungen von Sektoren und Gasen, darunter einige, die bis ins Jahr 1850 zurückreichen. In diesem Bericht werden die Treibhausgasemissionen ab 1990 betrachtet, die CO_2-Emissionen manchmal auch ab 1850. Gründe hierfür sind unter anderem die Verfügbarkeit und Belastbarkeit der Daten, der thematische Bereich der ausgewerteten Literatur und die unterschiedlichen Erwärmungsbeiträge von Nicht-CO_2-Gasen im Laufe der Zeit.

[7] Emissionsmetriken für Treibhausgase werden verwendet, um die Emissionen verschiedener Treibhausgase in einer gemeinsamen Einheit auszudrücken. Die aggregierten Treibhausgasemissionen in diesem Bericht werden in CO_2Äquivalenten (CO_2Äq) angegeben, wobei das globale Erwärmungspotenzial mit einem Zeithorizont von 100 Jahren (GWP100) mit Werten auf der Grundlage des Beitrags der Arbeitsgruppe I zum AR6 verwendet wird. Die Wahl der Metrik hängt von der Zielsetzung der Analyse ab, und alle Emissionsmetriken für Treibhausgase haben Grenzen und sind mit Unsicherheiten verbunden, da sie die Komplexität des physikalischen Klimasystems und seine Reaktion auf vergangene und zukünftige Treibhausgasemissionen vereinfachen. {Cross-Chapter Box 2 in Kapitel 2, Supplementary Material 2.SM.3, Box TS.2; AR6 WGI Kapitel 7 Supplementary Material}

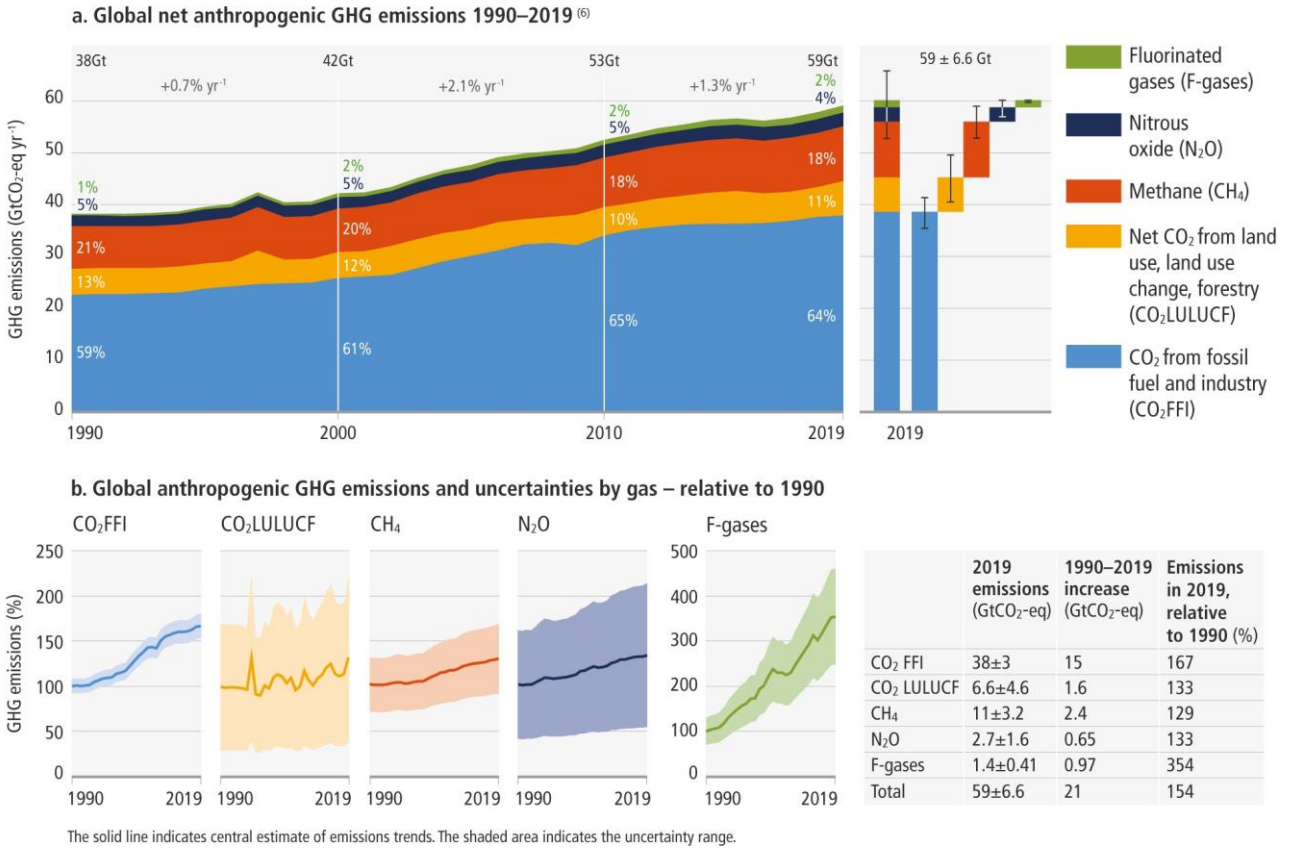
[8] In dieser SPM wird die Unsicherheit bezüglich der historischen Treibhausgasemissionen unter Verwendung von 90 %-Unsicherheitsintervallen angegeben, sofern nicht anders angegeben. Die Treibhausgasemissionswerte werden auf zwei signifikante Stellen gerundet; daher können kleine rundungsbedingte Differenzen in den Summen auftreten.

[9] Globale Datenbanken treffen unterschiedliche Festlegungen darüber, welche Emissionen und welche Entnahmen an Land als anthropogen betrachtet werden. Gegenwärtig werden die hier verwendeten Netto-CO_2-Flüsse aus Landsystemen, die von den globalen Bilanzierungsmodellen gemeldet werden, auf ca. 5,5 Gt CO pro Jahr höher geschätzt als die aggregierten globalen Nettoemissionen auf der Grundlage nationaler Treibhausgasinventare. Dieser Unterschied, der in der Literatur berücksichtigt wurde, spiegelt hauptsächlich Unterschiede in der Definition von anthropogenen Waldsenken und bewirtschafteten Flächen wider. Andere Gründe für diesen Unterschied, die schwieriger zu quantifizieren sind, können sich aus der begrenzten Darstellung von Landmanagement in globalen Modellen sowie unterschiedlicher Genauigkeit und Vollständigkeit der geschätzten LULUCF-Flüsse in nationalen Treibhausgasinventaren ergeben. Keine der beiden Methoden ist grundsätzlich vorzuziehen. Selbst wenn derselbe methodische Ansatz angewandt wird, kann die große Unsicherheit der CO_2-LULUCF-Emissionen zu erheblichen Revisionen in den Emissionsschätzungen führen. {Cross-Chapter Box 3 in Kapitel 3, 7.2, SRCCL SPM A.3.3}

[10] Um mit WGI übereinzustimmen, werden die historischen kumulierten CO_2-Emissionen von 1850–2019 mit einem Konfidenzintervall von 68 % angegeben.

auf 2 °C zu begrenzen, bei 1150 Gt CO_2. Die verbleibenden CO_2-Budgets hängen von dem Ausmaß der Emissionsminderung bei anderen klimawirksamen Substanzen als CO_2 ab (± 220 Gt CO_2) und unterliegen außerdem geophysikalischen Unsicherheiten. Vergleicht man ausschließlich auf den Medianen der Berechnungen basierend, entsprechen die kumulierten Netto-CO_2-Emissionen zwischen 2010 und 2019 etwa vier Fünfteln des ab 2020 verbleibenden CO_2-Budgets für eine Wahrscheinlichkeit von 50 %, die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen, und etwa einem Drittel des verbleibenden CO_2-Budgets für eine Wahrscheinlichkeit von 67 %, die globale Erwärmung auf 2 °C zu begrenzen. Selbst wenn man die Unsicherheiten berücksichtigt, machen die historischen Emissionen zwischen 1850 und 2019 einen großen Teil des gesamten CO_2-Budgets für diese globalen Erwärmungsniveaus aus[11,12]. In Auswertungen, die ausschließlich auf den berechneten Medianen basieren, belaufen sich die historischen kumulierten Netto-CO_2-Emissionen zwischen 1850 und 2019 auf etwa vier Fünftel[12] des gesamten CO_2-Budgets für die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 1,5 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % (Median etwa 2900 Gt CO_2) und auf etwa zwei Drittel[12] des gesamten CO_2-Budgets für die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % (Median etwa 3550 Gt CO_2). {Abbildung 2.7, 2.2, Abbildung TS.3, WGI Tabelle SPM.2}

Global net anthropogenic emissions have continued to rise across all major groups of greenhouse gases.



	2019 emissions ($GtCO_2$-eq)	1990–2019 increase ($GtCO_2$-eq)	Emissions in 2019, relative to 1990 (%)
CO_2 FFI	38±3	15	167
CO_2 LULUCF	6.6±4.6	1.6	133
CH_4	11±3.2	2.4	129
N_2O	2.7±1.6	0.65	133
F-gases	1.4±0.41	0.97	354
Total	59±6.6	21	154

Abbildung SPM.1 | Globale anthropogene Netto-Treibhausgasemissionen (Gt CO_2Äq pro Jahr) 1990–2019

Die globalen anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen umfassen CO_2 aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen (CO_2- FFI), Netto-

[11] Das CO_2-Budget ist die maximale Menge an kumulierten globalen anthropogenen Netto-CO_2-Emissionen, die dazu führen würde, dass die globale Erwärmung mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit auf ein bestimmtes Niveau begrenzt würde, wobei die Wirkung anderer anthropogener klimatischer Antriebsfaktoren berücksichtigt wird. Bezieht sich die Angabe auf die kumulierten Emissionen seit der vorindustriellen Zeit, wird der Begriff „gesamtes CO_2-Budget" genutzt; bezieht man sich auf die kumulierten Emissionen seit einem bestimmten Datum in der nahen Vergangenheit, wird dies als „verbleibendes CO_2-Budget" bezeichnet. Die hier angegebenen gesamten CO_2-Budgets sind die Summe der historischen Emissionen von 1850 bis 2019 und der verbleibenden CO_2-Budgets ab 2020 bis zum Erreichen von weltweit netto Null CO_2-Emissionen. {Annex I: Glossar; WGI SPM}

[12] Die Unsicherheiten bezüglich der gesamten CO_2-Budgets wurden nicht untersucht und könnten sich auf die spezifischen berechneten Anteile auswirken.

CO_2 aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CO_2-LULUCF)[9], Methan (CH_4), Lachgas (N_2O) und fluorierte Gase (H-FKW; PFC, SF_6, NF_3).[6] **Tafel a** zeigt die aggregierten jährlichen globalen anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen von 1990 bis 2019 nach Gasgruppen in Gt CO_2Äq, umgerechnet auf der Grundlage des globalen Erwärmungspotenzials mit einem Zeithorizont von 100 Jahren (GWP100-AR6) aus dem Sechsten Sachstandsbericht von IPCC-Arbeitsgruppe I (Kapitel 7). Der Anteil an den globalen Emissionen ist für jedes Gas für die Jahre 1990, 2000, 2010 und 2019 angegeben, ebenso wie die durchschnittliche jährliche Wachstumsrate zwischen diesen Jahrzehnten. Auf der rechten Seite von Tafel a sind die Treibhausgasemissionen im Jahr 2019 in einzelne Komponenten aufgeschlüsselt, wobei die zugehörigen Unsicherheiten (90 % Vertrauensintervall) durch die Fehlerbalken angegeben sind: CO_2-FFI ±8 %, CO_2-LULUCF ±70 %, CH_4 ±30 %, N_2O ±60 %, F-Gase ±30 %, Treibhausgase ±11 %. Unsicherheiten bezüglich der Treibhausgasemissionen werden im *Supplementary Material* zu Kapitel 2 betrachtet. Der einjährige Emissionsspitzenwert im Jahr 1997 ist auf höhere CO_2-LULUCF-Emissionen infolge eines Wald- und Torfbrandes in Südostasien zurückzuführen. **Tafel b** zeigt die globalen anthropogenen Emissionen von CO_2-FFI, Netto-CO_2-LULUCF, CH_4, N_2O und fluorierten Gasen einzeln für den Zeitraum 1990–2019, normalisiert auf 100 im Jahr 1990. Hinweis: Die berücksichtigten Emissionen fluorierter Gase sind auf einer anderen Skala dargestellt als die anderen Gase, wodurch ihr schnelles Wachstum von einem niedrigen Ausgangswert aus verdeutlicht wird. Die schattierten Flächen geben den Unsicherheitsbereich an. Die hier gezeigten Unsicherheitsbereiche sind spezifisch für einzelne Gruppen von Treibhausgasen und können nicht miteinander verglichen werden. Die Tabelle zeigt den Median für: die absoluten Emissionen im Jahr 2019, die absolute Veränderung der Emissionen zwischen 1990 und 2019 sowie die Emissionen im Jahr 2019, ausgedrückt als Prozentsatz der Emissionen von 1990. {2.2, Abbildung 2.5, Supplementary Material 2.2, Abbildung TS.2}

B.1.4 Die CO_2-FFI-Emissionen sanken in der ersten Jahreshälfte 2020 aufgrund der Reaktionen auf die COVID-19-Pandemie vorübergehend (*hohes Vertrauen*), stiegen aber bis zum Jahresende wieder an (*mittleres Vertrauen*). Die CO_2-FFI-Emissionsreduktion im Jahr 2020 betrug im Jahresdurchschnitt gegenüber 2019 etwa 5,8 % [5,1–6,3 %] oder 2,2 [1,9–2,4] Gt CO_2 (*hohes Vertrauen*). Die Auswirkung der COVID-19-Pandemie auf die gesamten Treibhausgasemissionen konnte nicht bewertet werden, da keine Daten zu den Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen im Jahr 2020 vorlagen. {Cross-Chapter Box 1 in Kapitel 1, Abbildung 2.6, 2.2, Box TS.1, Box TS.1 Abbildung 1}

B.2 Die anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen sind seit 2010 in allen wichtigen Sektoren weltweit gestiegen. Ein zunehmender Anteil der Emissionen kann städtischen Gebieten zurückgeordnet werden. Die CO_2-Emissionsrückgänge aus fossilen Brennstoffen und industriellen Prozessen aufgrund von Verbesserungen bei der Energieintensität des BIP und der Kohlenstoffintensität von Energie waren geringer als die Emissionszunahmen aufgrund der steigenden globalen Aktivitäten in Industrie, Energieversorgung, Verkehr, Landwirtschaft und Gebäuden. *(hohes Vertrauen)* {2.2, 2.4, 6.3, 7.2, 8.3, 9.3, 10.1, 11.2}

B.2.1 Im Jahr 2019 stammten etwa 34 % [20 Gt CO_2Äq] der gesamten anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen aus dem Energieversorgungssektor, 24 % [14 Gt CO_2Äq] aus der Industrie, 22 % [13 Gt CO_2Äq] aus Land- und Forstwirtschaft sowie sonstiger Landnutzung (AFOLU), 15 % [8,7 Gt CO_2Äq] aus dem Verkehr und 6 % [3,3 Gt CO_2Äq] aus dem Gebäudesektor.[13] Werden die Emissionen aus der Strom- und Wärmeerzeugung denjenigen Sektoren zugerechnet, die die Endenergie nutzen, so entfallen 90 % dieser indirekten Emissionen auf die Sektoren Industrie und Gebäude, wodurch deren relativer Anteil an den Treibhausgasemissionen von 24 % auf 34 % beziehungsweise von 6 % auf 16 % steigt. Nach dieser Umwidmung der Emissionen aus der Strom- und Wärmeerzeugung entfallen auf den Energieversorgungssektor 12 % der globalen anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen. (*hohes Vertrauen*) {Abbildung 2.12, 2.2, 6.3, 7.2, 9.3, 10.1, 11.2, Abbildung TS.6}

B.2.2 Der durchschnittliche jährliche Anstieg der Treibhausgasemissionen zwischen 2010 und 2019 verlangsamte sich im Vergleich zum vorangegangenen Jahrzehnt in der Energieversorgung [von 2,3 % auf 1,0 %] und in der Industrie [von 3,4 % auf 1,4 %], blieb aber im Verkehrssektor mit etwa 2 % pro Jahr etwa konstant *(hohes Vertrauen)*. Der Emissionsanstieg im AFOLU-Sektor, der Emissionen aus der Landwirtschaft (hauptsächlich CH_4 und N_2O) sowie aus der Forstwirtschaft und der sonstigen Landnutzung (hauptsächlich CO_2) umfasst, ist aufgrund des hohen Anteils der CO_2-LULUCF-Emissionen und ihrer großen Unsicherheiten unsicherer als in anderen Sektoren (*mittleres Vertrauen*). Etwa die Hälfte der gesamten Netto-AFOLU-Emissionen stammen aus CO_2-LULUCF, vor

[13] Sektordefinitionen sind in Annex II 9.1 zu finden.

allem aus der Entwaldung.[14] (*mittleres Vertrauen*). {Abbildung 2.13, 2.2, 6.3, 7.2, Abbildung 7.3, 9.3, 10.1, 11.2, TS.3}

B.2.3 Der weltweite Anteil der Emissionen, der städtischen Gebieten zugeordnet werden kann, nimmt zu. Im Jahr 2015 wurden die städtischen Emissionen mit 25 Gt CO_2Äq (etwa 62 % des globalen Anteils) und im Jahr 2020 auf 29 Gt CO_2Äq (67–72 % des globalen Anteils) beziffert.[15] Die Antriebsfaktoren von städtischen Treibhausgasemissionen sind komplex und umfassen die Bevölkerungsgröße, das Einkommen, den Grad der Verstädterung und die Stadtform. (*hohes Vertrauen*) {8.1, 8.3}

B.2.4 Die globale Energieintensität (Gesamtprimärenergie pro Einheit BIP) sank zwischen 2010 und 2019 um 2 % pro Jahr. Die Kohlenstoffintensität (CO_2 aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen (CO_2 FFI) pro Einheit Primärenergie) sank im selben Zeitraum hauptsächlich aufgrund der Umstellung von Kohle auf Gas, des geringeren Ausbaus von Kohlekapazitäten und der verstärkten Nutzung erneuerbarer Energien um 0,3 % pro Jahr, wobei große regionale Unterschiede bestanden. Damit kehrte sich der für 2000–2009 beobachtete Trend um. Zum Vergleich: Die Kohlenstoffintensität der Primärenergie wird Projektionen zufolge zwischen 2020 und 2050 in Modellszenarien, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, weltweit um etwa 3,5 % pro Jahr sinken und in Szenarien, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, weltweit um etwa 7,7 % pro Jahr.[16] (*hohes Vertrauen*) {Abbildung 2.16, 2.2, 2.4, Tabelle 3.4, 3.4, 6.3}

B.3 Die regionalen Beiträge[17] zu den globalen Treibhausgasemissionen sind weiterhin sehr unterschiedlich. Die Unterschiede bei regionalen und nationalen Pro-Kopf-Emissionen spiegeln zum Teil unterschiedliche Entwicklungsstadien wider, variieren aber auch bei ähnlichen Einkommensniveaus sehr stark. Die 10 % der Haushalte mit den höchsten Pro-Kopf-Emissionen tragen einen unverhältnismäßig großen Anteil zu den weltweiten Treibhausgasemissionen von Haushalten bei. Mindestens 18 Länder haben ihre Treibhausgasemissionen über mehr als 10 Jahre anhaltend gesenkt. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2) {Abbildung 1.1, Abbildung 2.9, Abbildung 2.10, Abbildung 2.25, 2.2, 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, Abbildung TS.4, Abbildung TS.5}

B.3.1 Die Trends bei den Treibhausgasemissionen im Zeitraum 1990–2019 variieren stark von Region zu Region, im Laufe der Zeit und je nach Entwicklungsstadium, wie in Abbildung SPM.2 dargestellt. Die globalen durchschnittlichen anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen pro Kopf stiegen von 7,7 auf 7,8 t CO_2Äq [pro Jahr], je nach Region zwischen 2,6 t CO_2Äq und 19 t CO_2Äq. Die am wenigsten entwickelten Länder (*least developed countries*, LDCs) und die Kleinen Inselentwicklungsländer (*Small Island Development States*, SIDS) haben sehr viel niedrigere Pro-Kopf-Emissionen (1,7 t CO_2Äq bzw. 4,6 t CO_2Äq) als der globale Durchschnitt (6,9 t CO_2Äq), CO_2-LULUCF nicht einbezogen[18]. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2) {Abbildung 1.2, Abbildung 2.9, Abbildung 2.10, 2.2, Abbildung TS.4}

---

[14] Landsysteme stellten für den Zeitraum 2010–2019 insgesamt eine Nettosenke von -6,6 (±4,6) Gt CO_2 pro Jahr dar, bestehend aus einer Bruttosenke von -12,5 (±3,2) Gt CO_2 pro Jahr, die sich aus den Reaktionen aller Landsysteme sowohl auf anthropogene Umweltveränderungen als auch auf natürliche Klimaschwankungen ergab, und aus den anthropogenen CO_2- LULUCF-Nettoemissionen von +5,7 (±4,0) Gt CO_2 pro Jahr basierend auf Bilanzierungsmodellen. {Tabelle 2.1, 7.2, Tabelle 7.1}

[15] Diese Abschätzung basiert auf einer verbrauchsbasierten Bilanzierung, die sowohl direkte Emissionen von innerhalb der städtischen Gebiete umfasst als auch indirekte Emissionen von außerhalb der städtischen Gebiete im Zusammenhang mit der Produktion von Strom, Waren und Dienstleistungen, die in Städten verbraucht werden. Diese Angaben umfassen alle CO_2- und CH_4-Emissionskategorien mit Ausnahme von Flugverkehr und Schweröl für den Schiffsverkehr, Landnutzungsänderungen, Forst- und Landwirtschaft. {8.1, Annex I: Glossar}

[16] Siehe Box SPM.1 für die Kategorisierung der modellierten langfristigen Emissionsszenarien auf der Grundlage der in diesem Bericht angenommenen projizierten resultierenden Temperaturen und damit verbundenen Wahrscheinlichkeiten.

Anmerkung der Übersetzerin: Überschreitungspfade sind Pfade, die zunächst ein bestimmtes Konzentrations-, Antriebs- oder Erwärmungsniveau überschreiten und dann vor Ablauf eines bestimmten Zeitraums (z. B. vor 2100) wieder auf oder unter dieses Niveau zurückkehren (siehe Glossary).

[17] Für die in diesem Bericht verwendeten regionalen Klassifikationen siehe Annex II, Teil 1, des Beitrags der Arbeitsgruppe III.

[18] Im Jahr 2019 haben die am wenigsten entwickelten Länder schätzungsweise 3,3 % der weltweiten Treibhausgasemissionen und die Kleinen Inselentwicklungsländer schätzungsweise 0,60 % der weltweiten Treibhausgasemissionen (ohne CO_2-LULUCF) emittiert. Diese Ländergruppierungen verlaufen quer zu geografischen Regionen und sind in Abbildung SPM.2 nicht separat dargestellt. {Abbildung 2.10}

B.3.2 Die historischen Beiträge zu den kumulierten anthropogenen Netto-CO_2-Emissionen zwischen 1850 und 2019 variieren erheblich von Region zu Region, nicht nur in Bezug auf die Gesamthöhe, sondern auch in Bezug auf die Beiträge zu den CO_2-FFI- (1650 ± 73 Gt CO_2Äq) beziehungsweise den Netto-CO_2-LULUCF-Emissionen (760 ± 220 Gt CO_2Äq)[10]. Weltweit ist der größte Teil der kumulierten CO_2-FFI-Emissionen in einigen wenigen Regionen konzentriert, während sich die kumulierten CO_2-LULUCF[9]-Emissionen in anderen Regionen konzentrieren. Die am wenigsten entwickelten Länder trugen zwischen 1850 und 2019 weniger als 0,4 % der historischen kumulierten CO_2-FFI-Emissionen bei, während die Kleinen Inselentwicklungsländer 0,5 % beitrugen. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2) {Abbildung 2.10, 2.2, TS.3, Abbildung 2.7}

B.3.3 Im Jahr 2019 lebten rund 48 % der Weltbevölkerung in Ländern, die im Durchschnitt mehr als 6 t CO_2Äq pro Kopf [und Jahr] emittieren (ohne CO_2-LULUCF). 35 % lebten in Ländern mit einem Pro-Kopf-Ausstoß von mehr als 9 t CO_2Äq. Weitere 41 % lebten in Ländern mit einem Pro-Kopf-Ausstoß von weniger als 3 t CO_2Äq. Ein erheblicher Teil der Bevölkerung in diesen Ländern mit niedrigen Emissionen hat keinen Zugang zu modernen Energiedienstleistungen[19]. Die Beseitigung von extremer Armut und von Energiearmut sowie die Gewährleistung eines angemessenen Lebensstandards[20] für alle Menschen in diesen Regionen im Zusammenhang mit der Verwirklichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung kann in naher Zukunft ohne einen signifikanten Anstieg der globalen Emissionen erreicht werden. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2) {Abbildung 1.2, 2.2, 2.4, 2.6, 3.7, 4.2, 6.7, Abbildung TS.4, Abbildung TS.5}

B.3.4 Weltweit tragen die 10 % der Haushalte mit den höchsten Pro-Kopf-Emissionen 34–45 % der globalen verbrauchsbasierten Treibhausgasemissionen von Haushalten bei[21], während die mittleren 40 % 40–53 % und die unteren 50 % 13–15 % beitragen. (*hohes Vertrauen*) {2.6, Abbildung 2.25}

B.3.5 Mindestens 18 Länder haben ihre produktions- und verbrauchsbasierte CO_2-Emissionen über mehr als 10 Jahre anhaltend gesenkt. Diese Reduktionen waren mit einer Dekarbonisierung der Energieversorgung, Steigerungen der Energieeffizienz und einer Senkung der Energienachfrage verbunden, die sowohl auf politische Maßnahmen als auch auf Veränderungen der Wirtschaftsstruktur zurückzuführen waren. Manche Länder haben die produktionsbedingten Treibhausgasemissionen seit deren Höchststand um ein Drittel oder mehr gesenkt, und manche haben mehrere Jahre hintereinander Reduktionsraten von etwa 4 % pro Jahr erreicht, vergleichbar mit den globalen Reduktionen in Szenarien, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen. Diese Reduktionen haben den globalen Emissionsanstieg nur teilweise ausgeglichen. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2) {Abbildung TS.4, 2.2, 1.3.2}

---

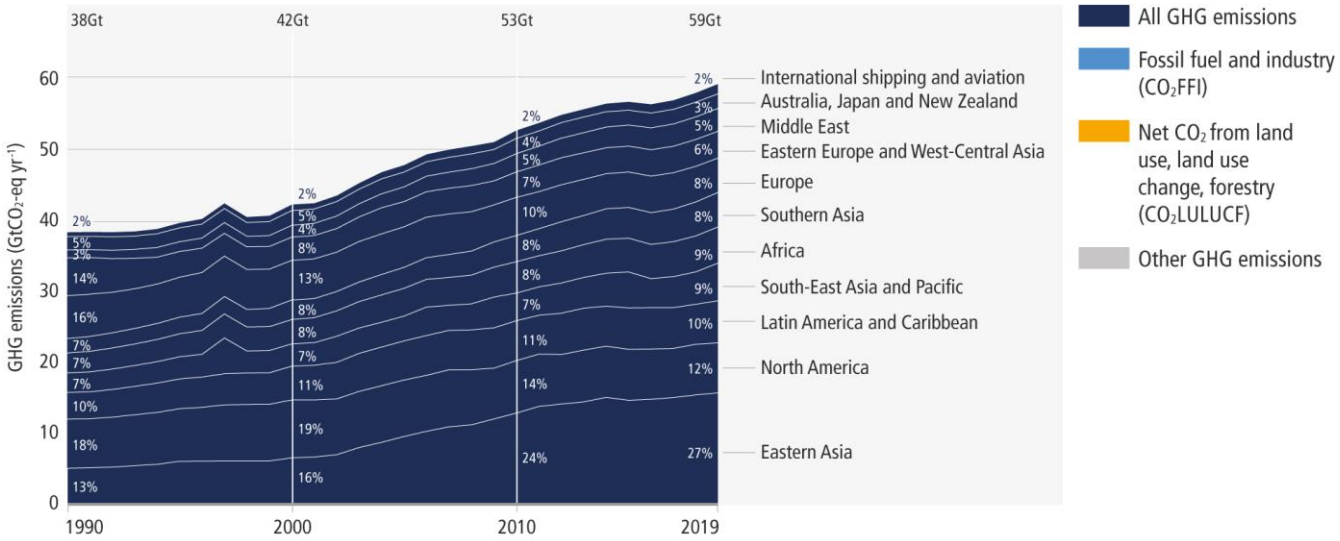
[19] In diesem Bericht wird der Zugang zu modernen Energiedienstleistungen als Zugang zu sauberen, zuverlässigen und erschwinglichen Energiedienstleistungen für Kochen und Heizen, Beleuchtung, Kommunikation und produktive Zwecke definiert {Annex I: Glossar}.

[20] In diesem Bericht wird ein angemessener Lebensstandard als eine Reihe von materiellen Mindestanforderungen definiert, die unerlässlich sind, um ein grundlegendes menschliches Wohlergehens zu erreichen, darunter Ernährung, Unterkunft, grundlegende Lebensbedingungen, Kleidung, Gesundheitsversorgung, Bildung und Mobilität. {5.1}

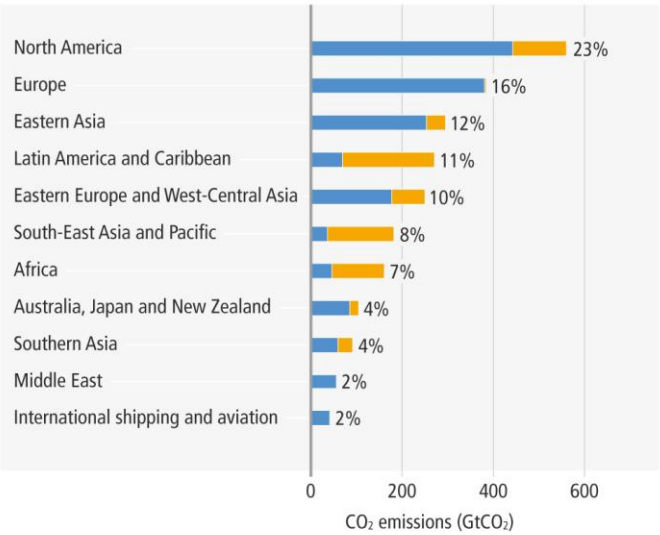
[21] Verbrauchsbasierte Emissionen beziehen sich auf Emissionen, die in die Atmosphäre abgegeben werden, um die von einer bestimmten Einheit (zum Beispiel einer Person, einem Unternehmen, einem Land oder einer Region) konsumierten Waren und Dienstleistungen zu erzeugen. Die unteren 50 % der Emittenten geben weniger als 3 USD KKP (Kaufkraftparität) pro Kopf und Tag aus. Die obersten 10 % der Emittenten (eine nach oben offene Kategorie) geben mehr als 23 USD KKP pro Kopf und Tag aus. Die große Bandbreite der Schätzungen für den Beitrag der oberen 10 % ist auf die große Bandbreite der Ausgaben in dieser Kategorie und die unterschiedlichen Methoden in der bewerteten Literatur zurückzuführen. {2.6, Annex I: Glossar}

Emissions have grown in most regions but are distributed unevenly, both in the present day and cumulatively since 1850.

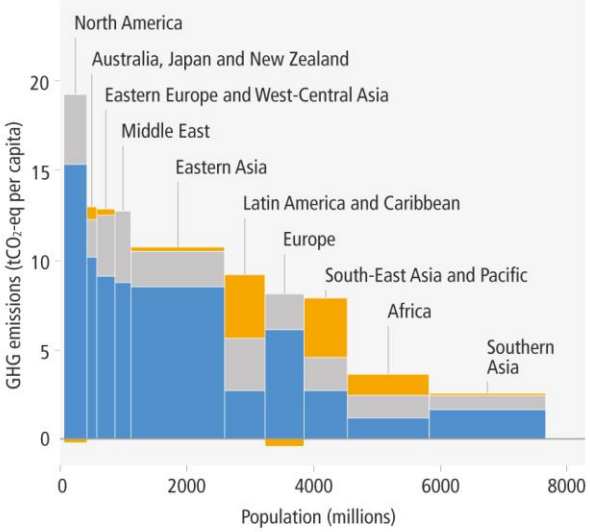
a. Global net anthropogenic GHG emissions by region (1990–2019)



b. Historical cumulative net anthropogenic CO_2 emissions per region (1850–2019)



c. Net anthropogenic GHG emissions per capita and for total population, per region (2019)



d. Regional indicators (2019) and regional production vs consumption accounting (2018)

	Africa	Australia, Japan, New Zealand	Eastern Asia	Eastern Europe, West-Central Asia	Europe	Latin America and Caribbean	Middle East	North America	South-East Asia and Pacific	Southern Asia
Population (million persons, 2019)	1292	157	1471	291	620	646	252	366	674	1836
GDP per capita ($USD1000_{ppp}2017$ per person)[1]	5.0	43	17	20	43	15	20	61	12	6.2
Net GHG 2019[2] (production basis)										
% GHG contributions	9%	3%	27%	6%	8%	10%	5%	12%	9%	8%
GHG emissions intensity (tCO_2-eq / $USD1000_{ppp}$ 2017)	0.78	0.30	0.62	0.64	0.18	0.61	0.64	0.31	0.65	0.42
GHG per capita (tCO_2-eq per person)	3.9	13	11	13	7.8	9.2	13	19	7.9	2.6
CO_2FFI, 2018, per person										
Production-based emissions (tCO_2FFI per person, based on 2018 data)	1.2	10	8.4	9.2	6.5	2.8	8.7	16	2.6	1.6
Consumption-based emissions (tCO_2FFI per person, based on 2018 data)	0.84	11	6.7	6.2	7.8	2.8	7.6	17	2.5	1.5

[1] GDP per capita in 2019 in USD2017 currency purchasing power basis.
[2] Includes CO_2FFI, CO_2LULUCF and Other GHGs, excluding international aviation and shipping.

The regional groupings used in this figure are for statistical purposes only and are described in Annex II, Part I.

Abbildung SPM.2 | Regionale Treibhausgasemissionen und der regionale Anteil an den gesamten kumulierten produktionsbedingten CO_2-Emissionen von 1850–2019

Tafel a zeigt die globalen anthropogenen Netto-Treibhausgasemissionen nach Regionen (in Gt CO_2Äq pro Jahr (GWP100 AR6)) für den Zeitraum 1990–2019[6]. Die Prozentsätze beziehen sich auf den Beitrag jeder Region zu den gesamten Treibhausgasemissionen im jeweiligen Zeitraum. Der einjährige Emissionsspitzenwert im Jahr 1997 ist auf höhere CO_2-LULUCF-Emissionen infolge eines Wald- und Torfbrandes in Südostasien zurückzuführen. Die Regionen sind wie in Annex II gruppiert. **Tafel b** zeigt den Anteil an den historischen kumulierten anthropogenen Netto-CO_2-Emissionen pro Region von 1850 bis 2019 in Gt CO_2. Dies umfasst CO_2 aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen (CO_2-FFI) und Netto-CO_2 aus Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (CO_2-LULUCF). Andere Treibhausgasemissionen sind nicht enthalten[6]. Die CO_2-LULUCF-Emissionen sind mit großen Unsicherheiten behaftet, was sich in einer globalen Unsicherheitsangabe von ±70 % (90% Vertrauensintervall) widerspiegelt. **Tafel c** zeigt die Verteilung der regionalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2019 in Tonnen CO_2Äq pro Kopf nach Regionen. Die Treibhausgasemissionen sind in folgende Kategorien eingeteilt: CO_2-FFI, Netto-CO_2-LULUCF und andere Treibhausgasemissionen (Methan, Lachgas, fluorierte Gase, ausgedrückt in CO_2Äq unter Verwendung von GWP100-AR6). Die Höhe jedes Rechtecks zeigt die Pro-Kopf-Emissionen, die Breite die Bevölkerung der Region, so dass die Fläche der Rechtecke den Gesamtemissionen der jeweiligen Region entspricht. Emissionen aus dem internationalen Luft- und Schiffsverkehr sind nicht enthalten. Bei zwei Regionen liegt die Fläche für CO_2-LULUCF unterhalb der Achse, was Netto-CO_2-Entnahmen statt -Emissionen anzeigt. Die CO_2-LULUCF-Emissionen sind mit großen Unsicherheiten behaftet, was sich in einer globalen Unsicherheitsangabe von ±70% (90% Vertrauensintervall) widerspiegelt. **Tafel d** zeigt die Bevölkerung, das BIP pro Person, Emissionskennzahlen nach Regionen im Jahr 2019 für prozentuale Treibhausgasbeiträge, gesamte Treibhausgase pro Person und gesamte Treibhausgasemissionsintensität sowie produktions- und verbrauchsbasierte CO_2-FFI-Daten, die in diesem Bericht bis 2018 bewertet werden. Verbrauchsbasierte Emissionen sind Emissionen, die in die Atmosphäre freigesetzt werden, um die von einer bestimmten Einheit (zum Beispiel einer Region) konsumierten Waren und Dienstleistungen zu erzeugen. Emissionen aus dem internationalen Luft- und Schiffsverkehr sind nicht enthalten. {1.3, Abbildung 1.2, 2.2, Abbildung 2.9, Abbildung 2.10, Abbildung 2.11, Annex II}

B.4 Die Einheitskosten einiger emissionsarmer Technologien sind seit 2010 kontinuierlich gesunken. Innovationspolitische Maßnahmenpakete haben diese Kostensenkungen ermöglicht und die weltweite Einführung gefördert. Sowohl maßgeschneiderte Maßnahmen als auch umfassende Strategien für Innovationssysteme haben dazu beigetragen, die Verteilungs-, Umwelt- und gesellschaftlichen Folgen, die potenziell mit der globalen Verbreitung emissionsarmer Technologien verbunden sind, zu überwinden. In Entwicklungsländern wurde Innovation aufgrund von weniger förderlichen Rahmenbedingungen verzögert. Digitalisierung kann Emissionssenkungen ermöglichen, kann aber auch negative Nebeneffekte haben, wenn sie nicht angemessen gesteuert wird. *(hohes Vertrauen)* (Abbildung SPM.3) {2.2, 6.3, 6.4, 7.2, 12.2, 16.2, 16.4, 16.5, Cross-Chapter Box 11 in Kapitel 16}

B.4.1 Von 2010 bis 2019 sind die Einheitskosten für Solarenergie (85 %), Windenergie (55 %) und Lithium-Ionen-Batterien (85 %) anhaltend gesunken, und ihr Einsatz hat stark zugenommen, zum Beispiel um mehr als das 10-fache für Solarenergie und um mehr als das 100-fache für Elektrofahrzeuge, wobei große regionale Unterschiede bestehen (Abbildung SPM.3). Der Mix an politischen Instrumenten, der die Kosten senkte und die Akzeptanz förderte, umfasst öffentliche F&E, die Finanzierung von Demonstrations- und Pilotprojekten sowie nachfragefördernde Instrumente wie zum Beispiel Einführungssubventionen, um den Einsatz im großen Maßstab zu erreichen. Die empirische Datenlage zeigt, dass die Kosten vieler großmaßstäblicher Technologien zur Minderung des Klimawandels, die weniger Möglichkeiten zum Dazulernen bieten, im Vergleich zu modularen Technologien in kleinen Einheiten nur minimal gesunken sind und ihre Akzeptanz nur langsam gewachsen ist. (*hohes Vertrauen*) {1.3, 1.5, Abbildung 2.5, 2.5, 6.3, 6.4, 7.2, 11.3, 12.2, 12.3, 12.6, 13.6, 16.3, 16.4, 16.6}

B.4.2 Auf den jeweiligen nationalen Kontext und auf technologische Merkmale zugeschnittene Strategiepakete haben sich bei der Förderung emissionsarmer Innovationen und der Verbreitung von Technologien als wirksam erwiesen. Angemessen konzipierte politische Strategien und Governance haben dazu beigetragen, Verteilungs- und Rebound-Effekte anzugehen. Innovation hat Möglichkeiten zur Emissionssenkung und zur Verringerung des Emissionsanstiegs eröffnet sowie soziale und ökologische positive Nebeneffekte geschaffen (*hohes Vertrauen*). Die Einführung von emissionsarmen Technologien hinkt in den meisten Entwicklungsländern hinterher, vor allem in den am wenigsten entwickelten, was zum Teil auf schwächere förderliche Rahmenbedingungen zurückzuführen ist, darunter begrenzte Finanzmittel, Technologieentwicklung und -transfer sowie Kapazitäten. In vielen Ländern, vor allem in solchen mit begrenzten institutionellen Kapazitäten, wurden infolge der Verbreitung emissionsarmer Technologien diverse negative Nebeneffekte beobachtet, zum Beispiel geringwertige Beschäftigung sowie Abhängigkeit von ausländischem Wissen und ausländischen Lieferanten. Emissionsarme Innovationen in Verbindung mit gestärkten förderlichen Rahmenbedingungen können Entwicklungsvorteile verstärken, was wiederum Rückkopplungen in Richtung einer größeren öffentlichen Unterstützung für die Strategie schaffen kann. *(mittleres Vertrauen)* {9.9, 13.6, 13.7, 16.3, 16.4, 16.5, 16.6, Cross-Chapter Box 12 in Kapitel 16, TS.3}

The unit costs of some forms of renewable energy and of batteries for passenger EVs have fallen, and their use continues to rise.

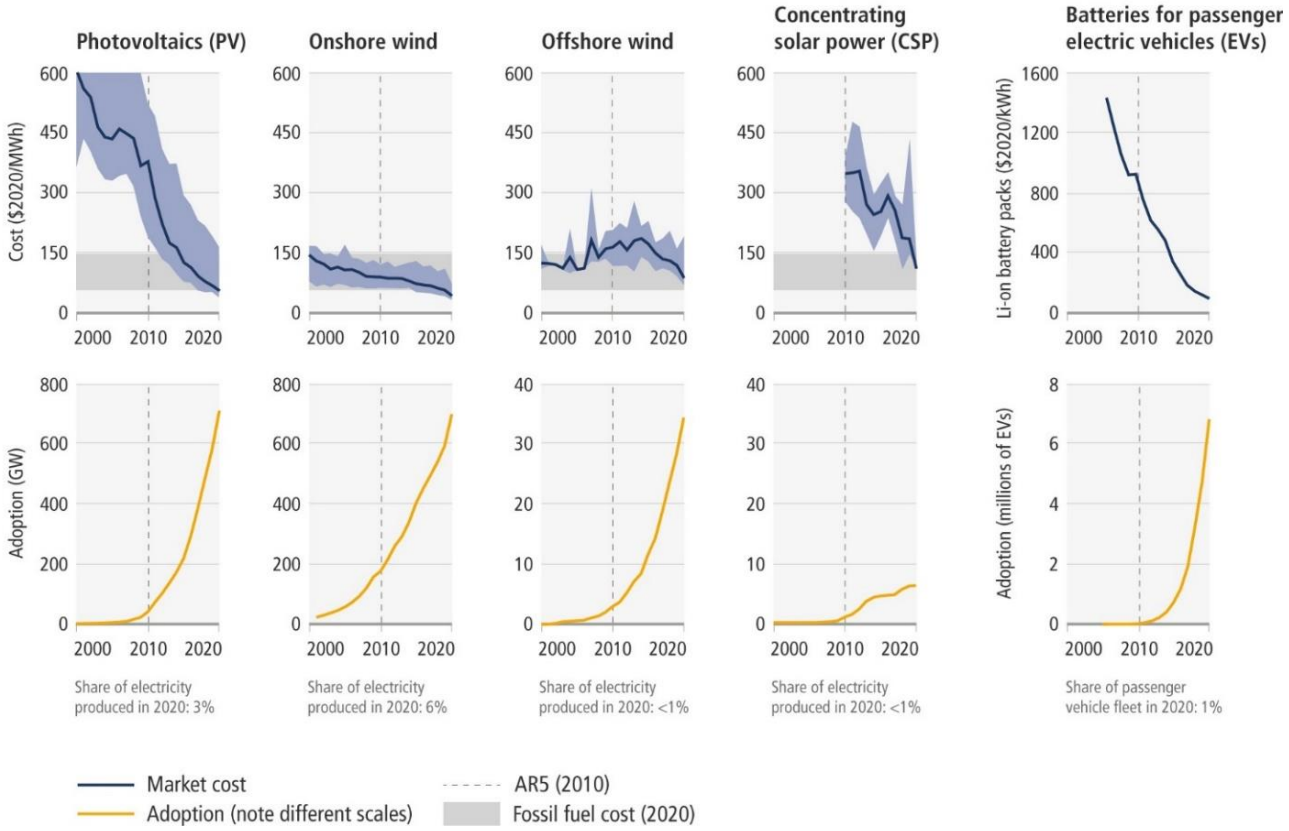


Abbildung SPM.3 | Sinkende Einheitskosten und Einsatz einiger sich schnell verändernder Minderungstechnologien. Die **obere Tafel** zeigt die globalen Kosten pro Energieeinheit (USD/MWh) für einige sich schnell verändernde Minderungstechnologien. Die durchgezogenen blauen Linien zeigen die durchschnittlichen Kosten pro Einheit in jedem Jahr. Hellblau schattierte Flächen zeigen die Bandbreite zwischen dem 5. und dem 95. Perzentil in jedem Jahr. Die graue Schattierung zeigt die Bandbreite der Einheitskosten für Energieerzeugung durch neue mit fossilen Brennstoffen (Kohle und Gas) betriebene Kraftwerke im Jahr 2020 (entsprechend 55–148 USD pro MWh). Im Jahr 2020 konnten die Stromgestehungskosten der vier Technologien für erneuerbare Energien vielerorts mit fossilen Brennstoffen konkurrieren. Bei den Batterien sind die Kosten für 1 kWh Batteriespeicherkapazität angegeben; bei den anderen sind die Kosten die Stromgestehungskosten, die Installations-, Kapital-, Betriebs- und Wartungskosten pro MWh erzeugter Elektrizität umfassen. In der Literatur werden die Stromgestehungskosten verwendet, weil sie konsistente Vergleiche der Kostentrends über eine Vielzahl von Energietechnologien hinweg ermöglichen. Sie beinhalten jedoch weder die Kosten für die Netzintegration noch die Klimafolgen. Bei den Stromgestehungskosten werden außerdem andere ökologische und soziale Externalitäten nicht berücksichtigt, die die (monetären und nicht-monetären) Gesamtkosten von Technologien verändern und ihren Einsatz beeinflussen können. Die **untere Tafel** zeigt die kumulierte globale Einführung für jede Technologie, in GW installierter Kapazität für erneuerbare Energien und in Millionen von Fahrzeugen für batteriebetriebene Elektrofahrzeuge. Eine vertikale gestrichelte Linie ist im Jahr 2010 eingefügt, um die Veränderung seit dem AR5 anzuzeigen. Die Anteile an der Stromerzeugung und an der Pkw-Flotte im Jahr 2020 werden auf der Grundlage vorläufiger Daten als Text angegeben, das heißt als Prozentsatz der gesamten Stromerzeugung (für PV, Windenergie an Land, Windenergie auf See, Solarthermische Kraftwerke mit Strahlungsbündelung) und des Gesamtbestands an Pkw (für Elektrofahrzeuge). Der Anteil an der Stromerzeugung spiegelt unterschiedliche Kapazitätsfaktoren wider; zum Beispiel erzeugt Wind bei gleicher installierter Kapazität etwa doppelt so viel Strom wie Photovoltaik. {2.5, 6.4}. Die Technologien für erneuerbare Energien und Batterien wurden als anschauliche Beispiele ausgewählt, weil sie in letzter Zeit rasche Veränderungen der Kosten und der Akzeptanz aufwiesen, und weil konsistente Daten verfügbar sind. Andere in diesem Bericht bewertete Minderungsoptionen wurden nicht berücksichtigt, da sie diese Kriterien nicht erfüllen.

B.4.3 Digitale Technologien können zur Minderung des Klimawandels und zur Erreichung diverser SDG beitragen (*hohes Vertrauen*). So können beispielsweise Sensoren, das Internet der Dinge, Robotik und künstliche Intelligenz das Energiemanagement in allen Sektoren verbessern, die Energieeffizienz steigern und die Einführung vieler emissionsarmer Technologien, einschließlich dezentraler erneuerbarer Energien, fördern und gleichzeitig wirtschaftliche Chancen schaffen (*hohes Vertrauen*). Einige dieser Vorteile für die Minderung des Klimawandels können jedoch durch eine steigende Nachfrage nach Waren und Dienstleistungen aufgrund der Nutzung digitaler Geräte verringert oder ausgeglichen werden (*hohes Vertrauen*). Die Digitalisierung kann Zielkonflikte in Bezug

auf diverse SDG mit sich bringen, zum Beispiel die Zunahme von Elektroschrott, negative Folgen für die Arbeitsmärkte sowie eine Verschärfung der bestehenden digitalen Kluft. Digitale Technologie unterstützt die Dekarbonisierung nur, wenn sie angemessen gesteuert wird (*hohes Vertrauen*). {5.3, 10, 12.6, 16.2, Cross-Chapter Box 11 in Kapitel 16, TS.5, Box TS.14}

B.5 Seit dem AR5 hat es eine beständige Ausweitung von politischen Strategien und Gesetzen zur Emissionsminderung gegeben. Dies hat zur Vermeidung von Emissionen geführt, die andernfalls entstanden wären, und zu verstärkten Investitionen in treibhausgasarme Technologien und Infrastruktur. Die Erfassung von Emissionen in politischen Strategien unterscheidet sich von Sektor zu Sektor. Die Ausrichtung der Finanzströme an den Zielen des Übereinkommens von Paris kommt nur langsam voran, und die verzeichneten Klimafinanzströme sind ungleichmäßig auf die Regionen und Sektoren verteilt. (*hohes Vertrauen*) {5.6, 13.2, 13.4, 13.5, 13.6, 13.9, 14.3, 14.4, 14.5, Cross-Chapter Box 10 in Kapitel 14, 15.3, 15.5}

B.5.1 Das Kyoto-Protokoll hat in einigen Ländern zu einem Rückgang der Emissionen geführt und maßgeblich zum Aufbau nationaler und internationaler Kapazitäten für die Treibhausgasberichterstattung und -anrechnung sowie die Emissionsmärkte beigetragen (*hohes Vertrauen*). Mindestens 18 Länder, die sich für die erste Verpflichtungsperiode Kyoto-Ziele gesetzt hatten, haben ihre absoluten Emissionen seit 2005 mindestens ein Jahrzehnt lang kontinuierlich gesenkt, darunter zwei Transformationsländer (*sehr hohes Vertrauen*). Das Übereinkommen von Paris, an dem nahezu alle Länder beteilig sind, hat zur Entwicklung von politischen Strategien und Maßnahmen sowie zur Festlegung von Zielen auf nationaler und subnationaler Ebene geführt, besonders in Bezug auf Emissionsminderung, sowie zu größerer Transparenz von Klimaschutz und Unterstützung (*mittleres Vertrauen*). {14.3, 14.6}

B.5.2 Die Anwendung verschiedener politischer Minderungsinstrumente auf nationaler und subnationaler Ebene hat in vielen Sektoren stetig zugenommen (*hohes Vertrauen*). Im Jahr 2020 waren mehr als 20 % der weltweiten Treibhausgasemissionen durch Kohlendioxidsteuern oder Emissionshandelssysteme erfasst, auch wenn die Erfassung und die Preise nicht ausreichten, um tiefgreifende Reduktionen zu erreichen (*mittleres Vertrauen*). Im Jahr 2020 gab es in 56 Ländern "direkte" Klimagesetze, die in erster Linie auf die Reduzierung von Treibhausgasemissionen ausgerichtet waren und 53 % der weltweiten Emissionen erfassten (*mittleres Vertrauen*). Die politischen Maßnahmen erfassen landwirtschaftliche Emissionen und die Produktion industrieller Materialien und Rohstoffe weiterhin unvollständig *(hohes Vertrauen)*. {5.6, 7.6, 11.5, 11.6, 13.2, 13.6}

B.5.3 In vielen Ländern haben politische Maßnahmen die Energieeffizienz verbessert, Entwaldungsraten verringert und den Einsatz von Technologien beschleunigt, was Emissionen vermieden und in manchen Fällen verringert oder beseitigt hat (*hohes Vertrauen*). Belege aus mehreren, unterschiedlichen Untersuchungsansätzen deuten darauf hin, dass Minderungsmaßnahmen globale Emissionen in Höhe von mehreren Gt CO_2Äq pro Jahr vermieden haben (*mittleres Vertrauen*). Die Aufsummierung separater Abschätzungen bezüglich der Auswirkungen wirtschaftlicher beziehungsweise regulatorischer Instrumente ergibt mindestens 1,8 Gt CO_2Äq pro Jahr. Immer mehr Gesetze und Verordnungen haben die globalen Emissionen beeinflusst und führten 2016 zu schätzungsweise 5,9 Gt CO_2Äq pro Jahr weniger Emissionen, als es ohne sie der Fall gewesen wäre. (*mittleres Vertrauen*) (Abbildung SPM.3) {2.2, 2.8, 6.7, 7.6, 9.9, 10.8, 13.6, Cross-Chapter Box 10 in Kapitel 14}

B.5.4 Die erfassten gesamten jährlichen Finanzströme für Minderung des Klimawandels und für Klimaanpassung stiegen zwischen 2013/14 und 2019/20 um bis zu 60 % (in USD2015), aber das durchschnittliche Wachstum hat sich seit 2018 verlangsamt[22] (*mittleres Vertrauen*). Diese Finanzströme konzentrierten sich weiterhin stark auf die Minderung des Klimawandels, sind ungleichmäßig verteilt und haben sich in den verschiedenen Regionen und Sektoren heterogen entwickelt (*hohes Vertrauen*). Im Jahr 2018 lagen die öffentlichen und öffentlich mobilisierten

[22] Die Schätzungen der Finanzströme (die sowohl private als auch öffentliche und sowohl inländische als auch internationale Ströme umfassen) beruhen auf einem einzigen Bericht, der Daten aus verschiedenen Quellen zusammenträgt und an dessen Methodik in den letzten Jahren verschiedene Änderungen vorgenommen wurden. Solche Daten können allgemeine Trends aufzeigen, sind aber mit Unsicherheiten behaftet.

privaten Klimafinanzflüsse aus Industrieländern an Entwicklungsländer unter dem gemeinsamen Ziel im Rahmen des UNFCCC und des Übereinkommens von Paris, bis 2020 jährlich 100 Mrd. USD im Zusammenhang mit wirksamen Minderungsmaßnahmen und Transparenz bei der Umsetzung zu mobilisieren (*mittleres Vertrauen*). Die öffentlichen und privaten Finanzströme für fossile Brennstoffe sind immer noch größer als diejenigen für Klimaanpassung und -minderung (*hohes Vertrauen*). Die Märkte für grüne Anleihen, ESG- (*environmental, social and governance*, also Umwelt-, Sozial- und Unternehmensführungs-) sowie nachhaltige Finanzprodukte sind seit dem AR5 erheblich gewachsen. Es verbleiben Herausforderungen, insbesondere in Bezug auf Integrität und Zusätzlichkeit sowie bezüglich der begrenzten Relevanz dieser Märkte für viele Entwicklungsländer. (*hohes Vertrauen*) {Box 15.4, 15.3, 15.5, 15.6, Box 15.7}

B.6 Mit den globalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2030, die mit der Umsetzung der vor der COP26 angekündigten national festgelegten Beiträge (*Nationally Determined Contributions*, NDC)[23] verbunden sind, wäre es *wahrscheinlich*, dass die Erwärmung im Laufe des 21. Jahrhunderts 1,5 °C überschreiten wird.[24] Eine *wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf unter 2 °C hinge dann von einer raschen Beschleunigung der Anstrengungen zur Emissionsminderung nach 2030 ab. Politische Maßnahmen, die bis Ende 2020 eingeführt wurden[25], werden laut Projektionen zu höheren globalen Treibhausgasemissionen führen, als durch die NDC impliziert. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.4) {3.3, 3.5, 4.2, Cross-Chapter Box 4 in Kapitel 4}

B.6.1 Politische Maßnahmen, die bis Ende 2020 eingeführt wurden, werden laut Projektionen zu höheren globalen Treibhausgasemissionen führen als in den NDC angekündigt, was eine Umsetzungslücke erkennen lässt. Es verbleibt eine Lücke zwischen den globalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2030, die mit der Umsetzung der vor der COP26 angekündigten NDC verbunden sind, und denjenigen, die mit modellierten Minderungspfaden verbunden sind, die von sofortigem Handeln ausgehen (zur Quantifizierung siehe Tabelle SPM.1).[26] Das Ausmaß der Emissionslücke hängt von dem betrachteten globalen Erwärmungsniveau ab und davon, ob nur bedingungslose oder auch bedingte Elemente der NDC[27] berücksichtigt werden.[28] (*hohes Vertrauen*) {3.5, 4.2, Cross-Chapter Box 4 in Kapitel 4}

B.6.2 Die globalen Emissionen im Jahr 2030, die mit der Umsetzung der vor der COP26 angekündigten NDC verbunden sind, sind niedriger als die von den ursprünglichen NDC implizierten Emissionen[29] (*hohes Vertrauen*). Die ursprüngliche Emissionslücke gegenüber Pfaden, die die Erwärmung mit sofortigem Handeln auf 2 °C (>67 %)

---

[23] „Vor der COP26 angekündigte NDC" bezieht sich auf die jüngsten national festgelegten Beiträge, die bis zum Stichtag für Literatur, die in diesen Bericht aufgenommen werden sollte, am 11. Oktober 2021 bei der UNFCCC eingereicht waren, sowie auf überarbeitete NDCs, die von China, Japan und der Republik Korea vor Oktober 2021 angekündigt, aber erst danach eingereicht wurden. 25 NDC-Aktualisierungen wurden zwischen dem 12. Oktober 2021 und dem Beginn der COP26 eingereicht.

[24] Dies bedeutet, dass Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels nach 2030 nicht mehr zu einem Pfad führen können, auf dem 1,5 °C im 21. Jahrhundert mit weniger als 67 % Wahrscheinlichkeit überschritten werden – was ein entscheidendes Merkmal der in diesem Bericht ausgewerteten Klasse von Pfaden ist, die „die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C begrenzt (>50 %)" (Kategorie C1 in Tabelle SPM.1). Solche Pfade begrenzen die Erwärmung während des gesamten 21. Jahrhunderts mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % auf 1,6 °C oder weniger.

[25] Der Stichtag für die Berücksichtigung von politischen Maßnahmen variiert in den Studien, die für die Projektion der Treibhausgasemissionen von „bis Ende 2020 umgesetzten politischen Maßnahmen" verwendet wurden, zwischen Juli 2019 und November 2020. {Tabelle 4.2}

[26] Sofortiges Handeln in modellierten globalen Pfaden bezieht sich auf die Einführung von klimapolitischen Maßnahmen zwischen 2020 und spätestens vor 2025, die darauf abzielen, die globale Erwärmung auf ein bestimmtes Niveau zu begrenzen. Modellierte Pfade, die die Erwärmung basierend auf sofortigem Handeln auf 2 °C (>67 %) begrenzen, sind in Kategorie C3a in Tabelle SPM.2 zusammengefasst. Alle bewerteten modellierten globalen Pfade, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, gehen von sofortigem Handeln wie hier definiert aus (Kategorie C1 in Tabelle SPM.2).

[27] In diesem Bericht werden Ziele zur Minderung des Klimawandels, die ohne jegliche Bedingungen vorgelegt werden, als "bedingungslose" Elemente der NDC bezeichnet. "Bedingte" Elemente beziehen sich auf Ziele zur Minderung des Klimawandels, die von internationaler Zusammenarbeit abhängen, zum Beispiel von bilateralen und multilateralen Vereinbarungen, Finanzierung oder Geld- und/oder Technologietransfers. Diese Terminologie wird in der Literatur und in den NDC-Syntheseberichten von UNFCCC verwendet, jedoch nicht im Übereinkommen von Paris. {4.2.1, 14.3.2}

[28] Es werden zwei Arten von Lücken bewertet: Die Umsetzungslücke ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Median der globalen Emissionen im Jahr 2030, die sich aus den bis Ende 2020 umgesetzten Maßnahmen ergeben, und denjenigen, die sich aus den vor der COP26 angekündigten NDC ergeben. Die Emissionslücke ergibt sich aus der Differenz zwischen den von den NDC implizierten Treibhausgasemissionen (minimale/maximale Emissionen im Jahr 2030) und dem Median der globalen Treibhausgasemissionen in modellierten Pfaden, die die Erwärmung basierend auf sofortigem Handeln und mit den angegebenen Wahrscheinlichkeiten auf bestimmte Niveaus begrenzen (Tabelle SPM.2).

[29] „Ursprüngliche NDC" bezieht sich auf diejenigen, die 2015 und 2016 bei der UNFCCC eingereicht wurden. Bedingungslose Elemente der NDC, die vor der COP26 angekündigt wurden, implizieren globale Treibhausgasemissionen im Jahr 2030, die 3,8 [3,0–5,3] Gt CO_2Äq pro Jahr niedriger sind als die der ursprünglichen NDC, und 4,5 [2,7–6,3] Gt CO_2Äq pro Jahr niedriger, wenn bedingte Elemente der NDC einbezogen werden. Aktualisierungen der NDC auf oder nach der COP26 könnten die implizierten Emissionen weiter verändern.

begrenzen (Kategorie C3a in Tabelle SPM.2), ist um etwa 20 % bis ein Drittel gesunken und diejenige gegenüber Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen (Kategorie C1 in Tabelle SPM.1), um etwa 15–20 % (*mittleres Vertrauen*). (Abbildung SPM.4) {3.5, 4.2, Cross-Chapter Box 4 in Kapitel 4}

Tabelle SPM.1 | Projizierte globale Emissionen im Jahr 2030, die mit den bis Ende 2020 umgesetzten Maßnahmen und den vor der COP26 angekündigten NDC verbunden sind, sowie die damit verbundenen Emissionslücken. *Die Emissionsprojektionen für 2030 und die absoluten Emissionsunterschiede basieren auf Emissionen von 52–56 Gt CO_2Äq pro Jahr im Jahr 2019, wie in den zugrundeliegenden Modellstudien angenommen. (*mittleres Vertrauen*) {4.2, Tabelle 4.3, Cross-Chapter Box 4 in Kapitel 4}

	Durch die bis Ende 2020 umgesetzten Maßnahmen impliziert (Gt CO_2Äq pro Jahr)	Durch die vor der COP26 angekündigten NDC impliziert	
		bedingungslose Elemente (Gt CO_2Äq pro Jahr)	Einschließlich bedingter Elemente (Gt CO_2Äq pro Jahr)
Median der projizierten globalen Emissionen (min-max)*	57 [52–60]	53 [50–57]	50 [47–55]
Umsetzungslücke zwischen umgesetzten Maßnahmen und den NDC (Median)		4	7
Emissionslücke zwischen den NDC und den Pfaden, die die Erwärmung mit sofortigem Handeln auf 2 °C begrenzen (>67 %)		10–16	6–14
Emissionslücke zwischen den NDC und den Pfaden, die die Erwärmung mit sofortigem Handeln und ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen		19–26	16–23

B.6.3 Modellierte globale Emissionspfade, die mit den vor der COP26 angekündigten NDC in Einklang stehen und die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen (Kategorie C3b in Tabelle SPM.2), implizieren durchschnittliche jährliche globale Reduktionsraten der Treibhausgasemissionen von 0–0,7 Gt CO_2Äq pro Jahr während des Jahrzehnts 2020–2030, verbunden mit einer beispiellosen Beschleunigung auf 1,4–2,0 Gt CO_2Äq pro Jahr im Zeitraum 2030–2050 (*mittleres Vertrauen*). Fortgesetzte Investitionen in Infrastruktur mit hohen Emissionen ohne Vermeidungsmaßnahmen und eine eingeschränkte Entwicklung und Einführung von Alternativen mit niedrigen Emissionen vor 2030 würden diese Beschleunigung behindern und Risiken bezüglich der Durchführbarkeit erhöhen (*hohes Vertrauen*). {3.3, 3.5, 3.8, Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4}

B.6.4 Modellierte globale Emissionspfade, die mit den vor der COP26 angekündigten NDC in Einklang stehen, werden *wahrscheinlich* im Laufe des 21. Jahrhunderts 1,5 °C überschreiten. Diejenigen Pfade, die daraufhin die Erwärmung bis 2100 mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % oder mehr wieder auf 1,5 °C zurückführen, implizieren eine Temperaturüberschreitung von 0,15–0,3 °C (42 Pfade in Kategorie C2 in Tabelle SPM.1). Bei solchen Pfaden liegen die kumulierten globalen negativen CO_2-Emissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts bei -380 [-860 bis -200] Gt CO_2[30], und es gibt eine rasche Beschleunigung anderer Minderungsbemühungen in allen Sektoren nach 2030. Solche Überschreitungspfade implizieren ein erhöhtes klimabezogenes Risiko und unterliegen größeren Machbarkeitsbedenken[31] sowie größeren sozialen und ökologischen Risiken im Vergleich zu Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.4, Tabelle SPM.2) {3.3, 3.5, 3.8, 12.3; AR6 WGII SPM.B.6}

[30] Median und *sehr wahrscheinliche* Bandbreite [5. bis 95. Perzentil].

[31] Ausgehend von den Treibhausgasemissionsniveaus im Jahr 2030, die mit der Umsetzung der NDC verbunden sind, ist für einige Modelle aufgrund modellspezifischer Einschränkungen bezüglich des Einsatzes von Technologien zur Minderung des Klimawandels und der Verfügbarkeit negativer Netto-CO_2-Emissionen eine Rückkehr auf weniger als 1,5 °C Erwärmung im Jahr 2100 nicht machbar.

Projected global GHG emissions from NDCs announced prior to COP26 would make it likely that warming will exceed 1.5°C and also make it harder after 2030 to limit warming to below 2°C.

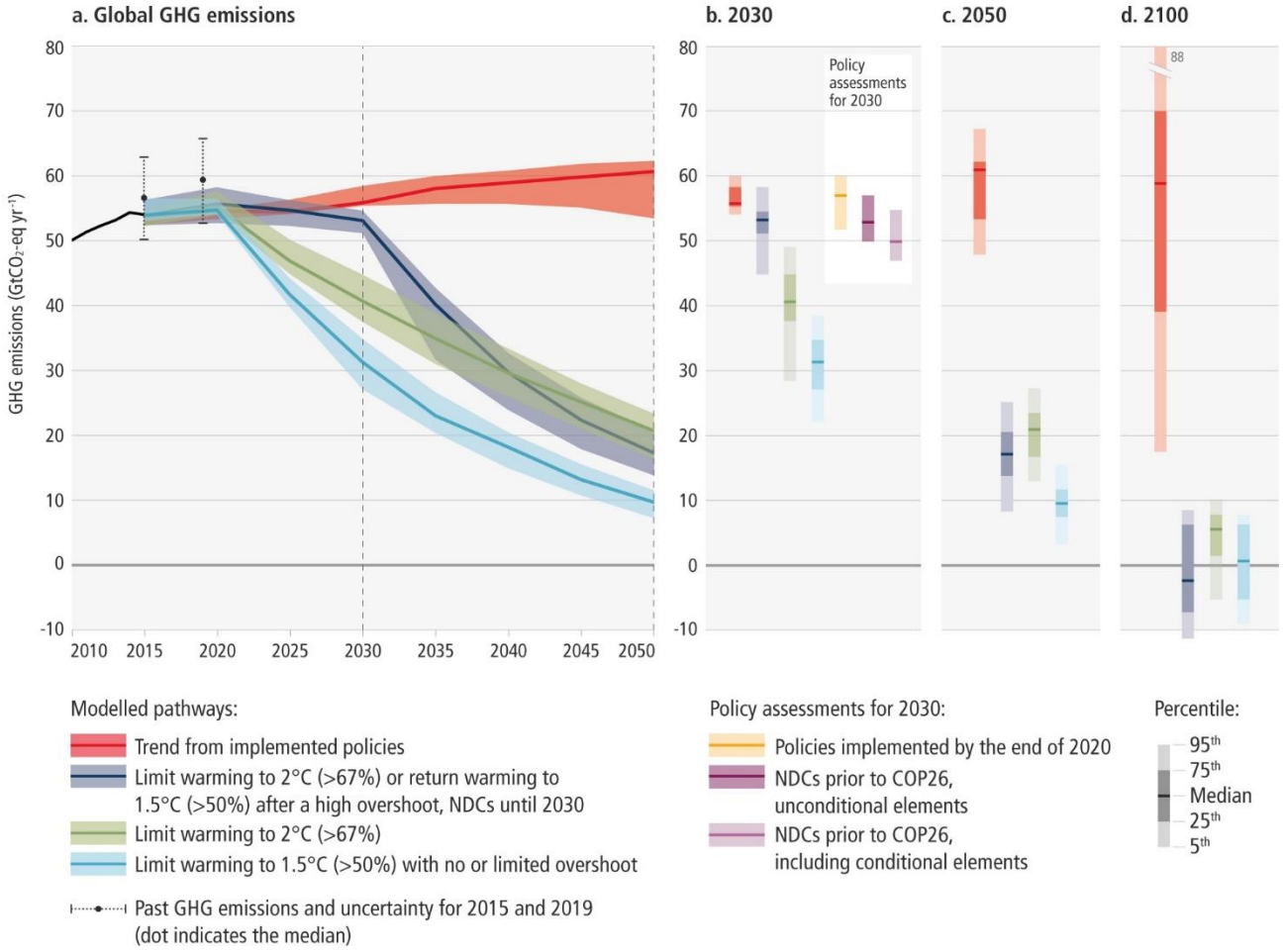


Abbildung SPM.4 | Globale Treibhausgasemissionen der modellierten Pfade (Verläufe in Tafel a und zugehörige Balken in den Tafeln b, c, d) sowie projizierte resultierende Emissionen aus der Analyse zeitnaher politischer Maßnahmen für 2030 (Tafel b). Tafel a zeigt die globalen Treibhausgasemissionen im Zeitraum 2015–2050 für vier Arten betrachteter globaler Modellpfade:

- Trend auf Basis umgesetzter Maßnahmen: Pfade mit für die nahe Zukunft projizierten Treibhausgasemissionen, die den Maßnahmen, die bis Ende 2020 umgesetzt wurden, entsprechen und über 2030 hinaus mit vergleichbaren Zielvorgaben verlängert wurden (29 Szenarien für die Kategorien C5-C7, Tabelle SPM.2)
- Erwärmung wird auf 2 °C (>67 %) begrenzt oder kehrt nach einer starken Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) zurück, NDC bis 2030: Pfade mit Treibausgasemissionen bis 2030, die entstünden, wenn die NDC, die vor der COP26 angekündigt wurden, umgesetzt würden, gefolgt von beschleunigten Emissionsreduktionen, die die Erwärmung *wahrscheinlich* auf 2 °C begrenzen (C3b, Tabelle SPM.2) oder nach einer starken Überschreitung mit einer Wahrscheinlichkeit von mindestens 50 % auf 1,5 °C zurückführen (Teilmenge von 42 Szenarien aus C2, Tabelle SPM.2).
- Erwärmung wird mit sofortigem Handeln auf 2 °C (>67 %) begrenzt: Pfade, die die Erwärmung mit sofortigen Maßnahmen nach 2020[26] auf 2 °C (>67 %) begrenzen (C3a, Tabelle SPM.2).
- Erwärmung wird ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzt: Pfade, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C begrenzen (C1, Tabelle SPM.2 C1). Alle diese Pfade setzen sofortiges Handeln nach 2020 voraus.

Die vergangenen Treibhausgasemissionen für den Zeitraum 2010–2015, die für die Projektion der resultierenden globalen Erwärmung in den modellierten Pfaden verwendet wurden, sind durch eine schwarze Linie[32] dargestellt und die vergangenen globalen Treibhausgasemissionen in den Jahren 2015 und 2019, wie sie in Kapitel 2 bewertet wurden, durch Antennen. **Tafeln b, c und d** zeigen Momentaufnahmen der Treibhausgasemissionsbandbreiten in den modellierten Pfaden im Jahr 2030, 2050 beziehungsweise 2100. Tafel b zeigt auch die projizierten resultierenden Emissionen im Jahr 2030 aus der Bewertung zeitnaher politischer Maßnahmen aus Kapitel 4.2 (Tabellen 4.2 und 4.3; Median und gesamte Bandbreite). Die Treibhausgasemissionen sind in CO_2Äquivalenten unter Verwendung von GWP100 aus AR6 WGI angegeben. {3.5, 4.2, Tabellen 4.2 und 4.3, Cross-Chapter Box 4 in Kapitel 4}

[32] Siehe Box SPM.1 für eine Beschreibung des Ansatzes zur Projektion der resultierenden globalen Erwärmung in modellierten Pfaden und dessen Übereinstimmung mit der Klimabewertung in AR6 WGI.

B.7 Die projizierten kumulierten zukünftigen CO_2-Emissionen über die Lebensdauer von bestehender und derzeit geplanter Infrastruktur für fossile Brennstoffe ohne zusätzliche Vermeidungsmaßnahmen übersteigen die gesamten kumulierten Netto-CO_2-Emissionen bei Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C begrenzen (>50 %). Sie entsprechen ungefähr den gesamten kumulierten Netto-CO_2-Emissionen bei Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen (>67 %). (*hohes Vertrauen*) {2.7, 3.3}

B.7.1 Wenn historische Betriebsmuster[33] beibehalten und keine zusätzlichen Vermeidungsmaßnahmen[34] umgesetzt würden, würden sich die geschätzten künftigen kumulierten CO_2-Emissionen aus der bestehenden mit fossilen Brennstoffen betriebenen Infrastruktur, von denen der Großteil auf den Stromsektor entfällt, von 2018 bis zum Ende ihrer Lebensdauer auf 660 [460–890] Gt CO_2 belaufen. Sie würden sich auf 850 [600–1100] Gt CO_2 belaufen, wenn Emissionen von derzeit geplanter Infrastruktur ohne Vermeidungsmaßnahmen im Energiesektor einbezogen werden. Diese Zahlen stehen den kumulierten globalen Netto-CO_2-Emissionen aus allen Sektoren gegenüber, die bei Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, bis zu dem Zeitpunkt, an dem netto Null CO_2-Emissionen[35] erreicht werden, 510 [330–710] Gt CO_2 betragen und bei Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, 890 [640–1160] Gt CO_2. (*hohes Vertrauen*) (Tabelle SPM.2) {2.7, Abbildung 2.26, Abbildung TS.8}

B.7.2 Bei modellierten globalen Pfaden, die die Erwärmung auf höchstens 2 °C (>67 %) begrenzen, wird laut Projektionen der größte Teil der verbleibenden CO_2-Emissionen aus fossilen Brennstoffen bis zum Zeitpunkt, an dem globale Netto-Null-Emissionen erreicht werden, außerhalb des Energiesektors anfallen, hauptsächlich in der Industrie und im Verkehr. Stilllegungen und eine verringerte Nutzung der bestehenden, mit fossilen Brennstoffen betriebenen Infrastruktur im Energiesektor, die Nachrüstung bestehender Anlagen mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (*Carbon Capture and Storage*, CCS)[36], die Umstellung auf kohlenstoffarme Brennstoffe und die Stornierung neuer Kohlekraftwerke ohne CCS sind wichtige Optionen, die dazu beitragen können, die künftigen CO_2-Emissionen aus dem Energiesektor an die Emissionen in den bewerteten globalen modellierten Pfaden mit den geringsten Kosten anzugleichen. Welche Strategien am besten geeignet sind, hängt von den nationalen und regionalen Gegebenheiten ab, einschließlich förderlicher Rahmenbedingungen und der Verfügbarkeit von Technologien. (*hohes Vertrauen*) (Box SPM.1) {Tabelle 2.7, 2.7, 3.4, 6.3, 6.5, 6.7}

---

[33] Historische Betriebsmuster werden durch die in der Vergangenheit beobachteten Auslastungsfaktoren und Lebensdauern von Anlagen für fossile Brennstoffe beschrieben (Durchschnitt und Bandbreite).

[34] „Vermeidung" bezieht sich hier auf menschliche Eingriffe, die die Menge an Treibhausgasen reduzieren, die von mit fossilen Brennstoffen betriebener Infrastruktur in die Atmosphäre freigesetzt werden.

[35] Die gesamten kumulierten CO_2-Emissionen bis zum Zeitpunkt von global netto Null CO_2--Emissionen sind ähnlich wie das verbleibende CO_2-Budget für eine bestimmte Temperaturgrenze, das von der Arbeitsgruppe I bewertet wurde, aber nicht identisch damit. {Box 3.4}

[36] In diesem Zusammenhang werden die Abscheidungsraten von Neuanlagen mit CCS als 90–95 % oder mehr angenommen {11.3.5}. Die Abscheidungsraten für nachgerüstete Anlagen können vergleichbar sein, wenn die Anlagen speziell für CCS-Nachrüstungen ausgelegt sind {11.3.6}.

C. Systemtransformationen zur Begrenzung der globalen Erwärmung

C.1 Die globalen Treibhausgasemissionen werden den Projektionen zufolge in den globalen Modellpfaden, welche die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, sowie in denen, welche die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen und von sofortigem Handeln ausgehen, ihren Höchstwert zwischen 2020 und spätestens vor 2025 erreichen.[i,37] Bei beiden Arten von Modellpfaden folgen rasche und tiefgreifende Senkungen der Treibhausgasemissionen durchgehend über die Jahre 2030, 2040 und 2050 (*hohes Vertrauen*). Ohne eine Verstärkung der politischen Maßnahmen, die über die bis Ende 2020 eingeführten Maßnahmen hinausgehen, wird ein Anstieg der Treibhausgasemissionen über das Jahr 2025 hinaus projiziert, was zu einer globalen Erwärmung von 3,2 [2,2 bis 3,5] °C (Median) bis zum Jahr 2100 führt[38,39] (*mittleres Vertrauen*). (Tabelle SPM.1, Abbildung SPM.4, Abbildung SPM.5) {3.3, 3.4}

C.1.1 Bei Pfaden, die mit sofortigem Handeln die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, fallen die globalen Netto-Treibhausgasemissionen laut Projektionen bis 2030 um 27 % [13–45 %] und bis 2050 um 63 % [52–76 %][40] gegenüber den Werten von 2019 (Kategorie C3a, Tabelle SPM.2). Demgegenüber stehen Reduktionen von 43 % [34–60 %] bis 2030 und 84 % [73–98 %] bis 2050 bei Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen (C1, Tabelle SPM.2) (*hohes Vertrauen*)[41]. Bei modellierten Pfaden, die die Erwärmung nach einer starken Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) zurückführen[42], werden die Treibhausgasemissionen um 23 % [0–44 %] im Jahr 2030 und um 75 % [62–91 %] im Jahr 2050 reduziert (C2, Tabelle SPM.2) *(hohes Vertrauen*). Modellierte Pfade, die mit den vor der COP26 angekündigten NDC bis 2030 übereinstimmen und danach keine Ambitionssteigerung annehmen, zeigen höhere Emissionen, was zu einer globalen Erwärmung von 2,8 °C [2,1–3,4 °C] (Median) bis 2100 führt (*mittleres Vertrauen*).[23] (Abbildung SPM.4). {3.3}

C.1.2 Bei den modellierten Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, werden die globalen Netto-CO_2-Emissionen im Vergleich zu den modellierten Emissionen von 2019 im Jahr 2030 um 27 % [11–46 %] und im Jahr 2040 um 52 % [36–70 %] verringert; und die globalen CH_4-Emissionen werden im Jahr 2030 um 24 % [9–53 %] und im Jahr 2040 um 37 % [20–60 %] verringert. Bei Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, werden die globalen Netto-CO_2-Emissionen im Vergleich zu den modellierten Emissionen von 2019 im Jahr 2030 um 48 % [36–69 %] und im Jahr 2040 um 80 % [61–109 %] verringert; und die globalen CH_4-Emissionen werden im Jahr 2030 um 34 % [21–57 %] und im Jahr 2040 um 44 % [31–63 %] verringert. Die Reduktionen der Nicht-CO_2-Emissionen bis 2050 ist bei beiden Pfaden ähnlich: CH_4 wird um 45 % [25–70 %] verringert, N_2O um 20 % [-5–55 %] und F-Gase um 85 % [20–90 %].[43] Für die meisten modellierten Pfade ist dies das maximale technische Potenzial für anthropogene CH_4-Reduktionen in den zugrundeliegenden Modellen *(hohes Vertrauen)*. Weitere Emissionsreduktionen, wie durch den IMP-SP-Pfad dargestellt, können durch Änderungen des Aktivitätsniveaus und/oder technologische Innovationen erreicht werden, die über die in der Mehrzahl der Pfade dargestellten hinausgehen *(mittleres Vertrauen)*. Stärkere CH_4-

---

[37] Alle angegebenen Erwärmungsniveaus beziehen sich auf den Zeitraum 1850–1900. Wenn nicht anders angegeben, bezieht sich "Pfade" immer auf mit einem Modell berechnete Pfade. "Sofortiges Handeln" in den Pfaden bezieht sich auf die Umsetzung klimapolitischer Maßnahmen zwischen 2020 und spätestens 2025, die darauf abzielen, die globale Erwärmung auf ein bestimmtes Niveau zu begrenzen.

[38] Die langfristige Erwärmung wird aus allen Modellpfaden berechnet, die von Minderungsbemühungen ausgehen, die mit den bis Ende 2020 umgesetzten nationalen Strategien übereinstimmen (Szenarien, die in die Strategiekategorie P1b in Kapitel 3 fallen) und die die Bandbreiten der Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 von in Kapitel 4 bewerteten Pfaden durchqueren (siehe Fußnote 25). {3.2, Tabelle 4.2}

[39] Die Angaben zur Erwärmung beziehen sich auf das 50. und [5–95.] Perzentil sämtlicher Modellpfade und den Median der Angaben zur Temperaturänderung in den probabilistischen WG-I-Klimamodell-Emulatoren. [a]

[40] In diesem Bericht werden Emissionsminderungen im Verhältnis zu den für 2019 modellierten Emissionswerten angegeben, während im SR1.5 die Emissionsminderungen im Verhältnis zu 2010 berechnet wurden. Zwischen 2010 und 2019 sind die globalen Treibhausgas- und CO_2-Emissionen um 12 % (6,5 Gt CO_2Äq) beziehungsweise 13 % (5,0 Gt CO_2) gestiegen. Bei den in diesem Bericht bewerteten globalen Modellpfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, werden die Treibhausgasemissionen im Jahr 2030 gegenüber 2010 laut Projektionen um 37 % [28–57 %] verringert. Bei der gleichen Art von Pfaden, die in SR1.5 bewertet wurden, betrugen die für das Jahr 2030 angegebenen Treibhausgasemissionsreduktionen 39–51 % (Interquartilsbereich) gegenüber 2010. In absoluten Zahlen sind die Treibhausgasemissionen 2030 bei Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, im AR6 höher (31 [21–36] Gt CO_2Äq) als im SR1.5 (28 (26–31 Interquartilsbereich) Gt CO_2Äq). (Abbildung SPM.1, Tabelle SPM.1) {3.3, SR1.5}

[41] Die Szenarien dieser Kategorie begrenzen die maximale Erwärmung im gesamten 21. Jahrhundert mit einer Wahrscheinlichkeit von beinahe oder mehr als 90 % auf 2 °C.

[42] Diese Kategorie enthält 91 Szenarien mit sofortigem Handeln und 42 Szenarien, die mit den NDC bis 2030 vereinbar sind.

[43] Diese Zahlen für CH4, N2O und F-Gase sind auf die nächsten 5 % gerundet, ausgenommen Zahlen unter 5 %.

Emissionsminderungen könnten die maximale Erwärmung weiter senken. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.5) {3.3}

C.1.3 Bei modellierten Pfaden, die mit einer Fortführung der bis Ende 2020 umgesetzten Maßnahmen in Einklang stehen, steigen die Treibhausgasemissionen weiter an, was bis 2100 zu einer globalen Erwärmung von 3,2 [2,2–3,5] °C führt (innerhalb C5–C7, Tabelle SPM.2) (*mittleres Vertrauen*). Pfade, die eine Erwärmung von >4 °C (≥50 %) überschreiten (C8, SSP5-8.5, Tabelle SPM.2), würden eine Umkehrung der derzeitigen Trends bei Technologie und/oder bei Minderungsstrategien implizieren (*mittleres Vertrauen*). Eine solche Erwärmung könnte bei Emissionspfaden eintreten, die mit den bis Ende 2020 umgesetzten Maßnahmen übereinstimmen, wenn die Klimasensitivität höher ist als die zentralen Schätzwerte (*hohes Vertrauen*). (Tabelle SPM.2, Abbildung SPM.4) {3.3, Box 3.3}

C.1.4 Globale modellierte Pfade, die in die niedrigste Temperaturkategorie der bewerteten Literatur fallen (C1, Tabelle SPM.2), sind im Durchschnitt im AR6 mit einer höheren maximalen Erwärmung (Median) verbunden als Pfade derselben Kategorie im SR1.5. Bei den modellierten Pfaden im AR6 ist die Wahrscheinlichkeit für eine Begrenzung der Erwärmung auf 1,5 °C im Vergleich zum SR1.5 im Durchschnitt gesunken. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Treibhausgasemissionen seit 2017 gestiegen sind und viele der neuen Pfade bis 2030 höhere Emissionen projizieren sowie höhere kumulierte Netto-CO_2-Emissionen und etwas spätere Termine für das Erreichen von netto Null CO_2- oder Treibhausgasemissionen aufweisen. Große Herausforderungen bei der Minderung des Klimawandels, zum Beispiel aufgrund von Annahmen eines langsamen technologischen Wandels, eines hohen globalen Bevölkerungswachstums und einer starken Fragmentierung wie im Gemeinsam Genutzten Sozioökonomischen Pfad (*Shared Socio-economic Pathway*) SSP3, können modellierte Pfade, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen, undurchführbar werden lassen. (*mittleres Vertrauen*) (Tabelle SPM.2, Box SPM.1) {3.3, 3.8, Annex III Abbildung II.1, Annex III Abbildung II.3}

Tabelle SPM.2 | Hauptmerkmale der modellierten globalen Emissionspfade. Zusammenfassung der projizierten CO_2- und Treibhausgasemissionen, der projizierten Zeitpunkte für netto Null Emissionen sowie der sich daraus ergebenden globalen Erwärmung. Die Pfade sind entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeit, die Erwärmung auf verschiedene Höchstwerte begrenzen zu können (wenn die Höchsttemperatur vor 2100 auftritt) und entsprechend der Erwärmungswerte im Jahr 2100 kategorisiert (Zeilen). Die angegebenen Werte beziehen sich auf den Median [p50] und das 5. bis 95. Perzentil [p5-p95], wobei zu beachten ist, dass nicht alle Pfade netto Null CO_2- oder Treibhausgasemissionen erreichen.

p50 [p5–p95][a]			THG-Emissionen (Gt CO_2Äq pro Jahr)			THG-Emissionsreduktionen seit 2019 (%)			Emissionsmeilensteine				Kumulierte CO_2-Emissionen (Gt CO_2)		Kumulierte netto-negative CO_2-Emissionen (Gt CO_2)	Mittlere globale Temperaturänderung 50 % Wahrscheinlichkeit (°)		Wahrscheinlichkeit für Temperaturhöchstwert unter (%)		
Kategorie [b, c, d] [Anzahl Pfade]	(Unter-)Kategoriebezeichnung	WGI SSP & WGIII IPs/IMPs-Übereinstimmung[e, f]	2030	2040	2050	2030	2040	2050	Höchstwert CO_2-Emissionen (% Höchstwert vor 2100)	Höchstwert THG-Emissionen (% Höchstwert vor 2100)	Netto Null CO_2 (% netto-Null-Pfade)	Netto Null THG (% netto-Null-Pfade)[k, l]	2020 bis netto Null CO_2	2020–2100	Zeitpunkt von netto Null CO_2 (Jahr) bis 2100	Bei maximaler Erwärmung	2100	<1,5 °C	<2,0 °C	<3,0 °C
Modellierte globale Emissionspfade, kategorisiert nach projiziertem globalen Erwärmungsniveau. Detaillierte Wahrscheinlichkeitsdefinitionen sind in SPM Box1 enthalten. Die fünf von AR6 WGI betrachteten illustrativen Szenarien (SSPx-yy) und die in WGIII bewerteten Illustrativen (Minderungs-)Pfade entsprechen bestimmten Temperaturkategorien und sind in einer separaten Spalte angegeben. Die globalen Emissionspfade enthalten regional differenzierte Informationen. Diese Bewertung konzentriert sich auf ihre globalen Merkmale.			Median der projizierten jährlichen THG-Emissionen in den Szenarien im jeweiligen Jahr, wobei das 5-95. Perzentil in Klammern steht. Modellierte THG-Emissionen im Jahr 2019: 55 [53–58] GtC O2Äq			Median der projizierten THG-Emissionsreduktionen der Pfade in den Szenarien gegenüber dem modellierten Jahr 2019, wobei das 5-95. Perzentil in Klammern steht. Negative Zahlen bedeuten einen Anstieg der Emissionen gegenüber 2019.			5-Jahres-Intervalle (Median), in denen die projizierten CO_2- und THG-Emissionen ihren Höhepunkt erreichen, wobei das 5–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht. Der Prozentsatz an Pfaden mit Höchstwert und nachfolgendem Rückgang ist in runden Klammern angegeben. Drei Punkte (...) bedeuten, für dieses Perzentil erreichen die Emissionen den Höchswert im Jahr 2100 oder später.		5-Jahres-Intervalle (Median), in denen die projizierten CO_2- und THG-Emissionen der Pfade dieser Kategorie netto Null erreichen, wobei das 5–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht. Der Prozentsatz an Netto-Null-Pfaden ist in runden Klammern angegeben. Drei Punkte (...) geben an, dass für dieses Perzentil kein netto Null erreicht wird.		Median der kumulierten Netto-CO_2-Emissionen in den projizierten Szenarien dieser Kategorie bis zum Erreichen von netto Null oder bis 2100, wobei das 5.–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht.		Median der kumulierten netto-negativen CO_2-Emissionen zwischen dem Jahr, in dem netto Null CO_2 erreicht wird, und 2100. Mehr netto-negative Emissionen führen zu stärkeren Temperaturrückgängen nach dem Erwärmungsmaximum.	Projizierte Temperaturänderung der Pfade dieser Kategorie (50 % Wahrscheinlichkeit über Bandbreite der Klimaunsicherheiten), gegenüber 1850–1900, bei maximaler Erwärmung und im Jahr 2100, angegeben als der Median über die Szenarien und das 5.–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern.		Median der Wahrscheinlichkeit, dass die projizierten Pfade dieser Kategorie unter einem bestimmten globalen Erwärmungsniveau bleiben, wobei das 5—95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht.		
C1 [97]	**begrenzen die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %)**		31 [21–36]	17 [6–23]	9 [1–15]	43 [34–60]	69 [58–90]	84 [73–98]	2020–2025 (100 %) [2020–2025]		2050–2055 (100 %) [2035–2070]	2095–2100 (52 %) [2050–…]	510 [330–710]	320 [-210–570]	-220 [-660 bis -209]	1,6 [1,4–1,6]	1,3 [1,1–1,5]	38 [33–58]	90 [86–97]	100 [99–100]
C1a [50]	**…mit netto Null THG**	SSP1-1.9, SP LD	33 [22–37]	18 [6–24]	8 [0–15]	41 [31–59]	66 [58–89]	85 [72–100]				2070–2075 (100 %) [2050–2090]	550 [340–760]	160 [-220–620]	-360 [-680 bis -140]	1,6 [1,4–1,6]	1,2 [1,1–1,4]	38 [34–60]	90 [85–98]	100 [99–100]
C1b [47]	**…ohne netto Null THG**	Ren	29 [21–36]	16 [7–21]	9 [4–13]	48 [35–61]	70 [62–87]	84 [76–93]				…–… (0 %) [...–...]	460 [320–590]	360 [10–540]	-60 [-440 bis 0]	1,6 [1,5–1,6]	1,4 [1,3–1,5]	37 [33–56]	89 [87–96]	100 [99–100]
C2 [133]	**senken Erwärmung nach Höchstwert wieder auf 1,5 °C (>50 %)**	Neg	42 [31–55]	25 [17–34]	14 [5–21]	23 [0–44]	55 [40–71]	75 [62–91]	2020–2025 (100 %) [2020–2030] [2020–2025]		2055–2060 (100 %) [2045–2070]	2070–2075 (87 %) [2055–…]	720 [530–930]	400 [-90–620]	-360 [-680 bis -60]	1,7 [1,5–1,8]	1,4 [1,2–1,5]	24 [15–42]	82 [71–93]	100 [99–100]
C3 [311]	**begrenzen die Erwärmung auf 2 °C (>67 %)**		44 [32–55]	29 [20–36]	20 [13–26]	21 [1–42]	46 [34–63]	64 [53–77]	2020–2025 (100 %) [2020–2030] [2020–2025]		2070–2075 (93 %) [2055–…]	…–… (30 %) [2075–…]	890 [640–1160]	800 [51–1140]	-40 [-290 bis 0]	1,7 [1,6–1,8]	1,6 [1,5–1,8]	20 [13–41]	76 [68–91]	99 [98–100]

Tabelle SPM.2 (Fortsetzung):

Kategorie [b, c, d] [Anzahl Pfade]	(Unter-)Kategoriebezeichnung	WGI SSP & WGIII IPs/IMPs-Übereinstimmung[e, f]	2030	2040	2050	2030	2040	2050	Höchstwert CO_2-Emissionen (% Höchstwert vor 2100)	Höchstwert THG-Emissionen (% Höchstwert vor 2100)	Netto Null CO_2 (% netto-Null-Pfade)	Netto Null THG (% netto-Null-Pfade)[k, l]	2020 bis netto Null CO_2	2020–2100	Zeitpunkt von netto Null CO_2 (Jahr) bis 2100	Bei maximaler Erwärmung	2100	<1,5 °C	<2,0 °C	<3,0 °C
Modellierte globale Emissionspfade, kategorisiert nach projiziertem globalen Erwärmungsniveau. Detaillierte Wahrscheinlichkeitsdefinitionen sind in SPM Box1 enthalten. Die fünf von AR6 WGI betrachteten illustrativen Szenarien (SSPx-yy) und die in WGIII bewerteten Illustrativen (Minderungs-)Pfade entsprechen bestimmten Temperaturkategorien und sind in einer separaten Spalte angegeben. Die globalen Emissionspfade enthalten regional differenzierte Informationen. Diese Bewertung konzentriert sich auf ihre globalen Merkmale.			Median der projizierten jährlichen THG-Emissionen in den Szenarien im jeweiligen Jahr, wobei das 5-95. Perzentil in Klammern steht. Modellierte THG-Emissionen im Jahr 2019: 55 [53–58] GtC O2Äq			Median der projizierten THG-Emissionsreduktionen der Pfade in den Szenarien gegenüber dem modellierten Jahr 2019, wobei das 5-95. Perzentil in Klammern steht. Negative Zahlen bedeuten einen Anstieg der Emissionen gegenüber 2019.			5-Jahres-Intervalle (Median), in denen die projizierten CO_2- und THG-Emissionen ihren Höhepunkt erreichen, wobei das 5–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht. Der Prozentsatz an Pfaden mit Höchstwert und nachfolgendem Rückgang ist in runden Klammern angegeben. Drei Punkte (...) bedeuten, für dieses Perzentil erreichen die Emissionen den Höchswert im Jahr 2100 oder später.		5-Jahres-Intervalle (Median), in denen die projizierten CO_2- und THG-Emissionen der Pfade dieser Kategorie netto Null erreichen, wobei das 5–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht. Der Prozentsatz an Netto-Null-Pfaden ist in runden Klammern angegeben. Drei Punkte (...) geben an, dass für dieses Perzentil kein netto Null erreicht wird.		Median der kumulierten Netto-CO_2-Emissionen in den projizierten Szenarien dieser Kategorie bis zum Erreichen von netto Null oder bis 2100, wobei das 5.–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht.		Median der kumulierten netto-negativen CO_2-Emissionen zwischen dem Jahr, in dem netto Null CO_2 erreicht wird, und 2100. Mehr netto-negative Emissionen führen zu stärkeren Temperaturrückgängen nach dem Erwärmungsmaximum.	Projizierte Temperaturänderung der Pfade dieser Kategorie (50 % Wahrscheinlichkeit über Bandbreite der Klimaunsicherheiten), gegenüber 1850–1900, bei maximaler Erwärmung und im Jahr 2100, angegeben als der Median über die Szenarien und das 5.–95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern.		Median der Wahrscheinlichkeit, dass die projizierten Pfade dieser Kategorie unter einem bestimmten globalen Erwärmungsniveau bleiben, wobei das 5—95. Perzentil-Intervall in eckigen Klammern steht.		
C3a [204]	**...mit Handeln ab 2020**	SSP1-2.6	40 [30–49]	29 [21–36]	20 [14–27]	27 [13–45]	47 [35–63]	63 [52–76]	2020–2025 (100 %) [2020–2025]		2070–2075 (91 %) [2055–...]	...–... (24 %) [2080–...]	860 [640–1180]	790 [480–1150]	-30 [-280 bis 0]	1,7 [1,6–1,8]	1,6 [1,5–1,8]	21 [14–42]	78 [69–91]	100 898–100]
C3b [97]	**...NDC bis 2030**	GS	52 [47–56]	29 [20–36]	18 [10–25]	5 [0–14]	46 [34–63]	68 [56–82]			2065–2070 (97 %) [2055–2090]	...–... (41 %) [2075–...]	910 [720–1150]	800 [560–10509	-60 [-300 bis 0]	1,8 [1,6–1,8]	1,6 [1,5–1,7]	17 [12–35]	73 [67–87]	99 [98–99]
C4 [159]	**begrenzen die Erwärmung auf 2 °C (>50 %)**		50 [41–56]	38 [28–44]	28 [19–35]	10 [0–27]	31 [20–50]	49 [35–65]	2020–2025 (100 %) [2020–2030]		2080–2085 (86 %) [2065–...]	...–... (31 %) [2075–...]	1210 [970–1490]	1160 [700–1490]	-30 [-390 bis 0]	1,9 [1,7–2,0]	1,8 [1,5–2,0]	11 [7–22]	59 [50–77]	98 [95–99]
C5 [212]	**Begrenzen die Erwärmung auf 2,5 °C (> 50 %)**		52 [46–56]	45 [37–53]	39 [30–49]	6 [-1–18]	18 [4–339	29 [11–48]			...–... (41 %) [2080–...]	...–... (12 %) [2090–...]	1780 [1400–2360]	1780 [1260–2360]	0 [-160 bis 0]	2,2 [1,9–2,5]	2,1 [1,9–2,5]	4 [0–10]	37 [18–59]	91 [83–98]
C6 [97]	**begrenzen die Erwärmung auf 3 °C (>50 %)**	SSP2-4.5 ModAct	54 [50–62]	53 [48–61]	52 [45–57]	2 [-10 bis 11]	3 [-14 bis 14]	5 [-2 bis 18]	20-0–2035 (96 %) 2020–2025 (97 %) [2020–2090]		kein netto Null		kein netto Null	2790 [2440–3520]	kein netto Null	Temperatur erreicht vor 2100 keinen Höhepunkt	2,7 [2,4–2,9]	0 [0–0]	8 [2–18]	71 [53–88]
C7 [164]	**begrenzen die Erwärmung auf 4 °C (>50 %)**	SSP3-7.0 CurPol	62 [53–69]	67 [56–76]	70 [58–83]	-11 [-18 bis 3]	-19 [-31 bis 1]	-24 [-41 bis -2]	2085–2090 (57 %) 2090–2095 (56 %) 2040–...]					4220 [3160–5000]			3,5 [2,8–3,9]	0 [0–0]	0 [0–2]	22 [7–60]
C8 [29]	**überschreiten 4 °C Erwärmung (≥50 %)**	SSP5-8.5	71 [69–81]	80 [78–96]	88 [82–112]	-20 [-34 bis -17]	-35 [-65 bis -29]	-46 [-92 bis -36]	2080–2085 (90 %) [2070–...]					5600 [4910–7450]			4,2 [3,7–5,0]	0 [0–0]	0 [0–0]	4 [0–11]

[a] Die Werte in der Tabelle entsprechen den 50. und [5–95.] Perzentilwerten der Pfade, die gemäß der Definition in Box SPM.1 in eine bestimmte Kategorie fallen. Bei emissionsbezogenen Spalten beziehen sich diese Werte auf die Verteilung über alle Pfade dieser Kategorie. Aus Gründen der Konsistenz mit den von Klimaemulatoren projizierten globalen Erwärmungswerten werden harmonisierte Emissionswerte angegeben. Auf Basis der Analyse von Klimaemulatoren in AR6 WGI (Kapitel 7, Box 7.1) werden zwei Klimaemulatoren für die probabilistische Bewertung der aus den Pfaden resultierenden Erwärmung verwendet. Für die Spalten "Temperaturänderung" und "Wahrscheinlichkeit" stellen die einzelnen Werte in der oberen Zeile das 50. Perzentil über die Pfade dieser Kategorie des Medians [50. Perzentil] der Erwärmungsberechnungen des probabilistischen MAGICC-Klimamodell-Emulators dar. Für die Bandbreiten in Klammern wird der Median der Erwärmung für jeden Pfad dieser Kategorie für beide Klimamodell-Emulatoren (MAGICC und FaIR) berechnet. Anschließend werden die 5. und 95. Perzentilwerte über alle Pfade für jeden Emulator berechnet. Die kältesten und wärmsten Ergebnisse (d. h. der niedrigste p5-Wert der beiden Emulatoren beziehungsweise der höchste p95-Wert) sind in eckigen Klammern angegeben. Diese Bandbreiten decken also sowohl die Unsicherheit über die Emissionspfade als auch die Unsicherheit über die Klimaemulatoren ab.

[b] Für eine Beschreibung der Pfadkategorien siehe Box SPM.1.

[c] Alle globalen Erwärmungsniveaus sind gegenüber 1850–1900. (Siehe Tabelle SPM.1 Fußnote n unten und Box SPM.1[45] für weitere Einzelheiten.)

[d] Die C3-Pfade sind nach dem Zeitpunkt der politischen Maßnahmen unterteilt, um mit den Emissionspfaden in Abbildung SPM.4 übereinzustimmen. Zwei aus einer Kosten-Nutzen-Analyse abgeleitete Pfade wurden zu C3a hinzugefügt, während 10 Pfade mit spezifisch konzipierten zeitnahen Maßnahmen bis 2030, deren Emissionen unter denjenigen liegen, die von den vor der COP26 angekündigten NDC impliziert werden, in keiner der beiden Untergruppen enthalten sind.

[e] Angleichung an die Kategorien der in AR6 WGI betrachteten illustrativen SSP-Szenarien und die Illustrativen (Minderungs-)Pfade (IP/IMP) von WGIII. Die IMP haben gemeinsame Merkmale wie tiefgreifende und schnelle Emissionsminderungen, aber auch unterschiedliche Kombinationen von sektoralen Minderungsstrategien. Siehe SPM Box 1 für eine Einführung in die IP und IMP sowie Kapitel 3 für eine vollständige Beschreibung. {3.2, 3.3, Annex III.II.4}

[f] Der Illustrative Minderungspfad 'Neg' sieht eine umfassende Nutzung von Kohlendioxidabscheidung (*carbon dioxide removal*, CDR) in den Sektoren AFOLU, Energie und Industrie vor, um netto-negative Emissionen zu erreichen. Die Erwärmung erreicht um 2060 ihren Höhepunkt und geht kurz nach 2100 auf unter 1,5 °C (50 % Wahrscheinlichkeit) zurück. Obwohl technisch als C3 klassifiziert, weist er stark die Merkmale von C2-Pfaden mit hoher Überschreitung auf, weshalb er in die Kategorie C2 eingeordnet wurde. Siehe Box SPM.1 für eine Einführung in die IP und IMP.

[g] Die Bandbreite der harmonisierten Treibhausgasemissionen für 2019 über alle Pfade hinweg [53–58 Gt CO_2Äq] liegt innerhalb der in Kapitel 2 bewerteten Unsicherheitsbereiche der Emissionen für 2019 [53–66 Gt CO_2Äq][49]. {Abbildung SPM.1, Abbildung SPM.2, Box SPM.1}

[h] Die globalen Emissionsreduktionsraten in den Minderungspfaden werden für jeden einzelnen Pfad im Vergleich zu den harmonisierten modellierten globalen Emissionen im Jahr 2019 angegeben und nicht im Vergleich zu den globalen Emissionen aus SPM-Abschnitt B und Kapitel 2; dies gewährleistet die interne Konsistenz der Annahmen über Emissionsquellen und Aktivitäten sowie die Konsistenz mit den Temperaturprojektionen auf der Grundlage der naturwissenschaftlichen Bewertung von WGI. {Annex III.II.2.5} Negative Werte (zum Beispiel in C7, C8) bedeuten einen Emissionsanstieg.

[i] Die Emissionsmeilensteine werden für 5-Jahres-Intervalle angegeben, um mit den zugrundeliegenden Daten der modellierten Pfade konsistent zu sein, die in 5-Jahres-Schritte eingeteilt sind. Die Emissionshöchstwerte (CO_2 und Treibhausgase) werden für 5-Jahres-Berichtsintervalle ab 2020 bestimmt. Das Intervall 2020–2025 bedeutet, dass die projizierten Emissionen ihren Höhepunkt so bald wie möglich zwischen 2020 und spätestens vor 2025 erreichen. Das obere 5-Jahres-Intervall bezieht sich auf das Intervall (Median), in dem die Emissionen ihren Höchststand erreichen oder netto Null werden. Die Bandbreiten in eckigen Klammern darunter beziehen sich auf die Bandbreite über die Pfade, die von der unteren Grenze des 5.-Perzentil-5-Jahres-Intervalls bis zur oberen Grenze des 95.-Perzentil-5-Jahres-Intervalls reicht. Zahlen in runden Klammern geben den Anteil der Pfade an, der bestimmte Meilensteine erreicht.

[j] Die Perzentile, die für alle Pfade in dieser Kategorie angegeben werden, umfassen auch die Pfade, die nicht vor 2100 netto Null erreichen (der Anteil der Pfade, die den netto Null erreichen, ist in runden Klammern angegeben). Wenn der Anteil der Pfade, die vor 2100 netto Null erreichen, niedriger ist als der Anteil der Pfade, die von einem Perzentil abgedeckt werden (zum Beispiel 0,95 für das 95. Perzentil), wird das Perzentil nicht definiert und mit "..." gekennzeichnet. Der Anteil der Pfade, die netto Null erreichen, umfasst alle Pfade mit gemeldeten nicht-harmonisierten und/oder harmonisierten Emissionsprofilen, die netto Null erreichen. Pfade wurden gezählt, wenn mindestens eines der beiden Profile unter 100 Mt CO_2 pro Jahr bis 2100 fiel.

[k] Der Zeitpunkt von netto Null wird in SPM C2.4 und in Cross-Chapter Box 3 in Kapitel 3 zum Thema netto Null CO_2- und Treibhausgasemissionen diskutiert.

[l] In den Fällen, in denen die Modelle nicht zu allen Treibhausgasen Aussagen treffen, werden die fehlenden Treibhausgasarten ergänzt und zu einem Kyoto-Korb von Treibhausgasemissionen in CO_2Äquivalenten zusammengefasst, der durch das 100-jährige globale Erwärmungspotenzial definiert ist. Für jeden Pfad waren Aussagen über die CO_2-, CH_4- und N_2O-Emissionen das Minimum, das für die Bewertung der Klimaänderung sowie für die Zuordnung zu einer Klimakategorie erforderlich war. Emissionspfade ohne Klimabewertung sind in den hier dargestellten Bandbreiten nicht enthalten. {Siehe Annex III.II.5}

[m] Die kumulierten Emissionen werden Anfang 2020 bis zum Zeitpunkt von netto Null beziehungsweise bis zum Jahr 2100 berechnet. Sie basieren auf harmonisierten Netto-CO_2-Emissionen, wodurch Konsistenz mit der Bewertung des verbleibenden CO_2-Budgets von Arbeitsgruppe I sichergestellt wird.[50] {Box 3.4}.

[n] Mittlere globale Temperaturänderung gegenüber 1850–1900 für die Kategorie (bei Höchststand, wenn der Höchststand vor 2100 eintritt, sowie im Jahr 2100), basierend auf dem Median der globalen Erwärmung für jeden Pfad, bewertet mithilfe der probabilistischen Klimamodell-Emulatoren, die bezüglich der AR6 WGI-Bewertung kalibriert waren.[12] (Siehe auch Box SPM.1). {Annex III.II.2.5; WGI Cross-Chapter Box 7.1}

[o] Wahrscheinlichkeit, unter den Temperaturschwellenwerten für die Pfade in der jeweiligen Kategorie zu bleiben, wobei der Unsicherheitsbereich der Klimamodell-Emulatoren in Einklang mit der Bewertung von AR6 WGI berücksichtigt wurde. Die Wahrscheinlichkeiten beziehen sich auf die Wahrscheinlichkeit bei der Höchsttemperatur. Zu beachten ist, dass im Falle eines Überschreitens der Temperaturgrenze (zum Beispiel Kategorie C2 und einige Pfade in C1) die Wahrscheinlichkeiten, unter der Temperaturgrenze zu bleiben, am Ende des Jahrhunderts höher sind als zum Zeitpunkt der Höchsttemperatur.

Box SPM.1 | Bewertung der modellierten globalen Emissionsszenarien

In diesem Bericht wird eine große Bandbreite von modellierten globalen Emissionspfaden und -szenarien aus der Literatur ausgewertet, einschließlich Pfaden und Szenarien mit und ohne Emissionsminderung.[44] Emissionspfade und -szenarien projizieren die Entwicklung der Treibhausgasemissionen auf der Grundlage einer Reihe von in sich konsistenten Annahmen über künftige sozioökonomische Bedingungen und damit zusammenhängende Emissionsminderungsmaßnahmen.[45] Es handelt sich um quantitative Projektionen und weder um Vorhersagen noch um Prognosen. Etwa die Hälfte aller modellierten globalen Emissionsszenarien geht von kosteneffizienten Ansätzen aus, die sich auf die kostengünstigsten Optionen zur Emissionsverringerung weltweit stützen. Die andere Hälfte befasst sich mit bestehenden politischen Strategien und regional und sektoral differenzierten Maßnahmen. In den meisten Fällen werden keine expliziten Annahmen über globale Gerechtigkeit, Umweltgerechtigkeit oder die innerregionale Einkommensverteilung getroffen. Globale Emissionspfade, auch solche, die auf kostenwirksamen Ansätzen basieren, enthalten regional differenzierte Annahmen und Resultate und müssen unter sorgfältiger Berücksichtigung dieser Annahmen bewertet werden. Die vorliegende Auswertung konzentriert sich auf ihre globalen Merkmale. Der Großteil der bewerteten Szenarien (etwa 80 %) wurde nach dem SR1.5 verfügbar, einige wurden darin jedoch bereits bewertet. Szenarien mit und ohne Minderung wurden auf der Grundlage der für das 21. Jahrhundert projizierten globalen Erwärmung in Kategorien eingeteilt, wobei für eine Erwärmung von bis zu einschließlich 2 °C das gleiche Schema wie im SR1.5 angewendet wurde. {1.5, 3.2, 3.3, Annex III.II.2, Annex III.II.3}

Die Szenariokategorien werden nach der Wahrscheinlichkeit definiert, zu der sie [bestimmte] globale Erwärmungsniveaus überschreiten (mit dem Höchstwert und im Jahr 2100), und in diesem Bericht wie folgt bezeichnet[46,47]:

- Kategorie C1 umfasst modellierte Szenarien, die die Erwärmung im Jahr 2100 mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 50 % auf 1,5 °C begrenzen und im Verlauf des 21. Jahrhunderts eine Erwärmung von 1,5 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von 67 % oder weniger erreichen oder überschreiten. In diesem Bericht werden diese Szenarien als Szenarien bezeichnet, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen. Begrenzte Überschreitung bedeutet, dass eine globale Erwärmung von 1,5 °C um bis zu 0,1 °C und für höchstens mehrere Jahrzehnte überschritten wird.[48]
- Kategorie C2 umfasst modellierte Szenarien, die die Erwärmung im Jahr 2100 mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 50 % auf 1,5 °C begrenzen und im Verlauf des 21. Jahrhunderts eine Erwärmung von 1,5 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 67 % überschreiten. In diesem Bericht werden diese Szenarien auch als Szenarien bezeichnet die die Erwärmung nach einer starken Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) zurückführen. Eine starke Überschreitung bedeutet eine vorübergehende Überschreitung einer globalen Erwärmung von 1,5 °C um 0,1–0,3 °C für höchstens mehrere Jahrzehnte.
- Kategorie C3 umfasst modellierte Szenarien, die die maximale Erwärmung im gesamten 21. Jahrhundert mit einer Wahrscheinlichkeit von mehr als 67 % auf 2 °C begrenzen. In diesem Bericht werden diese Szenarien auch als Szenarien bezeichnet, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen.
- Die Kategorien C4, C5, C6 und C7 umfassen modellierte Szenarien, die die Erwärmung im 21. Jahrhundert mit einer

---

[44] In der Literatur werden die Begriffe "Pfade" und "Szenarien" austauschbar verwendet, wobei ersterer häufiger im Zusammenhang mit Klimazielen verwendet wird. Aus diesem Grund wird in dieser SPM meist der Begriff (Emissions- und Minderungs-)Pfade verwendet. {Annex III.II.1.1}

[45] Die wichtigsten Annahmen beziehen sich auf die technologische Entwicklung in der Landwirtschaft und in Energiesystemen sowie auf die sozioökonomische Entwicklung, einschließlich demografischer und wirtschaftlicher Projektionen. Der IPCC ist neutral in Bezug auf die Annahmen, die den Szenarien in der in diesem Bericht ausgewerteten Literatur zugrunde liegen; diese Szenarien decken nicht alle möglichen Zukünfte ab. Zusätzliche Szenarien können entwickelt werden. Die zugrunde liegenden Bevölkerungsannahmen reichen von 8,5 bis 9,7 Milliarden im Jahr 2050 und 7,4 bis 10,9 Milliarden im Jahr 2100 (5–95. Perzentil), ausgehend von 7,6 Milliarden im Jahr 2019. Die zugrunde liegenden Annahmen für das globale BIP-Wachstum (KKP) reichen von 2,5 bis 3,5 % pro Jahr im Zeitraum 2019–2050 und 1,3 bis 2,1 % pro Jahr im Zeitraum 2050–2100 (5–95. Perzentil). Viele der zugrunde liegenden Annahmen sind regional differenziert. {1.5; 3.2; 3.3; Abbildung 3.9; Annex III.II.1.4; Annex III.II.3}

[46] Die hier vorgestellten Szenarienprojektionen für die Zukunft stehen mit dem gesamten beobachteten Anstieg der globalen Oberflächentemperatur zwischen 1850–1900 und 1995–2014 sowie bis 2011–2020 (mit besten Schätzwerten von 0,85 beziehungsweise 1,09 °C), der in WGI bewertet wurde, in Einklang. Der größte Beitrag zur historischen, vom Menschen verursachten Erwärmung ist CO_2, wobei die historischen kumulierten CO_2-Emissionen von 1850 bis 2019 2400 ± 240 (Gt CO_2) betragen. {WGI SPM A.1.2, WGI Tabelle SPM.2, WGI Tabelle 5.1, WGIII SPM Abschnitt B}

[47] Wenn keine ausdrückliche Wahrscheinlichkeit angegeben wird, sind die angegebenen Erwärmungswerte mit einer Wahrscheinlichkeit von >50 % verbunden.

[48] Für die Szenarien dieser Kategorie wurde festgestellt, dass auch die Wahrscheinlichkeit, den Höchstwert der globalen Erwärmung während des gesamten 21. Jahrhunderts auf 2 °C zu begrenzen, bei etwa 90 % und darüber liegt.

Wahrscheinlichkeit von mehr als 50 % auf jeweils 2 °C, 2,5 °C, 3 °C beziehungsweise 4 °C begrenzen. In einigen Szenarien der Kategorie C4 und vielen Szenarien der Kategorien C5–C7 setzt sich die Erwärmung über das 21. Jahrhundert hinaus fort.

- Kategorie C8 umfasst modellierte Szenarien, die im 21. Jahrhundert mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % oder mehr eine Erwärmung von 4 °C überschreiten. In diesen Szenarien nimmt die Erwärmung über das 21. Jahrhundert hinaus weiter zu.

Die Kategorien der modellierten Szenarien sind klar voneinander abgegrenzt und überschneiden sich nicht; sie enthalten keine Kategorien, die mit einem niedrigeren globalen Erwärmungsniveau in Einklang stehen; zum Beispiel umfasst die Kategorie der C3-Szenarien, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, nicht die C1- und C2-Szenarien, die die Erwärmung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen oder zurückführen. Gegebenenfalls werden Szenarien, die zur Gruppe der Kategorien C1–C3 gehören, in diesem Bericht als Szenarien bezeichnet, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen.

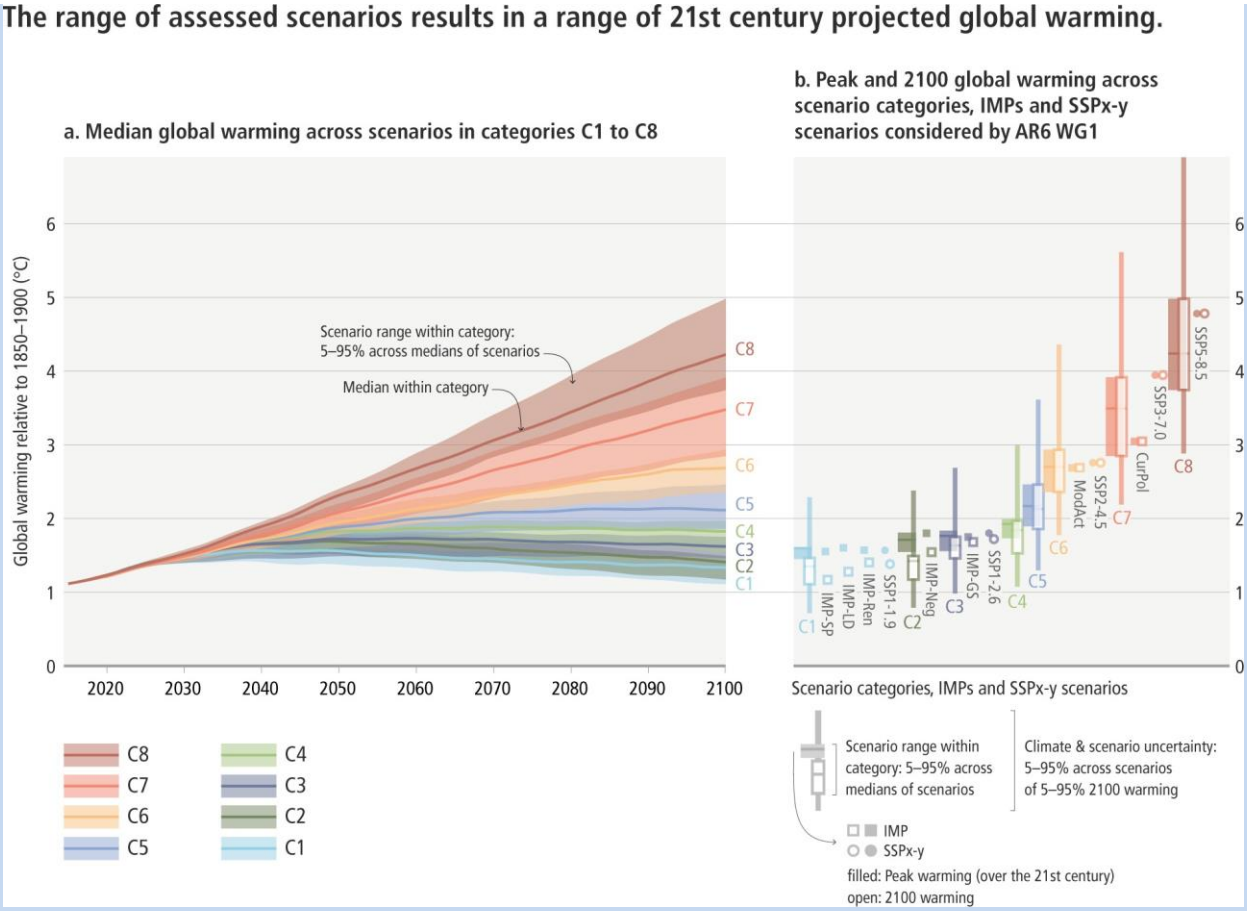
Die Methoden zur Projektion der globalen Erwärmung im Zusammenhang mit den Szenarien wurden aktualisiert, um Konsistenz mit dem AR6 WGI-Bericht zu gewährleisten.[49] {3.2, Annex III.II.2.5, AR6 WGI Cross-Chapter Box 7.1}

Diese aktualisierten Methoden haben Auswirkungen auf die Zuordnung einiger Szenarien zu den Kategorien. Im Durchschnitt über alle Szenarien wird die globale Erwärmung laut Projektionen um bis zu 0,05 [±0,1] °C niedriger ausfallen, als wenn dieselben Szenarien nach der SR1.5-Methodik bewertet würden, und die globale Erwärmung im Jahr 2100 wird etwa 0,1 [±0,1] °C niedriger projiziert. {Annex III.II.2.5.1, Annex III, Abbildung II.3}

Die sich hieraus ergebenden Änderungen der Emissionsmerkmale der in Tabelle SPM.2 beschriebenen Szenariokategorien stehen in Wechselwirkung mit den Änderungen der Merkmale des breiteren Spektrums von Emissionsszenarien, die seit dem SR1.5 veröffentlicht wurden. Von den Szenarien, die im AR6 bewertet wurden, sind proportional mehr darauf ausgelegt, die Temperaturüberschreitung zu begrenzen, und mehr Szenarien begrenzen großmaßstäbliche negative CO_2-Emissionen als im SR1.5. Infolgedessen erreichen die AR6-Szenarien in der niedrigsten Temperaturkategorie (C1) im Allgemeinen netto Null Treibhausgasemissionen zu einem späteren Zeitpunkt im 21. Jahrhundert als die Szenarien derselben Kategorie, die in SR1.5 bewertet wurden, und etwa die Hälfte erreicht bis 2100 keine netto Null Treibhausgasemissionen. Die Reduktionsrate der Treibhausgasemissionen in der nahen Zukunft bis 2030 in den Kategorie-C1-Szenarien ist der in SR1.5 bewerteten Rate sehr ähnlich, aber die absoluten Treibhausgasemissionen der Kategorie-C1-Szenarien im AR6 sind im Jahr 2030 etwas höher als in SR1.5, da die Reduktionen von einem höheren Emissionsniveau im Jahr 2020 ausgehen. (Tabelle SPM.2) {Annex III, 2.5, 3.2, 3.3}

Die große Zahl der bewerteten globalen Emissionsszenarien, darunter 1202 Szenarien mit projizierter resultierender globaler Erwärmung unter Verwendung von Klimaemulatoren, stammen aus einer großen Bandbreite an Modellierungsansätzen. Sie umfassen die fünf illustrativen Szenarien (*Shared Socioeconomic Pathways,* SSP), die von WGI hinsichtlich ihrer projizierten resultierenden Klimaänderung betrachtet wurden, decken jedoch ein breiteres und vielfältigeres Spektrum bezüglich der Annahmen und modellierten Ergebnisse ab.

[49] Dazu gehörten verbesserte Methoden zur Verwendung von Klimaemulatoren (MAGICC7 und FAIR v1.6), die so evaluiert und kalibriert wurden, dass sie der in AR6 WGI bewerteten globalen Erwärmung in Reaktion auf Emissionen genau entsprechen. Dazu gehörte die Harmonisierung der globalen Treibhausgasemissionen im Jahr 2015 in den modellierten Szenarien (51–56 Gt CO_2Äq; 5. bis 95. Perzentil) mit dem entsprechenden Emissionswert, der der von WGI bewerteten projizierten CMIP6-Klimareaktion zugrunde liegt (54 Gt CO_2Äq), basierend auf ähnlichen Datenquellen für historische Emissionen, die im Laufe der Zeit aktualisiert werden. Die Bewertung vergangener Treibhausgasemissionen in Kapitel 2 des Berichts basiert auf einem neueren Datensatz, der Emissionen von 57 [±6,3] Gt CO_2Äq im Jahr 2015 liefert (B.1). Die Unterschiede liegen deutlich innerhalb des bewerteten Unsicherheitsbereichs und ergeben sich hauptsächlich aus den Unterschieden bei den geschätzten CO_2-LULUCF-Emissionen, die großen Unsicherheiten, hohen jährlichen Schwankungen und Revisionen im Laufe der Zeit unterliegen. Projizierte globale Emissionsreduktionsraten in den Minderungsszenarien werden im Verhältnis zu den modellierten globalen Emissionen im Jahr 2019 und nicht zu den globalen Emissionen in Kapitel 2 angegeben; dies gewährleistet die interne Konsistenz der Annahmen über Emissionsquellen und -aktivitäten sowie die Konsistenz mit den Temperaturprojektionen, die auf der naturwissenschaftlichen Bewertung von WGI beruhen. {Annex III.II.2.5}



Box SPM.1, Abbildung 1 | Projizierte mittlere globale Erwärmung des Ensembles der modellierten Szenarien in den Klimakategorien C1 bis C8, der IMP (auf der Grundlage von Emulatoren, die gemäß der WGI-Bewertung kalibriert wurden) sowie der fünf illustrativen Szenarien (SSPx-y), wie sie von der AR6-Arbeitsgruppe I berücksichtigt wurden. Tafel a zeigt die p5-p95-Bandbreite der projizierten Erwärmung (Median) über die globalen modellierten Pfade innerhalb einer Kategorie, mit den Medianwerten für jede Kategorie (Linie). **Tafel b** zeigt die Temperaturhöchstwerte und die emulierten resultierenden Temperaturen im Jahr 2100 für die Kategorien C1 bis C8 und für IMP sowie die fünf illustrativen Szenarien (SSPx-y), wie sie von AR6 WGI berücksichtigt wurden. Die Kästen geben die p5-p95-Bandbreite innerhalb jeder Szenariokategorie an, wie in Tafel a. Die kombinierte p5–p95-Bandbreite über Szenarien und die Klimaunsicherheit für jede Kategorie C1–C8 wird auch für die Erwärmung im Jahr 2100 gezeigt (dünne vertikale Linien). {Tabelle SPM.2} {Abbildung 3.11; AR6 WGI Abbildung SPM.8}

Für die vorliegende Auswertung wurden aus diesem größeren Satz Illustrative Minderungspfade (*Illustrative Mitigation Pathways*, IMP) ausgewählt, um eine Reihe verschiedener Minderungsstrategien zu veranschaulichen, die mit unterschiedlichen Erwärmungsniveaus in Einklang stünden. Die IMP veranschaulichen Pfade, die durch verschiedene Kombinationen von Minderungsstrategien tiefgreifende und schnelle Emissionsreduktionen erreichen. Die IMP erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und gehen im zugrundeliegenden Bericht nicht auf alle denkbaren Themen ein. Sie unterscheiden sich im Hinblick auf ihren Schwerpunkt, zum Beispiel die stärkere Betonung erneuerbarer Energien (IMP-Ren), den Einsatz von Kohlendioxidentnahme, die zu netto negativen globalen Treibhausgasemissionen führen (IMP-Neg), oder effiziente Ressourcennutzung sowie die Verschiebung von Konsummustern weltweit, die zu einer geringen Ressourcennachfrage führen und gleichzeitig ein hohes Dienstleistungsniveau und die Befriedigung von Grundbedürfnissen gewährleisten (IMP-LD) (Abbildung SPM.5). Andere IMP veranschaulichen die Auswirkungen einer weniger raschen Einführung von Minderungsmaßnahmen, gefolgt von einer anschließenden schrittweisen Verstärkung (IMP-GS), oder wie eine Umlenkung globaler Pfade in Richtung nachhaltiger Entwicklung, auch durch Verringerung von Ungleichheit, zu Emissionsminderung führen kann (IMP-SP). Die IMP erreichen unterschiedliche Klimaziele, wie in Tabelle SPM.2 und Box SPM.1, Abbildung 1 angegeben. {1.5, 3.1, 3.2, 3.3, 3.6, Abbildung 3.7, Abbildung 3.8, Box 3.4, Annex III.II.2.4}

C.2 Globale netto Null CO_2-Emissionen werden bei modellierten Pfaden, welche die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C begrenzen (>50 %), in den frühen 2050er Jahren erreicht und etwa in den frühen 2070er Jahren bei modellierten Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen (>67 %). Viele dieser Pfade führen nach dem Erreichen des Netto-Nullpunkts weiter zu negativen CO_2-Emissionen. Diese Pfade beinhalten auch starke Senkungen anderer Treibhausgasemissionen. Das Ausmaß der maximalen Erwärmung hängt von den kumulierten CO_2-Emissionen bis zum Zeitpunkt von netto Null CO_2 und von den Veränderungen bei anderen klimawirksamen Substanzen als CO_2 bis zum Erreichen des Höchststandes ab. Tiefgreifende Senkungen der Treibhausgasemissionen bis 2030 und 2040, insbesondere Senkungen der Methanemissionen, verkleinern den Höchstwert der Erwärmung, verringern die Wahrscheinlichkeit einer Überschreitung der Erwärmungsgrenzen und führen zu einer geringeren Abhängigkeit von netto negativen CO_2-Emissionen, die die Erwärmung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts umkehren. Das Erreichen und Aufrechterhalten von globalen netto Null Treibhausgasemissionen führt zu einem allmählichen Rückgang der Erwärmung. (*hohes Vertrauen*) (Tabelle SPM.2) {3.3, 3.5, Box 3.4, Cross-Chapter Box 3 in Kapitel 3, AR6 WGI SPM D1.8}

C.2.1 Modellierte globale Pfade, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, sind bis zu dem Zeitpunkt, an dem netto Null CO_2-Emissionen erreicht werden, mit projizierten kumulierten Netto-CO_2-Emissionen[50] von 510 [330–710] Gt CO_2 verbunden. Pfade, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen (>67 %), sind mit 890 [640–1160] Gt CO_2 verbunden (Tabelle SPM.2). (*hohes Vertrauen*). {3.3, Box 3.4}

C.2.2 Modellierte globale Pfade, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, beinhalten schnellere und stärkere Treibhausgasemissionsreduktionen in der nahen Zukunft bis einschließlich 2030 und werden laut Projektionen längerfristig weniger netto negative CO_2-Emissionen und weniger CO_2-Entnahme (*carbon dioxide removal*, CDR) aufweisen als Pfade, die die Erwärmung nach einer starken Überschreitung wieder auf 1,5 °C (>50 %) zurückführen (Kategorie C2). Modellierte Pfade, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, haben im Durchschnitt geringere netto negative CO_2-Emissionen als Pfade, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, und als Pfade, die die Erwärmung nach einer starken Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) zurückführen (Kategorien C1 bzw. C2). Die modellierten Pfade, die die Erwärmung nach einer starken Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) zurückführen (C2-Kategorie), zeigen in der nahen Zukunft ähnliche Treibhausgasemissionsreduktionen wie Pfade, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen (C3-Kategorie). Für einen gegebenen Höchstwert der globalen Erwärmung sind größere und schnellere Treibhausgasemissionsreduktionen in der nahen Zukunft mit einem späterem Eintreten von netto Null CO_2-Emissionen verbunden. (*hohes Vertrauen*) (Tabelle SPM.2) {3.3, Tabelle 3.5, Cross-Chapter Box 3 in Kapitel 3, Annex I: Glossar}

C.2.3 Die künftige Erwärmung durch andere Faktoren als CO_2 hängt von den Reduktionen der Emissionen von Nicht-CO_2-Treibhausgasen, Aerosolen und deren Vorläufern sowie von Ozonvorläufern ab. Bei den modellierten globalen Niedrigemissionspfaden führt die projizierte Reduktion von kühlenden und wärmenden Aerosolen im Laufe der Zeit zu einer Nettoerwärmung in der nahen bis mittleren Zukunft. Bei diesen Minderungspfaden sind die projizierten Reduktionen von kühlenden Aerosolen hauptsächlich auf eine verminderte Verbrennung fossiler Brennstoffe ohne wirksame Luftreinhaltung zurückzuführen. Die Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen zum Zeitpunkt von netto Null CO_2 liegen bei den modellierten Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen, laut Projektionen in ähnlicher Größenordnung. Diese Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen belaufen sich auf etwa 8 [5–11] Gt CO_2Äq pro Jahr, wobei der größte Anteil auf CH_4 (60 % [55–80 %]) entfällt, gefolgt von N_2O (30 % [20–35 %]) und F-Gasen (3 % [2–20 %]).[51] Aufgrund der kurzen Lebensdauer von CH_4 in der Atmosphäre reduziert die projizierte starke Reduktion der CH_4-Emissionen bis zum Zeitpunkt von netto Null CO_2 in den modellierten Minderungspfaden effektiv den Höchstwert der globalen Erwärmung. (*hohes Vertrauen*) {3.3, AR6

[50] Die kumulierten Netto-CO_2-Emissionen in den bewerteten Pfaden seit Anfang 2020 bis zum Zeitpunkt, an dem netto Null CO_2-Emissionen erreicht werden, stehen mit den von WGI bewerteten verbleibenden Kohlenstoffbudgets in Einklang, unter Berücksichtigung der Bandbreiten der WGIII-Temperaturkategorien und der Erwärmung durch Nicht-CO_2-Gase. {Box 3.4}

[51] Alle Zahlen hier sind auf die nächsten 5 % gerundet, mit Ausnahme von Werten unter 5 % (für F-Gase).

WGI SPM D1.7}

C.2.4 Zum Zeitpunkt von globalen netto Null Treibhausgasemissionen gleichen negative CO_2-Emissionen die metrisch gewichteten Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen aus. Typische Emissionspfade, die auf der Grundlage des 100-jährigen globalen Erwärmungspotenzials (GWP100)[7] globale Treibhausgasemissionen von netto Null erreichen und aufrechterhalten, werden laut Projektionen zu einem allmählichen Rückgang der globalen Erwärmung führen. Etwa die Hälfte der bewerteten Pfade, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen (C1-Kategorie), erreichen im Laufe der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts netto Null Treibhausgasemissionen. Diese Pfade zeigen nach dem Höchststand einen Rückgang der globalen Erwärmung bis 2100 auf 1,2 [1,1–1,4] °C; dieser Rückgang ist stärker als bei modellierten Pfaden derselben Kategorie, die netto Null Treibhausgasemissionen nicht vor 2100 erreichen und bis 2100 zu einer Erwärmung von 1,4 [1,3–1,5] °C führen. Bei den modellierten Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen (Kategorie C3), besteht bezüglich der Erwärmung bis 2100 kein signifikanter Unterschied zwischen den Pfaden, die netto Null Treibhausgasemissionen erreichen (etwa 30 %) und denjenigen, die dies nicht tun (*hohes Vertrauen*). Bei Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen, und die netto Null Treibhausgasemissionen erreichen, treten die netto Null Treibhausgasemissionen etwa 10–40 Jahre nach dem Erreichen von netto Null CO_2-Emissionen ein (*mittleres Vertrauen*). {Cross-Chapter Box 2 in Kapitel 2, 3.3, Cross-Chapter Box 3 in Kapitel 3; AR6 WGI SPM D1.8}

C.3 Alle globalen Modellpfade, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C begrenzen (>50 %), und diejenigen, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen (>67 %), erfordern rasche und tiefgreifende und in den meisten Fällen sofortige Senkungen der Treibhausgasemissionen in allen Sektoren. Die modellierten Strategien zur Erreichung dieser Senkungen umfassen den Übergang von fossilen Brennstoffen ohne Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (*Carbon Capture and Storage*, CCS) zu sehr kohlenstoffarmen oder kohlenstofffreien Energiequellen, wie erneuerbaren Energien oder fossilen Brennstoffen mit CCS, nachfrageseitige Maßnahmen und Effizienzsteigerungen, die Senkung von Nicht-CO_2-Emissionen sowie den Einsatz von Methoden zur Kohlendioxidentnahme (*Carbon Dioxide Removal*, CDR), um verbleibende Treibhausgasemissionen auszugleichen. Illustrative Minderungspfade (*Illustrative Mitigation Pathways*, IMP) zeigen unterschiedliche Kombinationen von sektoralen Strategien zur Minderung des Klimawandels, die mit einem bestimmten Erwärmungsniveau in Einklang stehen. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.5) {3.2, 3.3, 3.4, 6.4, 6.6}

C.3.1 In den modellierten Minderungspfaden leisten verschiedene Sektoren unterschiedliche Beiträge, wie die Illustrativen Minderungspfade (IMP) zeigen. Die modellierten Pfade, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen, weisen jedoch gemeinsame Merkmale auf, darunter rasche und tiefgreifende Treibhausgasemissionsreduktionen. Wenn in einem Sektor weniger getan wird, muss dies durch weitere Reduktionen in anderen Sektoren kompensiert werden, wenn die Erwärmung begrenzt werden soll. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.5) {3.2, 3.3, 3.4}

C.3.2 Bei den modellierten Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, wird der globale Einsatz von Kohle, Öl und Gas im Jahr 2050 laut Projektionen um jeweils etwa 95 %, 60 % und 45 % (Medianwerte) gegenüber 2019 verringert sein. Die Interquartilsbereiche betragen jeweils (80 bis 100 %), (40 bis 75 %) beziehungsweise (20 bis 60 %), und die p5-p95-Bereiche betragen jeweils [60 bis 100 %], [25 bis 90 %] beziehungsweise [-30 bis 85 %]. Bei modellierten Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen (>67%), haben diese projizierten Rückgänge einen Medianwert und einen Interquartilsbereich von 85 % (65 bis 95 %), 30 % (15 bis 50 %) beziehungsweise 15 % (-10 bis 40 %) bis 2050. Der Einsatz von Kohle, Öl und Gas ohne CCS wird laut Projektionen in modellierten Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, stärker zurückgehen, mit Medianwerten von etwa 100 %, 60 % beziehungsweise 70 % im Jahr 2050 gegenüber 2019. Die Interquartilsbereiche liegen bei jeweils (95 bis 100 %), (45 bis 75 %) und (60 bis 80 %) und der p5-p95-Bereich bei jeweils etwa [85 bis 100 %], [25 bis 90 %] und [35 bis

90 %] für Kohle, Öl beziehungsweise Gas. Bei diesen globalen Modellpfaden wird im Jahr 2050 fast die gesamte Elektrizität aus kohlenstofffreien oder kohlenstoffarmen Quellen, wie erneuerbaren Energien oder fossilen Brennstoffen mit CCS, geliefert; zudem wird die Energienachfrage verstärkt elektrifiziert. Wie aus den Bandbreiten hervorgeht, können Entscheidungen in einem Sektor durch Entscheidungen in einem anderen Sektor kompensiert werden und dabei mit den betrachteten Erwärmungswerten im Einklang stehen.[52] (*hohes Vertrauen*) {3.4, 3.5, Tabelle 3.6, Abbildung 3.22, Abbildung 6.35}

C.3.3 Für modellierte Pfade, die globale netto Null CO_2-Emissionen erreichen, gilt: zu dem Zeitpunkt, an dem sie netto Null erreichen, werden 5–16 Gt CO_2 an Emissionen aus einigen Sektoren durch netto negative CO_2-Emissionen in anderen Sektoren kompensiert. Bei den meisten globalen Modellpfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen, erreichen die Sektoren AFOLU – durch Wiederaufforstung und verringerte Entwaldung – und Energieversorgung früher netto Null CO_2-Emissionen als die Sektoren Gebäude, Industrie und Verkehr. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.5e, f) {3.4}

C.3.4 Bei modellierten Pfaden, die globale Treibhausgasemissionen von netto Null erreichen, werden zu dem Zeitpunkt, an dem sie netto Null Treibhausgasemissionen erreichen, etwa 74 % [54 bis 90 %] der globalen Emissionsreduktionen durch CO_2-Reduktionen bei Energieangebot und -nachfrage erreicht, 13 % [4 bis 20 %] durch Optionen zur CO_2-Reduktion im AFOLU-Sektor und 13 % [10 bis 18 %] durch die Reduktion von Nicht-CO_2-Emissionen aus Landnutzung, Energie und Industrie (*mittleres Vertrauen*). (Abbildung SPM.5f) {3.3, 3.4}

C.3.5 Die Methoden und das Ausmaß des CDR-Einsatzes in globalen modellierten Minderungspfaden variieren je nach Annahmen über Kosten, Verfügbarkeit und Einschränkungen.[53] In modellierten Pfaden, die CDR beinhalten und die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, beträgt die globale kumulierte CO_2-Entnahme aus Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (*bioenergy with carbon dioxide capture and storage*, BECCS) sowie aus direkter Abscheidung von Kohlendioxid aus der Luft mit anschließender Speicherung (*direct air carbon dioxide capture and storage,* DACCS) im Zeitraum 2020–2100 30–780 Gt CO_2 beziehungsweise 0–310 Gt CO_2. Bei diesen modellierten Pfaden trägt der AFOLU-Sektor 20–400 Gt CO_2 netto negative Emissionen bei. Die gesamten kumulierten netto negativen CO_2-Emissionen einschließlich des Einsatzes von CDR über alle in diesen Modellpfaden vertretenen Optionen betragen 20–660 Gt CO_2. Bei den modellierten Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, beträgt die globale CDR aus BECCS und DACCS über den Zeitraum 2020–2100 kumuliert 170–650 beziehungsweise 0–250 Gt CO_2, der AFOLU-Sektor trägt 10–250 Gt CO_2 netto negative Emissionen bei, und die gesamten kumulierten netto negativen CO_2-Emissionen liegen bei etwa 40 [0–290] Gt CO_2. (Tabelle SPM.2) (*hohes Vertrauen*) {Tabelle 3.2, 3.3, 3.4}

C.3.6 Alle Strategien zur Minderung des Klimawandels sind bei der Umsetzung mit Herausforderungen konfrontiert, darunter technologische Risiken, Skalierung und Kosten. Viele Herausforderungen, wie zum Beispiel die Abhängigkeit von CDR, der Druck auf Landsysteme und Biodiversität (zum Beispiel bei Bioenergie) und die Abhängigkeit von Technologien mit hohen Vorabinvestitionen (zum Beispiel bei Kernenergie), werden in modellierten Pfaden, die von einer effizienteren Ressourcennutzung ausgehen (zum Beispiel IMP-LD) oder die globale Entwicklung in Richtung Nachhaltigkeit umlenken (zum Beispiel IMP-SP), deutlich verringert. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.5) {3.2, 3.4, 3.7, 3.8, 4.3, 5.1}

---

[52] Die meisten, aber nicht alle Modelle berücksichtigen die Verwendung fossiler Brennstoffe als Rohstoff mit unterschiedlichen zugrundeliegenden Standards.

[53] Das Gesamtniveau des CDR-Einsatzes ist höher als die gesamten netto negativen CO_2-Emissionen, da ein Teil des CDR-Einsatzes dazu verwendet wird, verbleibende Bruttoemissionen auszugleichen. Die gesamten netto negativen CO_2-Emissionen in den modellierten Pfaden stimmen möglicherweise nicht mit den aggregierten netto negativen CO_2-Emissionen überein, die den einzelnen CDR-Methoden zugeschrieben werden. Die Bandbreiten beziehen sich auf das 5.–95. Perzentil derjenigen modellierten Pfade, die die spezifische CDR-Methode beinhalten. Das kumulierte Ausmaß an CDR aus AFOLU kann nicht genau quantifiziert werden, da (i) einige Pfade den CDR-Einsatz im Verhältnis zu einem Referenzniveau bewerten und (ii) verschiedene Modelle unterschiedliche Berichterstattungsmethoden verwenden, die in einigen Fällen Bruttoemissionen und -entnahmen in AFOLU kombinieren. Das gesamte CDR aus AFOLU entspricht den oder übersteigt die genannten netto negativen Emissionen.

Modelled mitigation pathways that limit warming to 1.5°C, and 2°C, involve deep, rapid and sustained emissions reductions.

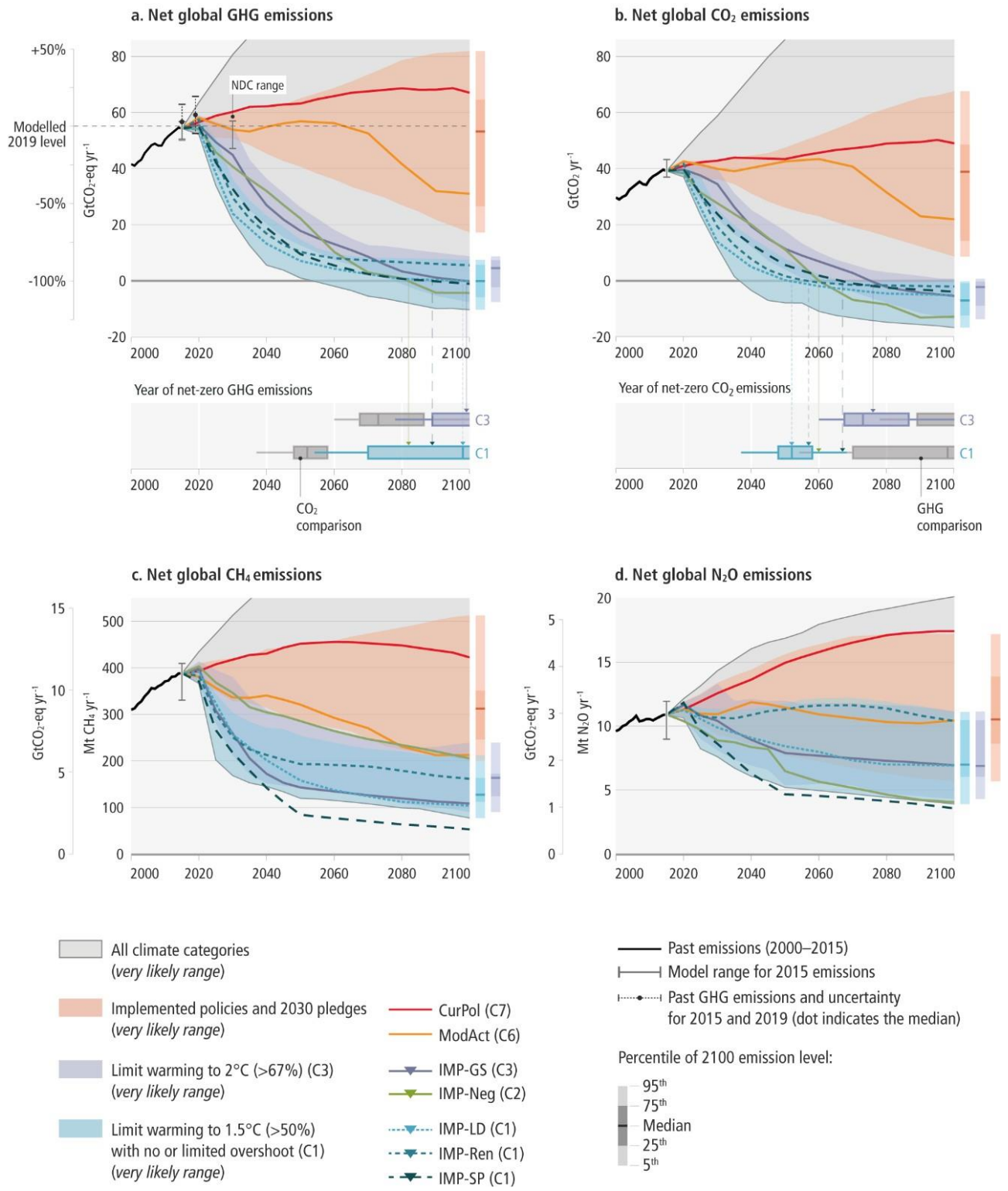


Abbildung SPM.5 | Illustrative Emissionsminderungspfade (IMP) und Strategien für netto Null CO_2- und Treibhausgasemissionen.

Net zero CO_2 and net zero GHG emissionsare possible through different modelled mitigation pathways.

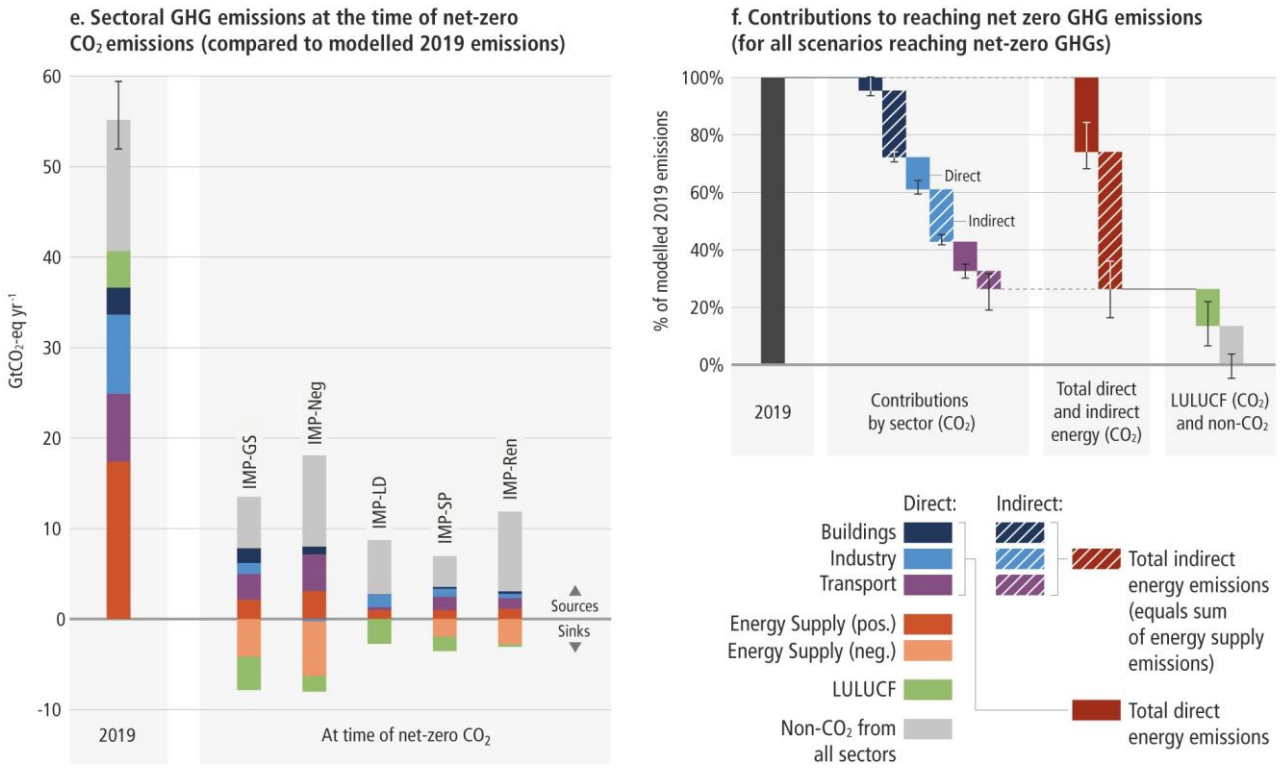


Abbildung SPM.5 (Fortsetzung): Illustrative Emissionsminderungspfade (IMP) und Strategien für netto Null CO_2- und Treibhausgasemissionen. Die Tafeln a und b zeigen die Entwicklung der globalen Treibhausgas- und CO_2-Emissionen in den modellierten globalen Pfaden (oberer Teil der Tafeln) und den jeweils verbundenen Zeitpunkt, zu dem die Treibhausgas- und CO_2-Emissionen netto Null erreichen (unterer Teil der Tafeln). **Die Tafeln c und d** zeigen die Entwicklung der globalen CH_4- beziehungsweise N_2O-Emissionen. Die farbigen Flächen geben das 5. bis 95. Perzentil der verschiedenen Pfade an. Die roten Flächen zeigen Emissionspfade, die Maßnahmen annehmen, die bis Ende 2020 umgesetzt wurden, und Pfade, die annehmen, dass die (vor der COP26 angekündigten) NDC umgesetzt werden. Die Bandbreiten von modellierten Pfaden, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, sind hellblau dargestellt (Kategorie C1), und Pfade, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) begrenzen, sind hellviolett dargestellt (Kategorie C3). Die graue Fläche umfasst alle betrachteten Pfade (C1–C8) vom 5. Perzentil der niedrigsten Erwärmungskategorie (C1) bis zum 95. Perzentil der höchsten Erwärmungskategorie (C8). Die modellierten Pfade werden mit den Emissionen von zwei Pfaden, die hohe Emissionen veranschaulichen (CurPol und ModAct), und fünf IMP verglichen: IMP-LD, IMP-Ren, IMP-SP, IMP-Neg und IMP-GS. Die Emissionen sind auf das gemeinsame Referenzjahr 2015 harmonisiert. Die vertikalen Fehlerbalken im Jahr 2015 zeigen den 5.–95.-Perzentil-Unsicherheitsbereich der nicht harmonisierten Emissionen über die Pfade hinweg sowie den Unsicherheitsbereich und den Medianwert der Emissionsschätzungen für 2015 und 2019. Die vertikalen Fehlerbalken im Jahr 2030 (Tafel a) zeigen die bewertete Bandbreite der NDC, wie sie vor der COP26 angekündigt wurden (siehe Abbildung SPM.4)[23]. **Tafel e** zeigt die sektoralen Beiträge von CO_2- und Nicht-CO_2-Emissionsquellen und -senken zu dem Zeitpunkt, an dem in den IMP netto Null CO_2-Emissionen erreicht werden. Positive und negative Emissionen für verschiedene IMP werden mit den Treibhausgasemissionen aus dem Jahr 2019 verglichen. Energieversorgung (neg.) umfasst BECCS und DACCS. DACCS kommt nur in zwei der fünf IMP (IMP-REN, IMP-GS) vor und trägt <1 % beziehungsweise 64 % der negativen Nettoemissionen bei Energieversorgung (neg.) bei. **Tafel f** zeigt den Beitrag der verschiedenen Sektoren und Quellen zu den Emissionsreduktionen gegenüber einer Referenz in 2019, um netto Null Treibhausgasemissionen zu erreichen. Die Balken zeigen die Emissionsreduktionen (Median) für alle Pfade, die netto Null Treibhausgasemissionen erreichen. Die Antennen geben den p5–p95-Bereich an. Die Beiträge der Dienstleistungssektoren (Verkehr, Gebäude, Industrie) sind in direkte (nachfrageseitige) und indirekte (angebotsseitige) CO_2-Emissionsreduktionen unterteilt. Direkte Emissionen stellen Emissionen auf der Nachfrageseite dar, die durch den Brennstoffeinsatz im jeweiligen Nachfragesektor entstehen. Indirekte Emissionen stellen vorgelagerte Emissionen dar, die aufgrund von Industrieprozessen und Energieumwandlung, -übertragung und -verteilung entstehen. Darüber hinaus werden die Beiträge des LULUCF-Sektors und Reduktionen aus Nicht-CO_2-Emissionsquellen (grüne und graue Balken) dargestellt. {3.3, 3.4}

C.4 Die Senkung von Treibhausgasemissionen im gesamten Energiesektor erfordert wesentlichen Wandel, einschließlich einer erheblichen Senkung des Gesamtverbrauchs an fossilen Brennstoffen, des Einsatzes emissionsarmer Energiequellen, des Umstiegs auf alternative Energieträger sowie Energieeffizienz und der -einsparung. Die fortgesetzte Installation von Infrastruktur für fossile Brennstoffe ohne Vermeidungsmaßnahmen [54] wird zu einem Lock-In der Treibhausgasemissionen führen. (*hohes Vertrauen*) {2.7, 6.6, 6.7, 16.4}

C.4.1 Energiesysteme mit netto Null CO_2-Emissionen erfordern: eine erhebliche Verringerung des Gesamtverbrauchs an fossilen Brennstoffen, eine minimale Nutzung fossiler Brennstoffe ohne Vermeidungsmaßnahmen sowie den Einsatz von CCS in den verbleibenden fossil betriebenen Systemen[54]; Elektrizitätssysteme, die netto kein CO_2 ausstoßen; eine weitreichende Elektrifizierung des Energiesystems einschließlich der Endnutzung; Energieträger wie nachhaltige Biokraftstoffe, emissionsarmer Wasserstoff und seine Derivate in Anwendungen, die sich weniger gut elektrifizieren lassen; Energieeinsparung und -effizienz sowie eine stärkere physische, institutionelle und operationelle Integration über das Energiesystem hinweg. CDR wird erforderlich sein, um Restemissionen im Energiesektor auszugleichen. Welche Strategien am besten geeignet sind, hängt von den nationalen und regionalen Gegebenheiten ab, einschließlich der förderlichen Rahmenbedingungen und der Technologieverfügbarkeit. (*hohes Vertrauen*) {3.4, 6.6, 11.3, 16.4}

C.4.2 Gesunkene Einheitskosten von Schlüsseltechnologien, insbesondere Windkraft, Solarenergie und Energiespeicherung, haben die wirtschaftliche Attraktivität einer Wende zu einem emissionsarmen Energiesektor bis einschließlich 2030 erhöht. Die Beibehaltung emissionsintensiver Systeme könnte in einigen Regionen und Sektoren teurer sein als der Übergang zu emissionsarmen Systemen. Eine Wende zu einem emissionsarmen Energiesektor wird zahlreiche positive Nebeneffekte haben, darunter Verbesserungen der Luftqualität und der Gesundheit. Die langfristige wirtschaftliche Attraktivität des Einsatzes von Emissionsminderungsoptionen in Energiesystemen hängt unter anderem von der Gestaltung und Umsetzung politischer Strategien, der Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit von Technologien, der institutionellen Kapazität, Gleichstellung, dem Zugang zu Finanzmitteln sowie der öffentlichen und politischen Unterstützung ab. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.3) {3.4, 6.4, 6.6, 6.7, 13.7}

C.4.3 Elektrizitätssysteme, die überwiegend aus erneuerbaren Energien gespeist werden, werden zunehmend rentabel. In einigen Ländern und Regionen werden die Elektrizitätssysteme bereits überwiegend mit erneuerbaren Energien betrieben. Eine größere Herausforderung wird es sein, das gesamte Energiesystem mit erneuerbaren Energien zu versorgen. Auch wenn weiterhin operationelle, technologische, wirtschaftliche, regulatorische und soziale Herausforderungen bestehen, haben sich inzwischen eine Vielzahl von Systemlösungen herauskristallisiert, die einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien im Energiesystem ermöglichen. Eine breite Palette von Optionen wie die Integration von Systemen, Sektorkopplung, Energiespeicherung, intelligente Netze, Nachfragemanagement, nachhaltige Biokraftstoffe, elektrolytischer Wasserstoff und seine Derivate sowie weitere werden letztendlich erforderlich sein, um große Anteile erneuerbarer Energien in Energiesystemen zu ermöglichen. (*hohes Vertrauen*) {Box 6.8, 6.4, 6.6}

C.4.4 Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2 °C oder weniger wird eine beträchtliche Menge an fossilen Brennstoffen unverbrannt lassen und könnte erhebliche Teile der Infrastruktur für fossile Brennstoffe zu verlorenen Vermögenswerte werden lassen *(hohes Vertrauen)*. Abhängig von seiner Verfügbarkeit könnte CCS eine längere Nutzung fossiler Brennstoffe ermöglichen und so das Ausmaß verlorener Vermögenswerte verringern (*hohes Vertrauen*). Wird die globale Erwärmung auf etwa 2 °C begrenzt, beträgt der kombinierte globale diskontierte Wert der nicht verbrannten fossilen Brennstoffe und abgewerteter (*stranded*) fossiler Brennstoffinfrastruktur laut Projektionen für den Zeitraum 2015 bis 2050 etwa 1–4 Billionen Dollar; dieser Betrag wird höher ausfallen, wenn die globale Erwärmung auf etwa 1,5 °C begrenzt wird *(mittleres Vertrauen)*. In diesem Zusammenhang wird

[54] In diesem Zusammenhang bezieht sich der Begriff „fossile Brennstoffe ohne Vermeidungsmaßnahmen" auf fossile Brennstoffe, die ohne Eingriffe hergestellt und verwendet werden, welche die Menge der während des gesamten Lebenszyklus emittierten Treibhausgase erheblich senken, zum Beispiel die Abscheidung von mindestens 90 % des CO_2 aus Kraftwerken oder 50–80 % der flüchtigen Methanemissionen aus der Energieversorgung. {Box 6.5, 11.3}

davon ausgegangen, dass für Investitionen in Kohle das Risiko besteht, vor 2030 zu verlorenen Vermögenswerden zu werden, während für Investitionen in Öl und Gas dieses Risiko eher gegen Mitte des Jahrhunderts besteht. Eine Wende zu einem emissionsarmen Energiesektor wird laut Projektionen den internationalen Handel mit fossilen Brennstoffen zurückgehen lassen. (*hohes Vertrauen*) {6.7, Abbildung 6.35}

C.4.5 Die globalen Methanemissionen aus der Energieversorgung, in erster Linie flüchtige Emissionen aus der Produktion und dem Transport fossiler Brennstoffe, machten im Jahr 2019 etwa 18 % [13 %–23 %] der globalen Treibhausgasemissionen aus der Energieversorgung, 32 % [22 %–42 %] der globalen Methanemissionen und 6 % [4 %–8 %] der globalen Treibhausgasemissionen aus (*hohes Vertrauen*). Etwa 50–80 % dieser CH_4-Emissionen aus fossilen Brennstoffen könnten mit derzeit verfügbaren Technologien für weniger als 50 USD pro t CO_2Äq vermieden werden (*mittleres Vertrauen*). {6.3, 6.4.2, Box 6.5, 11.3, 2.2.2, Tabelle 2.1, Abbildung 2.5, Annex1: Glossar}

C.4.6 CCS ist eine Option, um Emissionen aus großmaßstäblichen fossilen Energie- und Industriequellen zu verringern, sofern die Möglichkeit zur geologischen Speicherung besteht. Wenn CO_2 direkt aus der Atmosphäre entnommen (DACCS) oder bei der Nutzung von Biomasse abgeschieden (BECCS) wird, stellt CCS die Speicherkomponente dieser CDR-Methoden dar. Die CO_2-Abscheidung und -Einspeisung in den Untergrund ist eine ausgereifte Technologie für die Gasverarbeitung und die verstärkte Ölgewinnung. Im Gegensatz zum Öl- und Gassektor ist CCS im Energiesektor sowie in der Zement- und Chemieproduktion weniger ausgereift, wo es eine wichtige Option zur Minderung des Klimawandels darstellt. Die technische geologische CO_2-Speicherkapazität wird mit etwa 1000 Gt CO_2 beziffert, was mehr ist, als an CO_2-Speicherung bis zum Jahr 2100 benötigt wird, um die globale Erwärmung auf 1,5 °C zu begrenzen; die regionale Verfügbarkeit von geologischen Speicherstätten könnte jedoch ein begrenzender Faktor sein. Falls die geologische Speicherstätte angemessen ausgewählt und betrieben wird, geht man davon aus, dass das CO_2 dauerhaft von der Atmosphäre isoliert werden kann. Die Umsetzung von CCS ist derzeit mit technologischen, wirtschaftlichen, institutionellen, ökologischen und soziokulturellen Hürden konfrontiert. Derzeit liegen die weltweiten CCS-Einführungsraten weit unter denjenigen in modellierten Pfaden, die die globale Erwärmung auf 1,5 °C oder 2 °C begrenzen. Durch förderliche Bedingungen wie politische Instrumente, größere öffentliche Unterstützung und technologische Innovation könnten diese Hürden abgebaut werden. (*hohes Vertrauen*) {2.5, 6.3, 6.4, 6.7, 11.3, 11.4, Cross-Chapter Box 8 in Kapitel 12, Abbildung TS.31; SRCCL Kapitel 5}

C.5 Netto Null CO_2-Emissionen aus dem Industriesektor sind eine Herausforderung, aber möglich. Die Senkung der Industrieemissionen wird koordinierte Maßnahmen entlang der gesamten Wertschöpfungskette erfordern, um alle Minderungsoptionen zu fördern, einschließlich Nachfragemanagement, Energie- und Materialeffizienz, Materialkreisläufe sowie Technologien zur Emissionsvermeidung und grundlegende Veränderungen der Produktionsprozesse. Fortschritte auf dem Weg zu netto Null Treibhausgasemissionen aus der Industrie werden durch die Einführung neuer Produktionsprozesse ermöglicht werden, bei denen treibhausgasarme oder -freie Elektrizität, Wasserstoff und Kraftstoffe sowie Kohlenstoffmanagement zum Einsatz kommen. (*hohes Vertrauen*) {11.2, 11.3, 11.4, Box TS.4}

C.5.1 Die Verwendung von Stahl, Zement, Kunststoffen und anderen Materialien nimmt weltweit gesehen und auch in den meisten Regionen zu. Es gibt viele nachhaltige Optionen für Nachfragemanagement, Materialeffizienz und Materialkreisläufe, die zu einer Verringerung der Emissionen beitragen können, aber die Art und Weise, wie diese angewandt werden können, ist von Region zu Region und von Material zu Material unterschiedlich. Diese Optionen haben das Potenzial, in der industriellen Praxis stärker genutzt zu werden und bräuchten mehr Aufmerksamkeit von der Industriepolitik. Diese Optionen sowie neue Produktionstechnologien werden aufgrund ihrer relativen Neuheit im Allgemeinen weder in den jüngsten globalen Szenarien noch in nationalen wirtschaftsweiten Szenarien berücksichtigt. Infolgedessen wird das Minderungspotenzial in einigen Szenarien im Vergleich zu branchenspezifischen Bottom-up-Modellen unterschätzt. (*hohes Vertrauen*) {3.4, 5.3, Abbildung 5.7, 11.2, Box 11.2, 11.3, 11.4, 11.5.2, 11.6}

C.5.2 Für fast alle Grundmaterialien – Primärmetalle[55], Baumaterialien und Chemikalien – befinden sich viele Produktionsprozesse mit geringer bis gar keiner Treibhausgasintensität in der *Pilotphase* oder *nahezu kommerziellen* Phase und in einigen Fällen in der *kommerziellen* Phase, sind aber noch nicht etablierte industrielle Praxis. Die Einführung neuer nachhaltiger Herstellungsverfahren für Grundmaterialien könnte die Produktionskosten erhöhen, dürfte aber angesichts des geringen Anteils der Materialkosten an den Kosten für den Verbraucher nur zu minimalen Kostensteigerungen für die Endverbraucher führen. Die Direktreduktion von Wasserstoff für die Primärstahlerzeugung ist in einigen Regionen *nahezu kommerziell*. Bis zur Beherrschung neuer chemischer Verfahren wird eine tiefgreifende Emissionsreduktion bei der Zementherstellung von der Substitution zementhaltiger Materialien durch bereits kommerzialisierte Ersatzprodukte und von der Verfügbarkeit von CCS abhängen. Emissionsreduktionen bei der Herstellung und Verwendung von Chemikalien müssten sich auf einen Lebenszyklusansatz stützen, wozu ein verstärktes Kunststoffrecycling, die Umstellung auf andere Brennstoffe und Rohmaterialien sowie die Gewinnung von Kohlenstoff aus biogenen Quellen gehört, sowie, je nach Verfügbarkeit, auf Kohlendioxidabscheidung und -nutzung (*Carbon Capture and Use*, CCU), direkte Abscheidung von Kohlendioxid aus der Luft sowie CCS. Die Leichtindustrie, der Bergbau und das verarbeitende Gewerbe haben das Potenzial, durch verfügbare Minderungstechnologien (zum Beispiel Materialeffizienz, Kreislaufwirtschaft), Elektrifizierung (zum Beispiel elektrothermische Heizung, Wärmepumpen) sowie Treibstoffe mit geringen oder gar keinen Treibhausgasemissionen (zum Beispiel Wasserstoff, Ammoniak, biobasierte und andere synthetische Kraftstoffe) dekarbonisiert zu werden. (*hohes Vertrauen*) {Tabelle 11.4, Box 11.2, 11.3, 11.4}

C.5.3 Maßnahmen zur Verringerung der Emissionen aus dem Industriesektor können die Verortung von treibhausgasintensiven Industrien und den Aufbau von Wertschöpfungsketten verändern. Regionen mit reichlich treibhausgasarmer Energie und Rohstoffen haben das Potenzial, Exporteure von wasserstoffbasierten Chemikalien und Materialien zu werden, die mit CO_2-armer Elektrizität und Wasserstoff hergestellt werden. Eine solche Umverteilung wird weltweite Verteilungseffekte auf die Beschäftigung und die Wirtschaftsstruktur haben. (*mittleres Vertrauen*) {Box 11.1}

C.5.4 Emissionsintensive Industriezweige, die stark gehandelte Grundmaterialen herstellen, sind dem internationalen Wettbewerb ausgesetzt, und internationale Zusammenarbeit und Koordinierung kann [hier] bei der Ermöglichung von Wandel besonders wichtig sein. Für eine nachhaltige Industriewende sind breit angelegte und aufeinander aufbauende nationale und subnationale politische Strategien erforderlich, die die regionalen Gegebenheiten widerspiegeln. Diese können Maßnahmenpakete kombinieren, darunter: transparente Treibhausgasbilanzierung und -standards, Nachfragemanagement, Material- und Energieeffizienzstrategien, F&E und Nischenmärkte für die Kommerzialisierung emissionsarmer Materialien und Produkte, wirtschaftliche und regulatorische Instrumente zur Förderung der Marktakzeptanz, hochwertiges Recycling, Infrastrukturen für emissionsarme Energien und andere Emissionsvermeidungsoptionen (zum Beispiel für CCS) sowie sozial inklusive Pläne für den Ausstieg aus emissionsintensiven Anlagen im Rahmen von gerechtem Wandel. Der Geltungsbereich von Minderungsstrategien könnte auf nationaler und subnationaler Ebene erweitert werden, um alle industriellen Emissionsquellen und sowohl verfügbare als auch neu entstehende Optionen zur Minderung des Klimawandels einzubeziehen. (*hohes Vertrauen*) {11.6}

[55] Als Primärmetalle werden neue, aus Erzen gewonnene Metalle bezeichnet.

C.6 Städtische Gebiete können Gelegenheiten zur Steigerung der Ressourceneffizienz und zur signifikanten Senkung der Treibhausgasemissionen schaffen, indem Infrastruktur und städtische Form systemisch über emissionsarme Entwicklungspfade auf netto Null Emissionen umgestellt werden. Ehrgeizige Bemühungen zur Minderung des Klimawandels für bestehende, schnell wachsende sowie in Entstehung befindliche Städte umfassen 1) die Senkung oder Änderung des Energie- und Materialverbrauchs, 2) Elektrifizierung sowie 3) die Verbesserung der Kohlenstoffaufnahme und -speicherung im städtischen Umfeld. Städte können netto Null Emissionen verwirklichen, aber nur, wenn die Emissionen innerhalb und außerhalb ihrer Verwaltungsgrenzen durch Lieferketten gesenkt werden, was positive Kaskadeneffekte in anderen Sektoren haben wird. (*sehr hohes Vertrauen*) {8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, Abbildung 8.21, 13.2}

C.6.1 In den modellierten Szenarien wird ein Anstieg der globalen verbrauchsbasierten CO_2- und CH_4-Emissionen[15] aus Städten von 29 Gt CO_2Äq im Jahr 2020 auf 34 Gt CO_2Äq im Jahr 2050 bei moderaten Minderungsbemühungen (mittlere Treibhausgasemissionen, SSP2-4.5) und auf bis zu 40 Gt CO_2Äq im Jahr 2050 bei geringen Minderungsbemühungen (hohe Treibhausgasemissionen, SSP3-7.0) projiziert. Mit ehrgeizigen und sofortigen Minderungsbemühungen, einschließlich eines hohen Maßes an Elektrifizierung und verbesserter Energie- und Materialeffizienz, könnten die globalen verbrauchsbasierten CO_2- und CH_4-Emissionen aus Städten im modellierten Szenario mit sehr niedrigen Treibhausgasemissionen (SSP1-1.9) auf 3 Gt CO_2Äq im Jahr 2050 reduziert werden.[56] (*mittleres Vertrauen*) {8.3}

C.6.2 Das Potenzial und die Reihenfolge von Minderungsstrategien zur Senkung der Treibhausgasemissionen hängen von der Flächennutzung, der räumlichen Form, dem Entwicklungsstand und dem Urbanisierungsgrad einer Stadt ab (*hohes Vertrauen*). Zu den Strategien, mit denen etablierte Städte große Einsparungen bei den Treibhausgasemissionen erzielen können, gehören die effiziente Verbesserung, Umnutzung oder Nachrüstung des Gebäudebestands, die gezielte Nachverdichtung sowie die Förderung des nicht motorisierten (zum Beispiel zu Fuß gehen, Fahrrad fahren) und des öffentlichen Verkehrs. Schnell wachsende Städte können künftige Emissionen vermeiden, indem sie Arbeitsplätze und Wohnbauten nahe beieinander anlegen, um eine kompakte Stadtform zu erzielen, und indem sie auf emissionsarme Technologien umsteigen oder Entwicklungsstufen auf dem Weg dahin überspringen (*leapfrogging*). Neue und neu entstehende Städte werden einen erheblichen Infrastrukturentwicklungsbedarf haben, um eine hohe Lebensqualität zu erreichen, der durch energieeffiziente Infrastrukturen und Dienstleistungen sowie eine auf den Menschen ausgerichtete Stadtgestaltung erreicht werden kann (*hohes Vertrauen).* Für Städte haben sich drei umfassende Minderungsstrategien als wirksam erwiesen, wenn sie gleichzeitig umgesetzt werden: (i) Verringerung oder Umstellung des Energie- und Materialverbrauchs auf eine nachhaltigere Produktion und einen nachhaltigeren Konsum;(ii) Elektrifizierung in Kombination mit der Umstellung auf emissionsarme Energiequellen; und (iii) Verbesserung der Kohlenstoffaufnahme und -speicherung in der städtischen Umwelt, zum Beispiel durch biobasierte Baumaterialien, durchlässige Oberflächen, Gründächer, Bäume, Grünflächen, Flüsse, Teiche und Seen[57]. (*sehr hohes Vertrauen*) {5.3, Abbildung 5.7, Supplementary Material Tabelle 5.SM5.2, 8.2, 8.4, 8.6, Abbildung 8.21, 9.4, 9.6, 10.2}

C.6.3 Die Umsetzung von Paketen aus mehreren Minderungsstrategien auf Stadtebene kann sektorübergreifende Kaskadeneffekte haben und die Treibhausgasemissionen sowohl innerhalb als auch außerhalb der Verwaltungsgrenzen einer Stadt reduzieren. Die Fähigkeit von Städten, Minderungsstrategien zu entwickeln und umzusetzen, hängt von den breiteren regulatorischen und institutionellen Rahmenbedingungen sowie von förderlichen Rahmenbedingungen ab, einschließlich des Zugangs zu finanziellen und technologischen Ressourcen, der lokalen Regierungsführungskapazität, des Engagements der Zivilgesellschaft sowie der kommunalen Haushaltsbefugnisse. (*sehr hohes Vertrauen*). {Abbildung 5.7, Supplementary Material Tabelle 5.SM5.2, 8.4, 8.5, 8.6, 13.2, 13.3, 13.5, 13.7, Cross-Chapter Box 9 in Kapitel 13}

---

[56] Diese Szenarien entsprechen laut WGI mittleren, hohen und sehr niedrigen Treibhausgasemissionen.

[57] Diese Beispiele werden als eine Untergruppe von naturbasierten Lösungen oder ökosystembasierten Ansätzen betrachtet.

C.6.4 Eine wachsende Zahl von Städten setzt sich Klimaziele, darunter auch Netto-Null-Treibhausgasziele. Angesichts der regionalen und globalen Wirkungskreise von städtischen Verbrauchsmustern und Lieferketten kann das volle Potenzial zur Verringerung der verbrauchsbasierten städtischen Emissionen auf netto Null Treibhausgase nur dann ausgeschöpft werden, wenn auch die Emissionen jenseits der Verwaltungsgrenzen der Städte berücksichtigt werden. Die Wirksamkeit dieser Strategien hängt von der Zusammenarbeit und Koordinierung mit nationalen und subnationalen Regierungen, der Industrie und der Zivilgesellschaft ab sowie davon, ob die Städte über angemessene Kapazitäten zur Planung und Umsetzung von Minderungsstrategien verfügen. Städte können eine positive Rolle bei Emissionsreduktion in Lieferketten spielen, die über die Verwaltungsgrenzen der Städte hinausgehen, zum Beispiel durch Bauvorschriften und die Wahl von Baumaterialien. (*sehr hohes Vertrauen*) {8.4, Box 8.4, 8.5, 9.6, 9.9, 13.5, 13.9}

C.7 In den modellierten globalen Szenarien nähern sich bestehende Gebäude, wenn sie nachgerüstet werden, und noch zu bauende Gebäude im Jahr 2050 laut Projektionen netto Null Treibhausgasemissionen, falls politische Maßnahmenpakete, die ehrgeizige Suffizienz-, Effizienz- und Erneuerbare-Energien-Maßnahmen kombinieren, wirksam umgesetzt und Dekarbonisierungshürden beseitigt werden. Wenig ehrgeizige politische Maßnahmen erhöhen das Risiko, dass Gebäude für Jahrzehnte in kohlenstoffbasiertem Modus feststecken, während gut konzipierte und wirksam umgesetzte Minderungsmaßnahmen sowohl bei Neubauten als auch im nachgerüsteten Gebäudebestand ein erhebliches Potenzial haben, zur Erreichung der UN-Nachhaltigkeitsziele (*Sustainable Development Goals*, SDG) in allen Regionen beizutragen und gleichzeitig Gebäude an das künftige Klima anzupassen. (*hohes Vertrauen*) {9.1, 9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.9}

C.7.1 Im Jahr 2019 betrugen die weltweiten direkten und indirekten Treibhausgasemissionen von Gebäuden und die Emissionen aus der Verwendung von Zement und Stahl für den Bau und die Renovierung von Gebäuden 12 Gt CO_2Äq. Diese Emissionen umfassen indirekte Emissionen aus der externen Strom- und Wärmeerzeugung, direkte Emissionen vor Ort sowie Emissionen aus Zement und Stahl, die für den Bau und die Renovierung von Gebäuden verwendet werden. Bis zum Jahr 2019 stiegen die weltweiten direkten und indirekten Emissionen aus Nichtwohngebäuden um etwa 55 % und die aus Wohngebäuden um etwa 50 % gegenüber 1990. Der letztgenannte Anstieg ist laut Komponentenzerlegung vor allem auf die Zunahme der Wohnfläche pro Kopf, das Bevölkerungswachstum und die verstärkte Nutzung von emissionsintensivem Strom und emissionsintensiver Wärme zurückzuführen, wobei Effizienzsteigerungen die Emissionen teilweise verringert haben. Diese Faktoren leisten stark unterschiedliche Beiträge zu den regionalen Emissionen. (*hohes Vertrauen*) {9.3}

C.7.2 Ansätze mit integriertem Design für den Bau und die Nachrüstung von Gebäuden haben dazu geführt, dass es in diversen Regionen immer mehr Beispiele für Null-Energie- oder Null-Kohlenstoff-Gebäude gibt. Allerdings haben niedrige Renovierungsraten und eine niedrige Zielsetzung bei nachgerüsteten Gebäuden den Rückgang der Emissionen behindert. Ansatzpunkte für Minderungsmaßnahmen in der Planungsphase sind unter anderem Gebäudetypologie, -form und -multifunktionalität, wodurch die Größe von Gebäuden an die sich verändernden Bedürfnisse ihrer Nutzer angepasst und ungenutzte bestehende Gebäude umgenutzt werden können, um den Einsatz von treibhausgasintensiven Materialien und zusätzlichen Flächen zu vermeiden. Zu den Minderungsmaßnahmen gehören: während der Bauphase emissionsarme Baumaterialien, hocheffiziente Gebäudehüllen und die Integration von Lösungen mit erneuerbaren Energien[58]; in der Nutzungsphase hocheffiziente Geräte/Ausrüstung, die Optimierung der Gebäudenutzung und ihre Versorgung mit emissionsarmen Energiequellen; sowie in der Entsorgungsphase Recycling und Wiederverwendung von Baumaterialien. (*hohes Vertrauen*) {9.4, 9.5, 9.6, 9.7}

[58] „Integration von Lösungen mit erneuerbaren Energien" bezieht sich auf die Integration von Lösungen wie solarer Photovoltaik, kleinen Windturbinen, solarthermischen Kollektoren und Biomassekesseln.

C.7.3 Bottom-up-Studien zeigen, dass bis 2050 bis zu 61 % (8,2 Gt CO_2) der weltweiten Emissionen aus Gebäuden reduziert werden könnten. Suffizienzstrategien[59], die eine Nachfrage nach Energie und Materialien vermeiden, tragen 10 % zu diesem Potenzial bei, Energieeffizienzstrategien 42 % und Strategien für erneuerbare Energien 9 %. Der größte Teil des Minderungspotenzials bei neuen Gebäuden ist in Entwicklungsländern vorhanden, während in Industrieländern das höchste Minderungspotenzial in der Nachrüstung bestehender Gebäude liegt. Das Jahrzehnt 2020–2030 ist entscheidend für die Beschleunigung des Wissenserwerbs, den Aufbau der technischen und institutionellen Kapazitäten, die Schaffung geeigneter Governance-Strukturen, die Sicherstellung von Finanzflüssen sowie die Entwicklung der Fähigkeiten, die erforderlich sind, um das Minderungspotenzial von Gebäuden voll auszuschöpfen. (*hohes Vertrauen*) {9.3, 9.4, 9.5, 9.6, 9.7, 9.9}

C.8 Nachfrageseitige Optionen und Technologien mit geringen Treibhausgasemissionen können die Emissionen aus dem Verkehrssektor in Industrieländern senken und Emissionszunahmen in Entwicklungsländern begrenzen (*hohes Vertrauen*). Nachfrageorientierte Maßnahmen können die Nachfrage nach allen Verkehrsdienstleistungen senken und den Wechsel zu energieeffizienteren Verkehrsträgern unterstützen (*mittleres Vertrauen*). Elektrofahrzeuge, die mit emissionsarmer Elektrizität angetrieben werden, bieten über den Lebenszyklus betrachtet das größte Dekarbonisierungspotenzial für den Verkehr an Land (*hohes Vertrauen*). Nachhaltige Biokraftstoffe können in der nahen und mittleren Zukunft zusätzliche Minderungsvorteile im Verkehr an Land bieten (*mittleres Vertrauen*). Nachhaltige Biokraftstoffe, emissionsarm erzeugter Wasserstoff und Derivate (einschließlich synthetischer Kraftstoffe) können dazu beitragen, die CO_2-Emissionen aus dem Schiffs- und Luftverkehr sowie dem Schwerlastverkehr an Land zu mindern, erfordern jedoch Verbesserungen der Produktionsprozesse und Kostensenkungen (*mittleres Vertrauen*). Viele Minderungsstrategien im Verkehrssektor hätten verschiedene positive Nebeneffekte, darunter Verbesserungen der Luftqualität, gesundheitliche Vorteile, gerechten Zugang zu Verkehrsdienstleistungen, weniger Staus sowie einen geringeren Materialbedarf (*hohes Vertrauen*). {10.2, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7}

C.8.1 In Szenarien, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf 1,5 °C (>50 %) begrenzen, sinken die globalen verkehrsbedingten CO_2-Emissionen bis 2050 im Vergleich zu den modellierten Emissionen von 2020 um 59 % [42–68 % Interquartilsbereich], wobei jedoch regional unterschiedliche Trends bestehen (*hohes Vertrauen*). In modellierten globalen Szenarien, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen (>67 %), gehen die verkehrsbedingten CO_2-Emissionen laut Projektionen bis 2050 im Vergleich zu den modellierten Emissionen von 2020 um 29 % [14–44 % Interquartilsbereich] zurück. In beiden Szenariokategorien erreicht der Verkehrssektor bis 2100 wahrscheinlich nicht Null CO_2-Emissionen, so dass wahrscheinlich negative Emissionen erforderlich sind, um die restlichen CO_2-Emissionen aus dem Sektor auszugleichen *(hohes Vertrauen)*. {3.4, 10.7}

C.8.2 Veränderungen in der städtischen Form (zum Beispiel bezüglich der Dichte, dem Landnutzungsmix, der Anbindung und der Erreichbarkeit) könnten in Kombination mit Programmen, die ein verändertes Verbraucherverhalten fördern (zum Beispiel Verkehrspreise), die verkehrsbedingten Treibhausgasemissionen in Industrieländern verringern und den Anstieg der Emissionen in Entwicklungsländern verlangsamen (*hohes Vertrauen*). Investitionen in den öffentlichen Verkehr zwischen und innerhalb von Städten und in aktive Verkehrsinfrastrukturen (zum Beispiel Fahrrad- und Fußgängerwege) können die Verlagerung auf weniger treibhausgasintensive Verkehrsträger weiter unterstützen (*hohes Vertrauen*). Kombinationen von systemischen Veränderungen, darunter Telearbeit, Digitalisierung, Dematerialisierung, Lieferkettenmanagement sowie intelligente und Geteilte Mobilität kann die Nachfrage nach Personen- und Frachtdiensten an Land, in der Luft und zur See verringern (*hohes Vertrauen*). Einige dieser Veränderungen könnten zu einer induzierten Nachfrage nach Verkehrs- und Energiedienstleistungen führen, was deren Potenzial für Treibhausgasemissionsreduktionen verringern könnte (*mittleres Vertrauen*). {5.3, 10.2, 10.8}

[59] Suffizienzstrategien sind eine Reihe von Maßnahmen und alltäglichen Praktiken, die eine Nachfrage nach Energie, Materialien, Land und Wasser vermeiden und gleichzeitig menschliches Wohlergehen für alle innerhalb der planetarischen Grenzen ermöglichen.

C.8.3 Elektrofahrzeuge, die mit Strom aus treibhausgasarmen Quellen betrieben werden, haben über den gesamten Lebenszyklus hinweg betrachtet ein großes Potenzial, die Treibhausgasemissionen des Landverkehrs zu reduzieren (*hohes Vertrauen*). Die Kosten für E-Fahrzeuge, einschließlich Autos, zwei- und dreirädriger Fahrzeuge und Busse, sinken und ihre Einführung beschleunigt sich, aber sie erfordern kontinuierliche Investitionen in die unterstützende Infrastruktur, um das Ausmaß ihres Einsatzes zu erhöhen (*hohes Vertrauen*). Fortschritte in der Batterietechnologie könnten die Elektrifizierung von schweren Lastkraftwagen erleichtern und konventionelle elektrische Bahnsysteme ergänzen (*mittleres Vertrauen*). Es gibt wachsende Bedenken hinsichtlich kritischer Mineralien, die für Batterien benötigt werden. Strategien zur Material- und Lieferdiversifizierung, Verbesserungen der Energie- und Materialeffizienz sowie Materialkreisläufe können den ökologischen Fußabdruck und die Risiken der Materialversorgung für die Batterieproduktion verringern (*mittleres Vertrauen*). Nachhaltige Beschaffung und die Verwendung von treibhausgasarmen Rohstoffen vorausgesetzt, können biobasierte Brennstoffe – mit fossilen Brennstoffen gemischt oder pur – vor allem in der nahen und mittleren Zukunft Minderungsvorteile erbringen (*mittleres Vertrauen*). Wasserstoff und Wasserstoffderivate mit niedrigen Treibhausgasemissionen, einschließlich synthetischer Kraftstoffe, können in einigen Kontexten und landgestützten Verkehrssegmenten ein Minderungspotenzial bieten (*mittleres Vertrauen*). {3.4, 6.3, 10.3, 10.4, 10.7, 10.8, Box 10.6}

C.8.4 Während Effizienzverbesserungen (zum Beispiel optimiertes Flugzeug- und Schiffsdesign, Gewichtsreduktion und Verbesserungen der Antriebssysteme) ein gewisses Minderungspotenzial bieten können, werden zusätzliche CO_2-Minderungstechnologien für die Luft- und Schifffahrt benötigt werden (*hohes Vertrauen*). In der Luftfahrt gehören Biokraftstoffe mit hoher Energiedichte (*hohes Vertrauen*) sowie emissionsarmer Wasserstoff und emissionsarme synthetische Kraftstoffe (*mittleres Vertrauen*) zu solchen Technologien. Alternative Kraftstoffe für die Schifffahrt umfassen emissionsarmen Wasserstoff, Ammoniak, Biokraftstoffe und andere synthetische Kraftstoffe (*mittleres Vertrauen*). Elektrifizierung könnte in der Luft- und Schifffahrt für Kurzstrecken eine Nischenrolle spielen (*mittleres Vertrauen*) und kann die Emissionen aus dem Hafen- und Flughafenbetrieb reduzieren (*hohes Vertrauen*). Verbesserungen von nationalen und internationalen Governance-Strukturen würden die Dekarbonisierung der Schiff- und Luftfahrt weiter fördern (*mittleres Vertrauen*). Solche Verbesserungen könnten zum Beispiel die Umsetzung strengerer Effizienz- und Kohlenstoffintensitätsstandards für die Sektoren umfassen (*mittleres Vertrauen*). {10.3. 10.5, 10.6, 10.7, 10.8, Box 10.5}

C.8.5 Das erhebliche Potenzial für sowohl direkte als auch indirekte Treibhausgasreduktionen im Verkehrssektor hängt weitgehend von der Dekarbonisierung des Energiesektors sowie von emissionsarmen Rohstoffen und Produktionsketten ab *(hohes Vertrauen)*. Integrierte Verkehrs- und Energieinfrastrukturplanung und -betrieb können sektorale Synergien ermöglichen und die ökologischen, sozialen und wirtschaftlichen Folgen der Dekarbonisierung des Verkehrs- und Energiesektors verringern *(hohes Vertrauen)*. Technologietransfer und Finanzierung können Entwicklungsländer beim Übergang zu emissionsarmen Verkehrssystemen oder beim Überspringen von Entwicklungsstufen auf dem Weg dahin (*leapfrogging*) unterstützen und so viele Zusatznutzen bieten (*hohes Vertrauen*). {10.2, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.7, 10.8}

C.9 AFOLU-Optionen zur Minderung des Klimawandels können, wenn sie nachhaltig umgesetzt werden, in großem Umfang Treibhausgasemissionen senken und Entnahmen erhöhen, können aber verspätete Maßnahmen in anderen Sektoren nicht vollständig ausgleichen. Darüber hinaus können nachhaltig erzeugte land- und forstwirtschaftliche Produkte anstelle von treibhausgasintensiveren Produkten in anderen Sektoren verwendet werden. Hürden für die Umsetzung und Zielkonflikte können sich aus den Folgen des Klimawandels, konkurrierenden Bedarfen nach Land, Konflikten mit der Ernährungssicherheit und Existenzgrundlagen, der Komplexität von Landbesitz- und Bewirtschaftungssystemen sowie aus kulturellen Aspekten ergeben. Es gibt viele länderspezifische Möglichkeiten zur Erzielung von positiven Nebeneffekten (zum Beispiel Erhaltung der biologischen Vielfalt, Ökosystemleistungen sowie Existenzgrundlagen) und zur Vermeidung von Risiken (zum Beispiel durch Anpassung an den Klimawandel) (*hohes Vertrauen*) {7.4, 7.6, 7.7, 12.5, 12.6}

C.9.1 Das projizierte wirtschaftliche Potenzial von AFOLU-Optionen zur Minderung des Klimawandels zwischen 2020 und 2050 beträgt 8–14 Gt CO_2Äq pro Jahr[60] bei Kosten von unter 100 USD pro t CO_2Äq (*hohes Vertrauen*). 30–50 % dieses Potenzials sind zu Kosten von weniger als 20 USD pro t CO_2Äq verfügbar und könnten in den meisten Regionen in naher Zukunft hochskaliert werden (*hohes Vertrauen*). Der größte Teil dieses wirtschaftlichen Potenzials [4,2–7,4 Gt CO_2-Äq pro Jahr] stammt aus dem Schutz, einer verbesserten Bewirtschaftung und der Wiederherstellung von Wäldern und anderen Ökosystemen (Küstenfeuchtgebiete, Torfmoore, Savannen und Grasland), wobei eine Verringerung der Entwaldung in tropischen Regionen den größten Effekt bringt. Ein verbessertes und nachhaltiges Management von Ackerbau und Viehzucht sowie die Kohlenstoffbindung in der Landwirtschaft (zu der das Bodenkohlenstoffmanagement in Acker- und Grünlandflächen, Agroforstwirtschaft und Biokohle gehören), können eine Reduktion von 1,8–4,1 Gt CO_2Äq pro Jahr beitragen. Maßnahmen auf der Nachfrageseite und zur Substitution von Materialien, wie zum Beispiel die Umstellung auf eine ausgewogene, nachhaltige und gesunde Ernährung[61], die Verringerung von Lebensmittelverlusten und -verschwendung sowie die Verwendung von Biomaterialien, können eine Reduktion von 2,1 [1,1–3,6] Gt CO_2Äq pro Jahr beitragen. Darüber hinaus können nachfrageseitige Maßnahmen zusammen mit einer nachhaltigen Intensivierung der Landwirtschaft die Umwandlung von Ökosystemen sowie die CH_4- und N_2O-Emissionen verringern und Flächen für die Wiederaufforstung und Wiederherstellung sowie die Erzeugung erneuerbarer Energien freisetzen. Die verbesserte und erweiterte Nutzung von Holzprodukten aus nachhaltig bewirtschafteten Wäldern birgt durch die Verwendung von geerntetem Holz für langlebigere Produkte, ein verstärktes Recycling oder die Substitution von Materialien ebenfalls Potenzial. AFOLU-Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels können verzögerte Emissionsminderungen in anderen Sektoren nicht kompensieren. Anhaltende und regionalspezifische Hürden behindern weiterhin die wirtschaftliche und politische Machbarkeit der Umsetzung von AFOLU-Optionen zur Minderung des Klimawandels. Länder bei der Überwindung von Hürden zu unterstützen wird dazu beitragen, eine signifikante Minderung des Klimawandels zu erreichen (*mittleres Vertrauen*). (Abbildung SPM.6) {7.1, 7.4, 7.5, 7.6}

C.9.2 AFOLU-Optionen zur Kohlenstoffbindung und zur Reduktion von Treibhausgasemissionen bergen sowohl positive Nebeneffekte als auch Risiken in Bezug auf die biologische Vielfalt und den Schutz von Ökosystemen, die Ernährungs- und Wasserversorgungssicherheit, die Holzversorgung, Existenzgrundlagen sowie die Landbesitz- und Landnutzungsrechte indigener Völker, lokaler Gemeinschaften und Kleinbäuerinnen und -bauern. Viele Optionen sind mit positiven Nebeneffekten verbunden, aber diejenigen, die um Landflächen und landgebundene Ressourcen konkurrieren, können Risiken bergen. Das Ausmaß des Nutzens oder des Risikos hängt weitgehend von der Art der durchgeführten Aktivität, der Einsatzstrategie (zum Beispiel Umfang, Methode) und dem Kontext (zum Beispiel Boden, Biom, Klima, Nahrungsmittelsystem, Landbesitz) ab, die sich geografisch und im Lauf der Zeit unterscheiden. Risiken können vermieden werden, wenn AFOLU-Optionen zur Minderung des Klimawandels unter Berücksichtigung der Bedürfnisse und Perspektiven vieler Interessengruppen verfolgt werden, um Ergebnisse zu erzielen, die positive Nebeneffekte maximieren und gleichzeitig Zielkonflikte begrenzen. (*hohes Vertrauen)* {7.4, 7.6, 12.3}

C.9.3 Die Verwirklichung des AFOLU-Potenzials zur Minderung des Klimawandels erfordert die Überwindung institutioneller, wirtschaftlicher und politischer Einschränkungen und die Bewältigung potenzieller Zielkonflikte (*hohes Vertrauen*). Landnutzungsentscheidungen werden oft von einer Vielzahl einzelner Landbesitzerinnen und -besitzern getroffen; nachfrageseitige Maßnahmen hängen von Milliarden von Verbraucherinnen und Verbrauchern in unterschiedlichen Kontexten ab. Hürden für die Umsetzung von AFOLU-Maßnahmen zur Minderung des

[60] Die hier beschriebenen globalen Top-down-Abschätzungen und sektoralen Bottom-up-Abschätzungen berücksichtigen keine Substitution von Emissionen aus fossilen Brennstoffen und treibhausgasintensiven Materialien. 8–14 Gt CO_2Äq pro Jahr ist der Mittelwert der Schätzungen zum wirtschaftlichen Potenzial von AFOLU-Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels aus den Top-down-Schätzungen (untere Grenze der Bandbreite) und den globalen sektoralen Bottom-up-Abschätzungen (obere Grenze der Bandbreite). Die gesamte Bandbreite der Top-Down-Abschätzungen beträgt 4,1–17,3 Gt CO_2Äq pro Jahr unter Verwendung einer Referenz "ohne Maßnahmen". Die gesamte Bandbreite der globalen sektoralen Studien liegt bei 6,7–23,4 Gt CO_2Äq pro Jahr unter Verwendung einer Vielzahl von Referenzwerten. (*hohes Vertrauen*)

[61] "Nachhaltige gesunde Ernährung" fördert alle Dimensionen der Gesundheit und des Wohlergehens Einzelner, hat eine geringe Umweltbelastung und wenig Umweltfolgen, ist zugänglich, erschwinglich, sicher und gerecht sowie kulturell akzeptabel, wie von FAO und WHO beschrieben. Das verwandte Konzept einer „ausgewogenen Ernährung" bezieht sich auf eine Ernährung aus pflanzlichen Lebensmitteln, zum Beispiel aus Getreide, Hülsenfrüchten, Obst und Gemüse, Nüssen und Samen, sowie aus tierischen Lebensmitteln, die in resilienten, nachhaltigen und treibhausgasarmen Systemen erzeugt werden, wie im SRCCL beschrieben.

Klimawandels sind unter anderem unzureichende institutionelle und finanzielle Unterstützung, Unsicherheit bezüglich der langfristigen Zusätzlichkeit und bezüglich Zielkonflikten, schwache Governance, unsichere Landbesitzverhältnisse, niedrige Einkommen und fehlender Zugang zu alternativen Einkommensquellen sowie das Risiko einer Umkehrung. Ein begrenzter Zugang zu Technologie, Daten und Know-how stellt eine Umsetzungshürde dar. Forschung und Entwicklung sind für alle Maßnahmen von wesentlicher Bedeutung. So zeigen beispielsweise Maßnahmen zur Minderung der landwirtschaftlichen CH_4- und N_2O-Emissionen mit neuen Technologien vielversprechende Ergebnisse. Die Minderung der landwirtschaftlichen CH_4- und N_2O-Emissionen wird jedoch immer noch durch die Kosten, die Vielfalt und die Komplexität von Landwirtschaftssystemen sowie durch die zunehmende Nachfrage nach gesteigerten landwirtschaftlichen Erträgen und die steigende Nachfrage nach tierischen Erzeugnissen eingeschränkt. (*hohes Vertrauen*) {7.4, 7.6}

C.9.4 Die Nettokosten einer waldbasierten Kohlenstoffbindung und Emissionsreduktion in Höhe von 5–6 Gt CO_2 pro Jahr belaufen sich gemäß Bewertungen mit sektoralen Modellen bis 2050 auf etwa 400 Mrd. USD pro Jahr. Die Kosten anderer AFOLU-Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels sind ausgesprochen kontextspezifisch. Der Finanzierungsbedarf im Bereich AFOLU, insbesondere in der Forstwirtschaft, umfasst sowohl die direkten Auswirkungen jeglicher veränderter Aktivitäten als auch die Opportunitätskosten, die mit Landnutzungsänderungen verbunden sind. Verbesserte Überwachungs-, Berichterstattungs- und Überprüfungskapazitäten sowie die Rechtsstaatlichkeit sind für landbasierte Minderung von entscheidender Bedeutung. In Kombination mit politischen Maßnahmen, die auch Wechselwirkungen mit umfassenderen Ökosystemleistungen berücksichtigen, könnte das Engagement eines breiteren Spektrums von Akteuren einschließlich privater Unternehmen, Nichtregierungsorganisationen, indigener Völker und lokaler Gemeinschaften fördern. (*mittleres Vertrauen*) {7.6, 7.7}

C.9.5 Kontextspezifische Strategien und Maßnahmen haben die Wirksamkeit der Kohlenstoffbindungs- und der Treibhausgasemissionsreduktionsoptionen im AFOLU-Sektor wirksam demonstriert, aber die oben genannten Einschränkungen behindern eine Umsetzung im großen Maßstab (*mittleres Vertrauen*). Bei der Umsetzung landbasierter Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels können Erfahrungen mit Vorschriften, Strategien, wirtschaftlichen Anreizen, Zahlungen (zum Beispiel für Biokraftstoffe, Regulierung von Nährstoffbelastung, Wasservorschriften, Naturschutz und Waldkohlenstoff, Ökosystemleistungen und ländliche Existenzgrundlagen) sowie verschiedene Formen von Wissen wie indigenes Wissen, lokales Wissen und wissenschaftliche Erkenntnisse genutzt werden. Indigene Völker, private Waldbesitzerinnen und -besitzer, lokale Landwirtinnen und Landwirte sowie Gemeinschaften bewirtschaften einen erheblichen Teil der weltweiten Wälder und landwirtschaftlichen Flächen und spielen eine zentrale Rolle bei landbasierten Optionen zur Minderung des Klimawandelsn. Die Skalierung erfolgreicher Strategien und Maßnahmen hängt von einer politischen Steuerung und Koordination ab, die den Schwerpunkt auf eine integrierte Landnutzungsplanung und -verwaltung im Rahmen der SDG legt und Unterstützung bei der Umsetzung bietet. (*hohes Vertrauen*) {7.4, Box 7.2, 7.6}

C.10 Minderung auf der Nachfrageseite umfasst Veränderungen bei der Infrastrukturnutzung, den Einsatz von Endnutzungstechnologien sowie soziokulturelle und Verhaltensänderungen. Nachfrageseitige Maßnahmen und neue Arten der Bereitstellung von Dienstleistungen für die Endnutzung können die globalen Treibhausgasemissionen in den Endnutzungssektoren bis 2050 um 40–70 % gegenüber den Referenzszenarien senken, obwohl einige Regionen und sozioökonomische Gruppen zusätzliche Energie und Ressourcen benötigen. Nachfrageseitige Minderungsoptionen sind mit der Verbesserung des grundlegenden Wohlergehens für alle vereinbar. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.6) {5.3, 5.4, Abbildung 5.6, Abbildung 5.14, 8.2, 9.4, 10.2, 11.3, 11.4, 12.4, Abbildung TS.22}

C.10.1 Die Ausgestaltung von und der Zugang zu Infrastrukturen sowie der Zugang zu und die Einführung von Technologien, einschließlich Informations- und Kommunikationstechnologien, beeinflussen Nachfragemuster und die Art und Weise, wie Dienstleistungen wie Mobilität, Unterkunft, Wasser, Abwasserentsorgung und Ernährung bereitgestellt werden. Illustrative globale Szenarien mit niedriger Nachfrage, die regionale Unterschiede berücksichtigen, zeigen, dass eine effizientere Energieumwandlung in der Endnutzung Dienstleistungen verbessern und

gleichzeitig bis 2050 den Bedarf an Energie in der Versorgungskette im Vergleich zu 2020 um 45 % senken kann. Das nachfrageseitige Minderungspotenzial unterscheidet sich zwischen und innerhalb von Regionen, und einige Regionen und Bevölkerungsgruppen benötigen zusätzliche Energie, Kapazitäten und Ressourcen für das menschliche Wohlergehen. Das unterste Bevölkerungsquartil nach Einkommen weltweit ist mit Defiziten bei Unterkunft, Mobilität und Ernährung konfrontiert. (*hohes Vertrauen*) {5.2, 5.3, 5.4, 5.5, Abbildung 5.6, Abbildung 5.10, Tabelle 5.2, Abbildung TS.20, Abbildung TS.22}

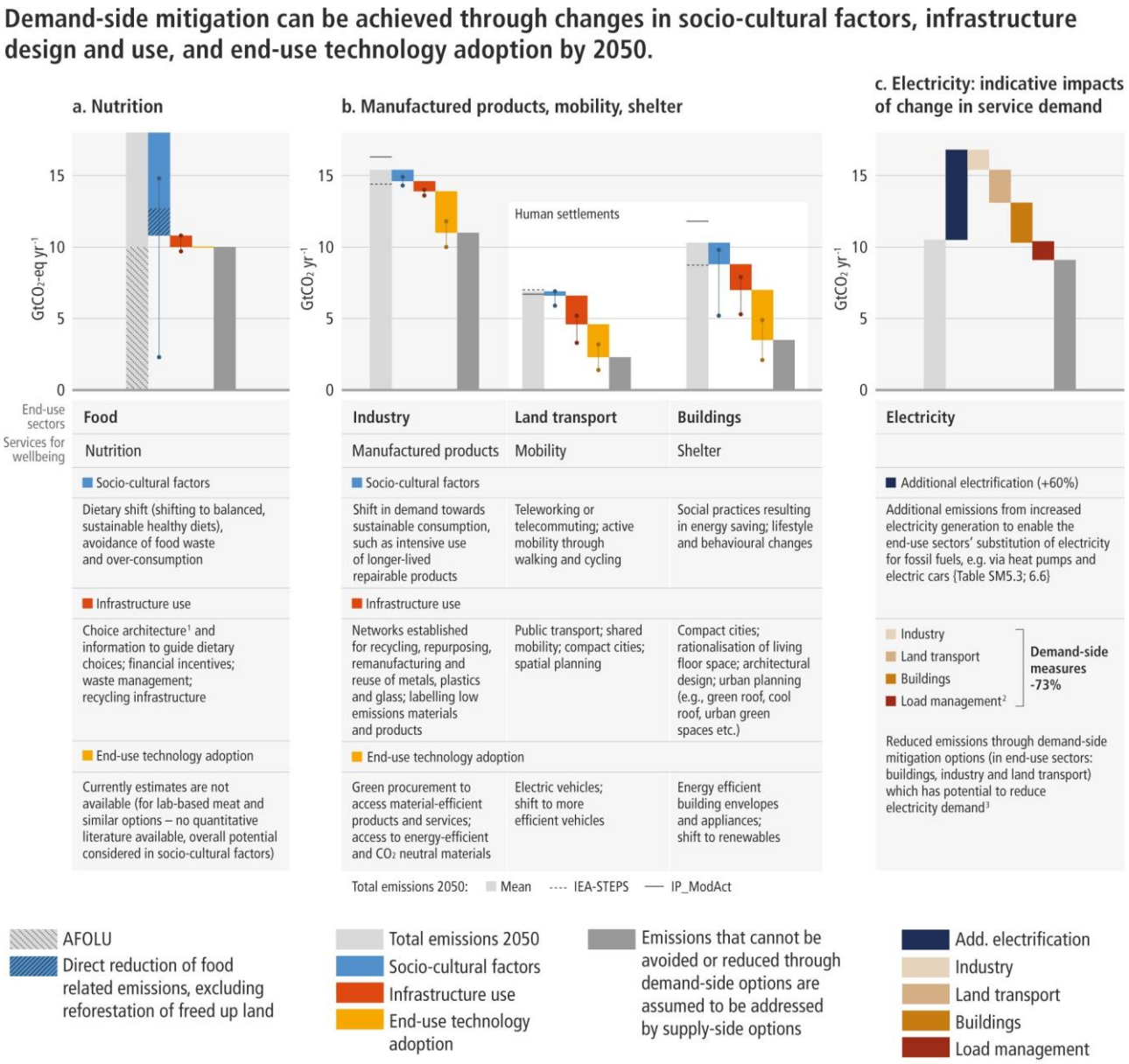
C.10.2 Bis 2050 könnten umfassende nachfrageseitige Strategien in allen Sektoren die CO_2- und Nicht-CO_2-Treibhausgasemissionen in den Endnutzungssektoren weltweit um 40–70 % senken, verglichen mit den für 2050 projizierten Emissionen in zwei Szenarien, die mit den von den nationalen Regierungen bis 2020 angekündigten Maßnahmen in Einklang stehen. Mit politischer Unterstützung können soziokulturelle Optionen und Verhaltensänderungen die globalen Treibhausgasemissionen der Endnutzungssektoren rasch um mindestens 5 % senken, wobei das meiste Potenzial in den Industrieländern besteht, und bis 2050 sogar noch mehr, wenn gleichzeitig Infrastrukturen besser gestaltet und leichter zugänglich gemacht werden. Personen mit hohem sozioökonomischem Status tragen überproportional zu den Emissionen bei und haben das größte Emissionsreduktionspotenzial, zum Beispiel als Bürgerinnen und Bürger, Investorinnen und Investoren, Verbraucherinnen und Verbraucher, Vorbilder sowie als Fachleute. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.6) {5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6, Supplementary Material Tabelle 5.SM.2, 8.4, 9.9, 13.2, 13.5, 13.8, Abbildung TS.20}

C.10.3 Verglichen mit den für 2050 projizierten Emissionen in zwei Szenarien, die mit den von den nationalen Regierungen bis 2020 angekündigten Maßnahmen in Einklang stehen, sind bis 2050 5–30 % der globalen jährlichen Treibhausgasemissionen aus den Endnutzungssektoren vermeidbar; [dieses Minderungspotenzial ergibt sich] durch Veränderungen in der gebauten Umwelt, neue und umgenutzte Infrastrukturen und die Bereitstellung von Dienstleistungen durch kompakte Städte, durch das Anlegen von Arbeitsplätzen und Wohnbauten in räumlicher Nähe zueinander, durch eine effizientere Nutzung von Geschossfläche und Energie in Gebäuden sowie durch die Neuzuweisung von Straßenraum für aktive Mobilität (*hohes Vertrauen*). (Abbildung SPM.6) {5.3.1, 5.3.3, 5.4, Abbildung 5.7, Abbildung 5.13, Tabelle 5.1, Tabelle 5.5, Supplementary Material Tabelle 5.SM.2, 8.4, 9.5, 10.2, 11.3, 11.4, Tabelle 11.6, Box TS.12}

C.10.4 *Choice Architecture*[62] kann Endnutzern, soweit jeweils für den Verbraucher-, Kultur- und Landeskontext relevant, dabei helfen treibhausgasarme Optionen anzunehmen, wie zum Beispiel eine ausgewogene, nachhaltige und gesunde Ernährung[61] unter Berücksichtigung der Ernährungsbedürfnisse, die Verringerung von Lebensmittelverschwendung, anpassungsfähige Heizungs- und Kühlungsoptionen für das thermische Wohlbefinden, in Gebäude integrierte erneuerbare Energien, elektrische PKW und Kleinlaster sowie eine Verlagerung auf das Zufußgehen, Radfahren, geteilte Mobilität und öffentliche Verkehrsmittel sowie nachhaltigen Konsum durch die intensive Nutzung langlebiger, reparierbarer Produkte (*hohes Vertrauen*). Die Bekämpfung von Ungleichheit und vieler Formen des Statuskonsums[63] und eine Konzentration auf das Wohlergehen unterstützen Bemühungen zur Minderung des Klimawandels (*hohes Vertrauen*). (Abbildung SPM.6) {2.4.3, 2.6.2, 4.2.5, 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, Abbildung 5.4, Abbildung 5.10, Tabelle 5.2, Supplementary Material Tabelle 5.SM.2, 7.4.5, 8.2, 8.4, 9.4, 10.2, 12.4, Abbildung TS.20}

[62] „Choice Architecture" beschreibt die Präsentation von Wahlmöglichkeiten für Verbraucherinnen und Verbraucher sowie die Auswirkungen dieser Präsentation auf ihre Entscheidungsfindung.

[63] „Statuskonsum" bezieht sich auf einen Konsum von Waren und Dienstleistungen, der öffentlich soziales Prestige demonstriert.



[1] The presentation of choices to consumers, and the impact of that presentation on consumer decision-making.

[2] Load management refers to demand-side flexibility that cuts across all sectors and can be achieved through incentive design like time of use pricing/monitoring by artificial intelligence, diversification of storage facilities, etc.

[3] The impact of demand-side mitigation on electricity sector emissions depends on the baseline carbon intensity of electricity supply, which is scenario dependent.

Abbildung SPM.6 | Indikatives Potenzial nachfrageseitiger Minderungsoptionen bis 2050.

Abbildung SPM.6 (Fortsetzung): Indikatives Potenzial nachfrageseitiger Minderungsoptionen bis 2050. Abbildung SPM.6 behandelt das indikative Potenzial nachfrageseitiger Optionen für das Jahr 2050. Abbildung SPM.7 behandelt die Kosten und Potenziale für das Jahr 2030. Nachfrageseitige Minderungsoptionen werden in drei große Bereiche eingeteilt: „Soziokulturelle Faktoren", die mit individuellen Entscheidungen, Verhaltensweisen, Lebensstiländerungen, sozialen Normen und Kultur zusammenhängen; "Infrastrukturnutzung", die sich auf die Ausgestaltung und Nutzung harter und weicher Infrastrukturen der Grundversorgung bezieht, die Veränderungen bei individuellen Entscheidungen und Verhaltensweisen ermöglichen; und "Einsatz von Endnutzungstechnologien", die sich auf die Übernahme von Technologien durch die Endnutzerinnen und -nutzer bezieht. Nachfrageseitige Minderung ist ein zentrales Element der Szenarien IMP-LD und IMP-SP (Abbildung SPM.5). Die Analyse der nachfrageseitigen Potenziale im Bereich Ernährung im Jahr 2050 (**Tafel a)** basiert auf Bottom-up-Studien und wird anhand der in der begutachteten Fachliteratur dargelegten Referenz für den Lebensmittelsektor im Jahr 2050 ermittelt (weitere Informationen in Supplementary Material 5.II sowie in Abschnitt 7.4.5). Die Bewertung der Potenziale für die Gesamtemissionen im Jahr 2050 in **Tafel b** (hergestellte Produkte, Mobilität, Unterkünfte) wird auf der Grundlage von etwa 500 Bottom-up-Studien aus allen Weltregionen ermittelt (eine detaillierte Liste findet sich in Supplementary Material Tabelle 5.SM.2). Als Referenz dienen die durchschnittlichen sektoralen Treibhausgasemissionen im Jahr 2050 der beiden Szenarien, die mit den von den nationalen Regierungen bis 2020 angekündigten Maßnahmen in Einklang stehen. Die Höhen der farbigen Säulen stellen die Potenziale dar, repräsentiert durch den Median. Diese basieren auf einer Bandbreite von Werten aus Fallstudien in der Literatur (siehe Supplementary Material 5.SM.II). Die Bandbreite ist durch die durch gepunktete Linien verbundenen Punkte dargestellt, die jeweils das höchste und das niedrigste in der Literatur genannte Potenzial angeben. **Tafel a** zeigt das nachfrageseitige Potenzial soziokultureller Faktoren und der Infrastrukturnutzung. Der Median der Verringerung direkter Emissionen (hauptsächlich Nicht-CO_2-Emissionen) durch soziokulturelle Faktoren liegt bei 1,9 Gt CO_2Äq, ohne Berücksichtigung von Landnutzungsänderungen durch Wiederaufforstung frei gewordener Flächen. Werden die durch die veränderte Nahrungsmittelnachfrage

ermöglichten Änderungen der Landnutzungsmuster berücksichtigt, könnte das indikative Potenzial 7 Gt CO_2Äq erreichen. Tafel b zeigt das Minderungspotenzial durch nachfrageseitige Optionen in den Endnutzungssektoren Industrie, Landverkehr und Gebäude. Die wichtigsten Optionen werden in der Zusammenfassungstabelle unter der Abbildung dargestellt, die Einzelheiten sind in Supplementary Material Tabelle 5.SM.2 enthalten. **Tafel c** veranschaulicht, wie sektorale nachfrageseitige Minderungsoptionen (dargestellt in Tafel b) die Nachfrage im Elektrizitätsnetz verändern. Unter „Elektrizität" wird in Übereinstimmung mit zahlreichen Bottom-up-Studien (eine detaillierte Liste findet sich in Supplementary Material Tabelle 5.SM.3) und mit Kapitel 6 (Abschnitt 6.6) berücksichtigt, dass der Anteil an der Endenergienachfrage im Jahr 2050 steigt (Säule „zusätzliche Elektrifizierung"). Diese Studien werden verwendet, um die Folgen der Endnutzungselektrifizierung zu berechnen, die die Gesamtstromnachfrage erhöht. Ein Teil des projizierten Anstiegs der Elektrizitätsnachfrage kann durch nachfrageseitige Optionen zur Minderung des Klimawandels in den Bereichen soziokulturelle Faktoren und Infrastrukturnutzung bei der Endnutzung von Elektrizität in Gebäuden, in der Industrie und im Landverkehr vermieden werden, die in der Literatur über Bottom-up-Bewertungen gefunden wurden. Dunkelgraue Säulen zeigen die Emissionen, die durch nachfrageseitige Minderungsoptionen nicht vermieden werden können. {5.3, Abbildung 5.7, Supplementary Material 5.SM.II}

C.11 Der Einsatz von Methoden zur Entnahme von CO_2 (*Carbon Dioxide Removal*, CDR), um schwer zu vermeidende Restemissionen auszugleichen, ist unvermeidlich, wenn netto Null CO_2- oder Treibhausgasemissionen erreicht werden sollen. Das Ausmaß und der Zeitpunkt des Einsatzes werden vom Verlauf der Brutto-Emissionssenkungen in den verschiedenen Sektoren abhängen. Das Hochskalieren des Einsatzes von CDR hängt von der Entwicklung wirksamer Konzepte ab, welche die Einschränkungen bezüglich der Machbarkeit und der Nachhaltigkeit insbesondere in großem Maßstab berücksichtigen. (*hohes Vertrauen*) {3.4, 7.4, 12.3, Cross-Chapter Box 8 in Kapitel 12}

C.11.1 Als CDR bezeichnet man anthropogene Aktivitäten, die CO_2 aus der Atmosphäre entfernen und es dauerhaft in geologischen, terrestrischen oder ozeanischen Lagerstätten oder in Produkten speichern. CDR-Methoden unterscheiden sich hinsichtlich ihres Reifegrads, des Entnahmeprozesses, der zeitlichen Größenordnung der Kohlenstoffspeicherung, des Speichermediums, des Potenzials zur Minderung des Klimawandels, der Kosten, positiver Nebeneffekte, Folgen und Risiken sowie der Governance-Anforderungen (*hohes Vertrauen*). Im Einzelnen reicht der Reifegrad von geringerem Reifegrad (zum Beispiel Ozeanalkalisierung) bis zu höherem Reifegrad (zum Beispiel Aufforstung); das Entnahme- und Speicherpotenzial reicht von geringerem Potenzial (<1 Gt CO_2 pro Jahr, zum Beispiel Management von Blauem Kohlenstoff) bis zu höherem Potenzial (>3 Gt CO_2 pro Jahr, zum Beispiel Agroforstwirtschaft); die Kosten reichen von geringeren Kosten (zum Beispiel -45–100 USD pro t CO_2 für die Kohlenstoffbindung im Boden) bis zu höheren Kosten (zum Beispiel 100–300 USD pro t CO_2 für DACCS) (*mittleres Vertrauen*). Die geschätzten Speicherzeiträume reichen von Jahrzehnten bis Jahrhunderten für Methoden, die Kohlenstoff in der Vegetation und durch Kohlenstoffmanagement im Boden speichern, bis hin zu zehntausend Jahren oder länger für Methoden, die Kohlenstoff in geologischen Formationen speichern (*hohes Vertrauen*). Die Prozesse, durch die CO_2 aus der Atmosphäre entfernt wird, werden als biologisch, geochemisch oder chemisch kategorisiert. Aufforstung, Wiederaufforstung, verbessertes Forstmanagement, Agroforstwirtschaft und Kohlenstoffbindung im Boden sind derzeit die einzigen weitverbreiteten CDR-Methoden (*hohes Vertrauen*). {7.4, 7.6, 12.3, Tabelle 12.6, Cross-Chapter Box 8 in Kapitel 12, Tabelle TS.7; AR6 WGI 5.6}

C.11.2 Die Folgen, Risiken und positiven Nebeneffekte eines CDR-Einsatzes für Ökosysteme, die biologische Vielfalt und Menschen werden je nach Methode, standortspezifischem Kontext, Umsetzung und Umfang sehr unterschiedlich sein (*hohes Vertrauen*). Aufforstung, verbessertes Forstmanagement, Kohlenstoffbindung im Boden, die Wiederherstellung von Torfmooren sowie das Management von Blauem Kohlenstoff sind Beispiele für Methoden, die je nach Kontext die biologische Vielfalt und Ökosystemfunktionen, die Beschäftigung und lokale Existenzgrundlagen verbessern können (*hohes Vertrauen*). Im Gegensatz dazu können Aufforstung oder der Anbau von Biomasse für BECCS oder Biokohle, wenn sie schlecht umgesetzt werden, negative sozioökonomische und ökologische Folgen haben, unter anderem auf die biologische Vielfalt, die Ernährungs- und Wasserversorgungssicherheit, lokale Existenzgrundlagen und auf die Rechte indigener Völker, insbesondere wenn sie in großem Maßstab und an Orten mit unsicheren Landbesitzverhältnissen umgesetzt werden (*hohes Vertrauen*). Ozeandüngung könnte, wenn durchgeführt, zu einer Nährstoffumverteilung, einer Umstrukturierung der Ökosysteme, einem erhöhten Sauerstoffverbrauch und einer Versauerung in tieferen Wasserschichten führen (*mittleres Vertrauen*). {7.4, 7.6, 12.3, 12.5}

C.11.3 Die Entnahme und Speicherung von CO_2 durch Vegetation und Bodenmanagement kann durch menschengemachte oder natürliche Störungen rückgängig gemacht werden; sie ist auch anfällig gegenüber den Folgen des Klimawandels. Im Vergleich dazu ist CO_2, das in geologischen und ozeanischen Lagerstätten (über BECCS, DACCS, Ozean-Alkalisierung) und als Kohlenstoff in Biokohle gespeichert ist, weniger anfällig für eine Wiederfreisetzung. (*hohes Vertrauen*) {6.4, 7.4, 12.3}

C.11.4 Neben tiefgreifenden, raschen und anhaltenden Emissionsreduktionen kann CDR global oder auf nationaler Ebene drei andere zusätzliche Funktionen erfüllen: Senkung der Netto-CO_2- oder Netto-Treibhausgasemissionen in der nahen Zukunft, Ausgleich von "schwer zu vermeidenden" Restemissionen (zum Beispiel Emissionen aus Landwirtschaft, Flugverkehr, Schifffahrt, Industrieprozessen), um mittelfristig netto Null CO_2- oder Treibhausgasemissionen zu erreichen, sowie – wenn in einem Umfang eingesetzt, der die jährlichen Restemissionen übersteigt – langfristig netto negative CO_2- oder Treibhausgasemissionen. (*hohes Vertrauen*) {3.3, 7.4, 11.3, 12.3, Cross-Chapter Box 8 in Kapitel 12}

C.11.5 Rasche Emissionsreduktionen in allen Sektoren und der künftige Umfang eines Einsatzes von CDR-Methoden und die damit verbundenen Risiken, Folgen und positiven Nebeneffekten beeinflussen sich gegenseitig. Eine Ausweitung des Einsatzes von CDR-Methoden hängt von der Entwicklung wirksamer Konzepte ab, mit denen Nachhaltigkeits- und Machbarkeitshürden, potenzielle Folgen, positive Nebeneffekte und Risiken angegangen werden können. Förderliche Bedingungen für CDR sind unter anderem beschleunigte Forschung, Entwicklung und Demonstration, verbesserte Instrumente für die Risikobewertung und das Risikomanagement, gezielte Anreize und die Entwicklung eines gemeinsamen Regelwerks für die Überwachung, Berichterstattung und Überprüfung von Kohlenstoffflüssen. (*hohes Vertrauen*) {3.4, 7.6, 12.3}

C.12 Optionen zur Minderung des Klimawandels, die 100 USD pro Tonne CO_2Äq oder weniger kosten, könnten die globalen Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens die Hälfte des Niveaus von 2019 verringern (*hohes Vertrauen*). Das globale Bruttoinlandsprodukt wächst in den modellierten Pfaden[64] weiter, ist aber – ohne dass der wirtschaftliche Nutzen von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels durch die Vermeidung von Schäden durch den Klimawandel oder aufgrund verringerter Anpassungskosten berücksichtigt wird – im Jahr 2050 im Vergleich zu Pfaden ohne Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels jenseits der derzeitigen Politik um einige Prozent niedriger. Der globale wirtschaftliche Nutzen einer Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C übersteigt gemäß den meisten der bewerteten Studien die Kosten zur Minderung des Klimawandels. (*mittleres Vertrauen*) (Abbildung SPM.7) {3.6, 3.8, Cross-Working Group Box 1 in Kapitel 3, 12.2, Box TS.7}

C.12.1 Auf der Grundlage einer detaillierten sektoralen Bewertung von Minderungsoptionen wird geschätzt, dass Minderungsoptionen, die höchstens 100 USD pro Tonne CO_2Äq kosten, die globalen Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens die Hälfte des Niveaus von 2019 reduzieren könnten (Optionen, die weniger als 20 USD pro Tonne CO_2Äq kosten, machen laut Schätzungen mehr als die Hälfte dieses Potenzials aus)[65]. Für einen kleineren Teil des Potenzials gilt, dass der Einsatz zu Nettokosteneinsparungen führt. Große Beiträge mit Kosten von weniger als 20 USD pro Tonne CO_2Äq kommen aus der Solar- und Windenergie, aus Energieeffizienzsteigerungen, aus einer geringeren Umwandlung naturbelassener Ökosysteme und aus einer Verringerung der CH_4-Emissionen (Kohlebergbau, Öl und Gas, Abfall). Die Minderungspotenziale und Minderungskosten einzelner Technologien können in einem bestimmten Kontext oder einer bestimmten Region von den angegebenen Schätzungen stark abweichen. Die Auswertung der zugrundeliegenden Literatur deutet darauf hin, dass sich der relative Beitrag der verschiedenen Optionen nach 2030 ändern könnte. (*mittleres Vertrauen*) (Abbildung SPM.7)

[64] Bei modellierten Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen.

[65] Die der Analyse zugrundeliegende Methodik ist in der Bildunterschrift zu Abbildung SPM.7 beschrieben.

{12.2}

C.12.2 In den betrachteten globalen Szenarien, die die makroökonomischen Auswirkungen von Minderungsmaßnahmen quantifizieren, aber weder Schäden durch den Klimawandel noch Anpassungskosten berücksichtigen, sind die aggregierten Auswirkungen von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels auf das globale BIP im Vergleich zum projizierten globalen BIP-Wachstum gering (*hohes Vertrauen*). Im Vergleich zu Pfaden, bei denen von einer Fortsetzung der bis Ende 2020 umgesetzten Maßnahmen ausgegangen wird, verringert sich beispielsweise bei modellierten Pfaden, die von koordiniertem globalem Handeln ab spätestens 2025 ausgehen, um die Erwärmung auf 2 °C zu begrenzen (>67 %), das geschätzte globale BIP im Jahr 2050 um 1,3 bis 2,7 %. Die entsprechende durchschnittliche Verringerung des jährlichen globalen BIP-Wachstums im Zeitraum 2020–2050 beträgt 0,04–0,09 Prozentpunkte. Bei den betrachteten Modellpfaden wird sich das globale BIP unabhängig vom Umfang der Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels im Zeitraum 2020–2050 laut Projektionen mindestens verdoppeln (um mindestens 100 % steigen). Für modellierte globale Pfade in anderen Temperaturkategorien sind die globalen BIP-Rückgänge im Jahr 2050 im Vergleich zu Pfaden, die von einer Fortführung der bis Ende 2020 umgesetzten Maßnahmen ausgehen, wie folgt: 2,6–4,2 % (C1), 1,6–2,8 % (C2), 0,8–2,1 % (C4), 0,5–1,2 % (C5). Die entsprechenden Verringerungen des durchschnittlichen jährlichen globalen BIP-Wachstums im Zeitraum 2020–2050 betragen in Prozentpunkten: 0,09–0,14 (C1), 0,05–0,09 (C2), 0,03–0,07 (C4), 0,02–0,04 (C5)[66]. Die modellierten Auswirkungen von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels auf das BIP unterscheiden sich je nach Region stark; dies hängt insbesondere von der Wirtschaftsstruktur, den regionalen Emissionsreduktionen, der Politikgestaltung und dem Grad der internationalen Zusammenarbeit ab[67] (*hohes Vertrauen*). Studien auf Länderebene zeigen ebenfalls große Unterschiede bezüglich der Auswirkungen von Minderung auf das BIP, die vor allem vom Minderungsumfang und der Art und Weise, wie sie erreicht wird, abhängen (*hohes Vertrauen*). Makroökonomische Auswirkungen von positiven Nebeneffekten und von Zielkonflikten durch Minderung sind in den oben genannten Szenarien nicht umfassend quantifiziert und hängen stark von den Minderungsstrategien ab (*hohes Vertrauen*). {3.6, 4.2, Box TS.7, Annex III.I.2, Annex III.I.9, Annex III.I.10 und Annex III.II.3}

C.12.3 Die Schätzungen des gesamtwirtschaftlichen Nutzens aus der Vermeidung von Schäden durch den Klimawandel und aus geringeren Anpassungskosten steigen mit der Stringenz der Minderung des Klimawandels (*hohes Vertrauen*). Modelle, die die wirtschaftlichen Schäden durch den Klimawandel berücksichtigen, kommen zu dem Ergebnis, dass die globalen Kosten für die Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C im 21. Jahrhundert geringer sind als der globale wirtschaftliche Nutzen einer Verringerung der Erwärmung, es sei denn: (i) die Klimaschäden liegen am unteren Ende der Bandbreite; oder (ii) zukünftige Schäden werden mit hohen Raten diskontiert (*mittleres Vertrauen*)[68]. Modellierte Pfade mit einem Höchststand der globalen Emissionen zwischen heute und spätestens 2025 beinhalten im Vergleich zu modellierten Pfaden mit einem späteren Höchststand der globalen Emissionen schnellere Systemübergänge und höhere Vorabinvestitionen in der nahen Zukunft, bringen aber langfristige Gewinne für die Wirtschaft sowie frühere Vorteile durch vermiedene Klimawandelfolgen (*hohes Vertrauen*). Das genaue Ausmaß dieser Gewinne und Vorteile ist schwierig zu quantifizieren. {1.7, 3.6, Cross-Working Group Box 1 in Kapitel 3, Box TS.7; AR6 WGII SPM B.4}

---

[66] Diese Angaben beruhen auf 311 Pfaden, die die Auswirkungen der Minderung des Klimawandels auf das BIP angeben und in Temperaturkategorien eingeteilt werden konnten, die aber weder Schäden durch den Klimawandel noch Anpassungskosten berücksichtigen und die meist nicht die wirtschaftlichen Folgen von positiven Nebeneffekten oder Zielkonflikten von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels widerspiegeln. Die angegebenen Bandbreiten sind Interquartilsbereiche. Die quantifizierten makroökonomischen Auswirkungen variieren stark je nach Technologieannahmen, der Formulierung der Klima-/Emissionsziele, Modellstruktur und -annahmen sowie dem Ausmaß, in dem bereits bestehende Ineffizienzen berücksichtigt werden. Die Modelle, die die in Temperaturkategorien eingeteilten Pfade erzeugt haben, repräsentieren nicht die gesamte Vielfalt bestehender Modellierungsparadigmen, und es gibt in der Literatur Modelle, die höhere oder im Gegenteil niedrigere Kosten und sogar Gewinne durch die Minderung des Klimawandels feststellen. {1.7, 3.2, 3.6, Annex III.I.2, Annex III.I.9, Annex III.I.10 und Annex III.II.3}

[67] Bei modellierten kostenwirksamen Pfaden mit einem weltweit einheitlichen Kohlenstoffpreis, ohne internationale Finanztransfers oder ergänzende politische Maßnahmen, werden CO_2-intensive und energieexportierende Länder laut Projektionen aufgrund einer tiefgreifenderen Umgestaltung ihrer Volkswirtschaften und aufgrund von Veränderungen auf den internationalen Energiemärkten relativ höhere Kosten durch die Minderung des Klimawandels tragen müssen. {3.6}

[68] Die Belege sind zu begrenzt, um eine ähnlich belastbare Schlussfolgerung für eine Begrenzung der Erwärmung auf 1,5 °C zu ziehen.

Many options available now in all sectors are estimated to offer substantial potential to reduce net emissions by 2030. Relative potentials and costs will vary across countries and in the longer term compared to 2030.

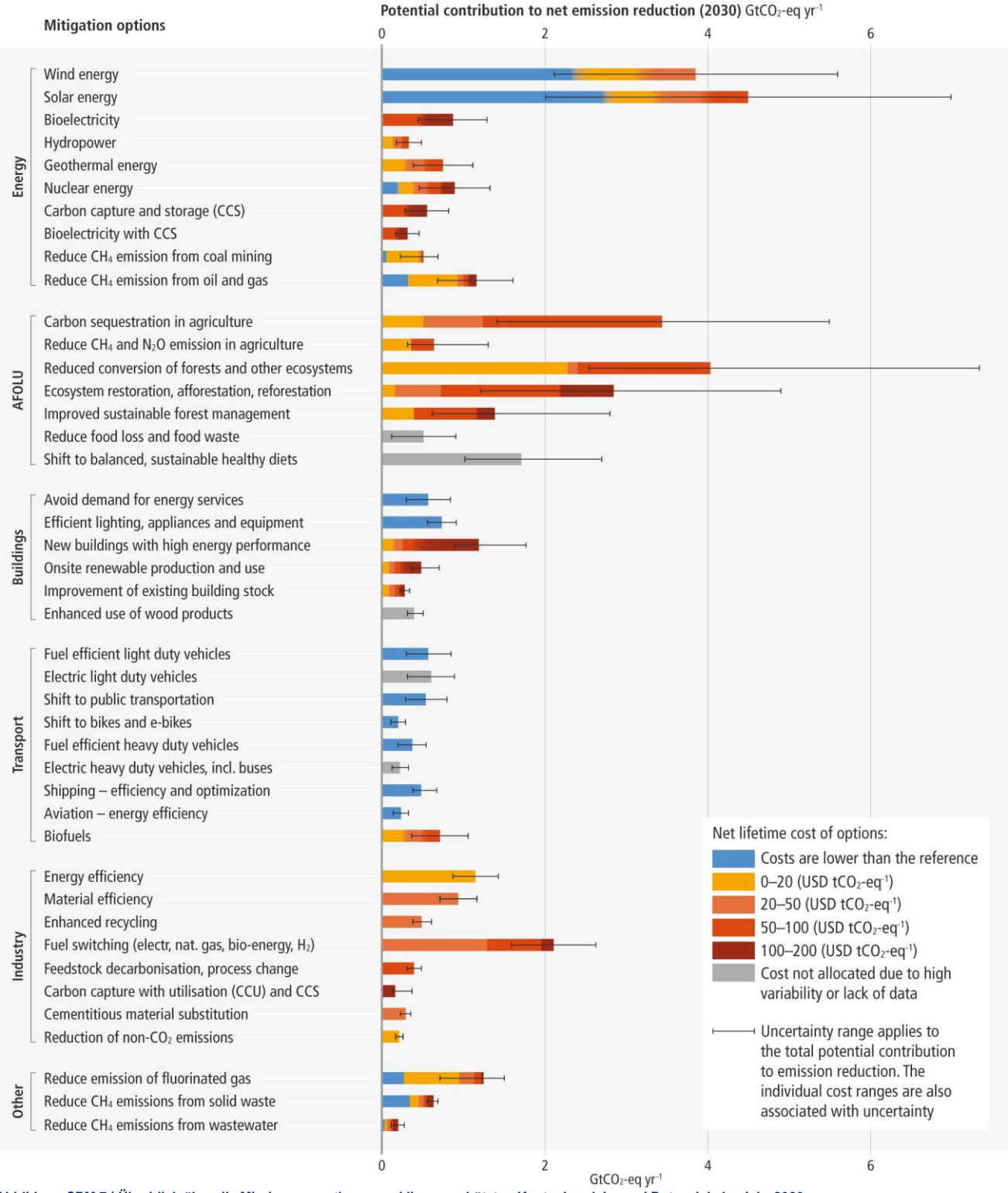


Abbildung SPM.7 | Überblick über die Minderungsoptionen und ihre geschätzten Kostenbereiche und Potenziale im Jahr 2030.

Abbildung SPM.7 (Fortsetzung): Überblick über die Minderungsoptionen und ihre geschätzten Kostenbereiche und Potenziale im Jahr 2030. Die angegebenen Kosten sind die über die gesamte Lebensdauer anfallenden Nettokosten der vermiedenen Treibhausgasemissionen. Die Kosten sind im Verhältnis zu einer Referenztechnologie berechnet. Die Analysen für die einzelnen Sektoren wurden nach einer gemeinsamen Methodik durchgeführt, die auch die Definition der Potenziale, das Zieljahr, die Referenzszenarien und die Kostendefinitionen umfasst. Das Minderungspotenzial (auf der horizontalen Achse dargestellt) ist die Menge an Netto-Treibhausgasemissionsreduktionen, die durch eine bestimmte Minderungsoption im Vergleich zu einer bestimmten Emissionsreferenz erreicht werden kann. Die Netto-Treibhausgasemissionsreduktionen sind die Summe der reduzierten Emissionen und/oder der verstärkten Senken. Die verwendete Referenz besteht aus Referenzszenarien mit aktuellen Maßnahmen (um 2019) aus der AR6-Szenariendatenbank (25/75 Perzentilwerte). Die Bewertung stützt sich auf etwa 175 zugrundeliegende Quellen, die gemeinsam eine angemessene Darstellung der Emissionsminderungspotenziale in allen Regionen ergeben. Die Minderungspotenziale werden für jede Option unabhängig bewertet und sind nicht unbedingt additiv. {12.2.1, 12.2.2} Die Länge der gefüllten Balken stellt das Minderungspotenzial einer Option dar. Die Fehlerbalken zeigen die vollen Bandbreiten der Schätzungen für die gesamten Minderungspotenziale. Unsicherheitsquellen bei den Kostenschätzungen sind unter anderem Annahmen über die Geschwindigkeit des technologischen Fortschritts, regionale Unterschiede und Skaleneffekte. Diese Unsicherheiten sind in der Abbildung nicht dargestellt. Die Potenziale sind in Kostenkategorien unterteilt, die durch unterschiedliche Farben gekennzeichnet sind (siehe Legende). Es werden nur diskontierte monetäre Lebensdauerkosten berücksichtigt. Wenn ein allmählicher Farbübergang angezeigt wird, ist die Aufschlüsselung des Potenzials in Kostenkategorien nicht genau bekannt oder hängt stark von Faktoren wie dem geografischen Standort, der Verfügbarkeit von Ressourcen und regionalen Gegebenheiten ab, und die Farben zeigen die Bandbreite der Schätzungen an. Die Kosten wurden direkt aus den zugrundeliegenden Studien (meist aus dem Zeitraum 2015–2020) oder aus aktuellen Datensätzen übernommen. In Anbetracht der großen Kostenspannen wurde keine Inflationskorrektur vorgenommen. Die Kosten der Referenztechnologien wurden ebenfalls den zugrundeliegenden Studien und aktuellen Datensätzen entnommen. Kostensenkungen aufgrund technologischen Lernens wurden berücksichtigt[69]. Bei der Interpretation dieser Abbildung sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- Das Minderungspotenzial ist unsicher, da es von der zu ersetzenden Referenztechnologie (und deren Emissionen), dem Tempo der Einführung neuer Technologien und verschiedenen anderen Faktoren abhängt.
- Die Schätzungen der Kosten und der Minderungspotenziale wurden aus verfügbaren sektoralen Studien extrapoliert. Die tatsächlichen Kosten und Potenziale würden sich je nach Ort, Kontext und Zeit unterscheiden.
- Nach 2030 wird sich die relative Bedeutung der bewerteten Minderungsoptionen voraussichtlich ändern, insbesondere, wenn langfristige Minderungsziele verfolgt werden; zu berücksichtigen ist auch, dass der Schwerpunkt auf bestimmte Optionen sich je nach Region unterscheiden wird (zu spezifischen Minderungsoptionen siehe SPM Abschnitte C4.1, C5.2, C7.3, C8.3 und C9.1).
- Abgesehen von den Kostenaspekten zeichnen sich die verschiedenen Optionen durch unterschiedliche Machbarkeit aus, die in der Abbildung nicht berücksichtigt ist (vgl. SPM Abschnitt E.1).
- Die Potenziale im Kostenbereich von 100 bis 200 USD pro t CO_2-Äq könnten bei einigen Optionen unterschätzt worden sein.
- Die Kosten für die Ermöglichung der Integration variabler erneuerbarer Energiequellen in die Elektrizitätssysteme dürften bis 2030 gering sein und wurden nicht berücksichtigt, da es komplex ist, diese Kosten den einzelnen Technologieoptionen zuzuordnen.
- Die Kostenkategorien sind von niedrig nach hoch geordnet. Diese Reihenfolge bedeutet nicht, dass die Umsetzung in einer bestimmten Reihenfolge erfolgt.
- Externe Effekte werden nicht berücksichtigt. {12.2, Tabelle 12.3, 6.4, Tabelle 7.3, Supplementary Material Tabelle 9.SM.2, Supplementary Material Tabelle 9.SM.3, 10.6, 11.4, Abbildung 11.13, Supplementary Material 12.SM.A.2.3}

[69] Für Kernenergie sind die modellierten Kosten für die langfristige Lagerung radioaktiver Abfälle enthalten.

D. Zusammenhänge zwischen Minderung des Klimawandels, Anpassung und nachhaltiger Entwicklung

D.1 Beschleunigte und gerechte Maßnahmen zur Minderung der Folgen des Klimawandels und zur Anpassung daran sind für eine nachhaltige Entwicklung entscheidend. Klimaschutzmaßnahmen können auch zu einigen Zielkonflikten führen. Die Zielkonflikte einzelner Optionen könnten über die Politikgestaltung bewältigt werden. Die Ziele für nachhaltige Entwicklung (*Sustainable Development Goals*, SDG), die im Rahmen der UN-Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung verabschiedet wurden, können als Grundlage für die Bewertung von Klimaschutzmaßnahmen im Kontext nachhaltiger Entwicklung dienen. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.8) {1.6, 3.7, 17.3, Abbildung TS.29}

D.1.1 Der menschengemachte Klimawandel ist die Folge von mehr als einem Jahrhundert Netto-Treibhausgasemissionen aus nicht nachhaltiger Energienutzung, Landnutzung und Landnutzungsänderung sowie nicht nachhaltigen Lebensstilen, Konsum- und Produktionsmustern. Ohne umgehende, wirksame und gerechte Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels bedroht er zunehmend die Gesundheit und die Existenzgrundlagen von Menschen auf der ganzen Welt sowie die Gesundheit von Ökosystemen und die biologische Vielfalt. Es gibt sowohl Synergien als auch Zielkonflikte zwischen Klimaschutzmaßnahmen und den Bestrebungen zur Erfüllung anderer SDG. Beschleunigter und gerechter Klimaschutz zur Minderung der Folgen des Klimawandels und zur Anpassung daran sind für eine nachhaltige Entwicklung entscheidend. (*hohes Vertrauen*) {1.6, Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4, 7.2, 7.3, 17.3, AR6 WGI SPM.A, Abbildung SPM.2; AR6 WGII SPM.B2, Abbildung SPM.3, Abbildung SPM.4b, Abbildung SPM.5}

D.1.2 Synergien und Zielkonflikte hängen vom Entwicklungskontext einschließlich Ungleichheiten ab, wobei Klimagerechtigkeit zu berücksichtigen ist. Sie hängen auch von den Umsetzungsinstrumenten, von Interaktionen innerhalb von und zwischen Sektoren, der Zusammenarbeit zwischen Ländern und Regionen, der Reihenfolge, dem Zeitplan und der Stringenz der Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels, der Governance und der Politikgestaltung ab. Die Maximierung von Synergien und die Vermeidung von Zielkonflikten sind eine besondere Herausforderung für Entwicklungsländer, verwundbare Bevölkerungsgruppen und indigene Völker mit begrenzten institutionellen, technologischen und finanziellen Kapazitäten und mit eingeschränktem Sozial-, Human- und Wirtschaftskapital. Zielkonflikte können bewertet und minimiert werden, indem der Schwerpunkt auf Kapazitätsaufbau, Finanzen, Regierungsführung, Technologietransfer, Investitionen sowie Entwicklungs- und soziale Gerechtigkeitserwägungen unter sinnvoller Beteiligung indigener Völker und gefährdeter Bevölkerungsgruppen gelegt wird. (*hohes Vertrauen*) {1.6, 1.7, 3.7, 5.2, 5.6, 7.4, 7.6, 17.4}

D.1.3 Es bestehen potenzielle Synergien zwischen nachhaltiger Entwicklung und Energieeffizienz, erneuerbaren Energien, einer Stadtplanung mit mehr Grünflächen, geringerer Luftverschmutzung und nachfrageseitiger Minderung, einschließlich der Umstellung auf eine ausgewogene und nachhaltige gesunde Ernährung (*hohes Vertrauen*). Elektrifizierung in Verbindung mit treibhausgasarmer Energie und der Umstieg auf öffentliche Verkehrsmittel können die Gesundheit und die Beschäftigung verbessern, die Energiesicherheit erhöhen und Gerechtigkeit schaffen (*hohes Vertrauen*). In der Industrie tragen Elektrifizierung und Materialkreisläufe zu einer geringeren Umweltbelastung und zu mehr Wirtschaftstätigkeit und Beschäftigung bei. Einige industrielle Optionen könnten jedoch hohe Kosten verursachen (*mittleres Vertrauen*). (Abbildung SPM.8) {5.2, 8.2, 11.3, 11.5, 17.3, Abbildung TS.29}

D.1.4 Landbasierte Optionen wie Wiederaufforstung und Waldschutz, vermiedene Entwaldung, Wiederherstellung und Schutz naturbelassener Ökosysteme und der biologischen Vielfalt, verbessertes nachhaltiges Forstmanagement, Agroforstwirtschaft, Bodenkohlenstoffmanagement sowie Optionen, die die CH_4- und N_2O-Emissionen in der Landwirtschaft aus Viehbestand und Boden verringern, können vielfältige Synergien mit den SDG haben. Dazu gehören die Steigerung einer nachhaltigen landwirtschaftlichen Produktivität und Resilienz, Ernährungssicherheit, die Bereitstellung zusätzlicher Biomasse für die menschliche Nutzung und die Bekämpfung von Bodendegradierung. Die Maximierung von Synergien und die Bewältigung von Zielkonflikten hängen von spezifischen

Praktiken, der Größenordnung der Umsetzung, der Governance, dem Aufbau von Kapazitäten, der Integration mit der bestehenden Landnutzung und der Einbeziehung lokaler Gemeinschaften und indigener Völker sowie von einem Vorteilsausgleich ab, der durch Rahmenwerke wie die Landdegradierungsneutralität im Rahmen der UNCCD unterstützt wird. (*hohes Vertrauen*) {3.7, 7.4, 12.5, 17.3}

D.1.5 Zielkonflikte bezüglich Beschäftigung, Wassernutzung, Landnutzungskonkurrenz und Biodiversität sowie des Zugangs zu und der Erschwinglichkeit von Energie, Nahrungsmitteln und Wasser können durch gut umgesetzte landbasierte Minderungsoptionen vermieden werden, insbesondere durch solche, die bestehende nachhaltige Landnutzung und Landrechte nicht bedrohen, auch wenn mehr Rahmenwerke für eine integrierte Strategieumsetzung erforderlich sind. Die Nachhaltigkeit von Bioenergie und anderen biobasierten Produkten wird durch die Rohstoffe, die Landmanagementpraxis, die klimatische Region, den Kontext des bestehenden Landmanagements sowie den Zeitpunkt, den Umfang und die Geschwindigkeit des Einsatzes beeinflusst. (*mittleres Vertrauen*) {3.5, 3.7, 7.4, 12.4, 12.5, 17.1}

D.1.6 CDR-Methoden wie die Bindung von Kohlenstoff im Boden und Biokohle[70] können die Bodenqualität und die Kapazität zur Nahrungsmittelproduktion verbessern. Die Wiederherstellung von Ökosystemen und Wiederaufforstung binden Kohlenstoff in Pflanzen und Böden und können die biologische Vielfalt erhöhen sowie zusätzliche Biomasse liefern; sie können aber die Nahrungsmittelproduktion und Existenzgrundlagen verdrängen, was integrierte Ansätze für die Landnutzungsplanung nötig macht, um mehrere Ziele einschließlich Ernährungssicherheit zu erreichen. Aufgrund der heute begrenzten Anwendung einiger der Optionen bestehen jedoch gewisse Unsicherheiten hinsichtlich des potenziellen Nutzens. (*hohes Vertrauen*) {3.7, 7.4, 7.6, 12.5, 17.3, Tabelle TS.7}

D.2 Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen nachhaltiger Entwicklung, Verwundbarkeit und Klimarisiken. Begrenzte wirtschaftliche, soziale und institutionelle Ressourcen führen häufig zu hoher Verwundbarkeit und geringer Anpassungsfähigkeit, insbesondere in Entwicklungsländern (*mittleres Vertrauen*). Etliche Reaktionsmöglichkeiten führen zu Erfolgen sowohl bei der Minderung des Klimawandels als bei der Anpassung an ihn, insbesondere in menschlichen Siedlungen, bei Landmanagement und in Bezug auf Ökosysteme. Allerdings können Land- und Wasserökosysteme durch einige Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels beeinträchtigt werden, abhängig von der Umsetzung (*mittleres Vertrauen*). Koordinierte sektorübergreifende politische Strategien und Planungen können Synergien maximieren und Zielkonflikte zwischen der Minderung des Klimawandels und der Anpassung an ihn vermeiden oder verringern (*hohes Vertrauen*). {3.7, 4.4, 13.8, 17.3; AR6 WGII}

D.2.1 Nachhaltige Stadtplanung und Infrastrukturgestaltung, einschließlich begrünter Dächer und Fassaden, vernetzter Parks und Freiflächen, dem Management von städtischen Wäldern und Feuchtgebieten, städtischer Landwirtschaft und wassersensibler Gestaltung, können in Siedlungen sowohl Minderungs- als auch Anpassungsvorteile bieten (*mittleres Vertrauen*). Diese Optionen können auch Überschwemmungsrisiken, den Druck auf die städtischen Abwassersysteme und städtische Wärmeinsel-Effekte verringern sowie gesundheitliche Vorteile aufgrund geringerer Luftverschmutzung bieten (*hohes Vertrauen*). Es könnten auch Zielkonflikte bestehen. Zum Beispiel könnte die Erhöhung der städtischen Dichte zur Verringerung der Verkehrsnachfrage eine hohe Verwundbarkeit gegenüber Hitzewellen und Überschwemmungen mit sich bringen (*hohes Vertrauen*). (Abbildung SPM.8) {3.7, 8.2, 8.4, 12.5, 13.8, 17.3}

[70] Potenzielle Risiken, Wissenslücken aufgrund der relativen Unausgereiftheit der Verwendung von Biokohle als Bodenverbesserungsmittel, unbekannte Folgen einer weit verbreiteten Anwendung sowie positive Nebeneffekte von Biokohle werden in Abschnitt 7.4.3.2 betrachtet.

Mitigation options have synergies with many Sustainable Development Goals, but some options can also have trade-offs. The synergies and trade-offs vary dependent on context and scale.

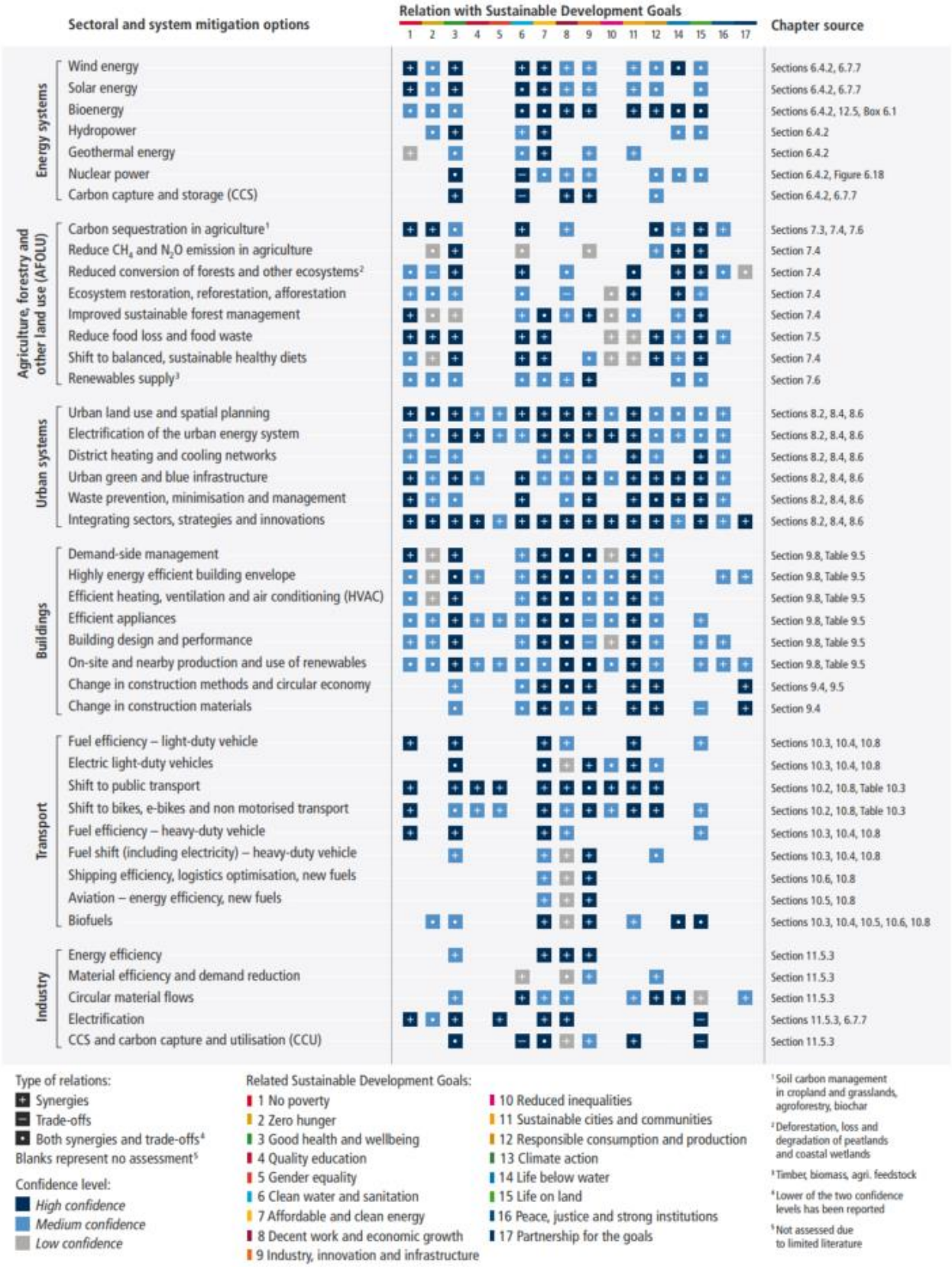


Abbildung SPM.8 | Synergien und Zielkonflikte zwischen Optionen zur Minderung des Klimawandels in Sektoren und Systemen sowie den SDG.

Abbildung SPM.8 (Fortsetzung): Synergien und Zielkonflikte zwischen Optionen zur Minderung des Klimawandels in Sektoren und Systemen sowie den SDG. Die sektoralen Kapitel (Kapitel 6–11) enthalten qualitative Bewertungen von Synergien und Zielkonflikten zwischen sektoralen Optionen zur Minderung des Klimawandels und den SDG. Abbildung SPM.8 bietet eine Zusammenfassung der Analsye auf Kapitelebene für ausgewählte Optionen zur Minderung des Klimawandels (siehe Supplementary Material Tabelle 17.SM.1 für die zugrundeliegende Analyse). Die letzte Spalte bietet Hinweise auf die sektoralen Kapitel, in denen Details zur Kontextspezifität und zur Abhängigkeit der Wechselwirkungen von der Größenordnung der Umsetzung zu finden sind. Leere Zellen weisen darauf hin, dass Wechselwirkungen aufgrund begrenzter Literatur nicht analysiert wurden. Sie bedeuten nicht, dass es keine Wechselwirkungen zwischen den jeweiligen Minderungsoptionen und den SDG gibt. Die Vertrauensniveaus hängen von der Qualität der Belege und dem Grad der Übereinstimmung in der zugrundeliegenden Literatur ab, die in den sektoralen Kapiteln ausgewertet wurde. In Fällen, in denen es sowohl Synergien als auch Zielkonflikte gibt, wird das niedrigere der beiden Vertrauensniveaus für diese Wechselwirkung angegeben. Einige Optionen zur Minderung des Klimawandels können in mehr als einem Sektor oder System Anwendung finden. Die Wechselwirkungen zwischen den Optionen zur Minderung des Klimawandels und den SDG können je nach Sektor oder System, aber auch je nach Kontext und der Größenordnung der Umsetzung unterschiedlich sein. Die Größenordnung der Umsetzung ist besonders von Bedeutung, wenn es einen Wettbewerb um knappe Ressourcen gibt. {6.3, 6.4, 6.7, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6, 8.2, 8.4, 8.6, Abbildung 8.4, Supplementary Material Tabelle 8.SM.1, Supplementary Material Tabelle 8.SM.2, 9.4, 9.5, 9.8, Tabelle 9.5, 10.3, 10.4, 10.5, 10.6, 10.8, Tabelle 10.3, 11.5, 12.5, 17.3, Abbildung 17.1, Supplementary Material Tabelle 17.SM.1, Annex II.IV.12}

D.2.2 Landbasierte Optionen zur Minderung des Klimawandels mit potenziellen positiven Nebeneffekten für die Anpassung umfassen Agroforstwirtschaft, Deckfrüchte, Zwischenfruchtanbau und mehrjährige Pflanzen, die Wiederherstellung der natürlichen Vegetation und die Sanierung von degradierten Landsystemen. Dies kann die Resilienz erhöhen, indem die Produktivität der Landsysteme erhalten bleibt und Existenzgrundlagen geschützt und diversifiziert werden. Die Wiederherstellung von Mangroven und Küstenfeuchtgebieten bindet Kohlenstoff und verringert außerdem die Küstenerosion und schützt vor Sturmfluten, wodurch die Risiken durch den Meeresspiegelanstieg und durch extreme Wetterereignisse verringert werden. (*hohes Vertrauen*) {4.4, 7.4, 7.6, 12.5, 13.8}

D.2.3 Einige Optionen zur Minderung des Klimawandels können den Wettbewerb um knappe Ressourcen wie Land, Wasser und Biomasse verschärfen. Folglich können sie auch Anpassungskapazitäten verringern, vor allem wenn sie in größerem Maßstab und mit hohen Expansionsraten eingesetzt werden; dadurch werden bestehende Risiken verschärft, insbesondere dort, wo Land- und Wasserressourcen sehr begrenzt sind. Beispiele hierfür sind unter anderem der großflächige oder schlecht geplante Einsatz von Bioenergie und Biokohle sowie die Aufforstung von natürlicherweise unbewaldeten Flächen. (*hohes Vertrauen*) {12.5, 17.3}

D.2.4 Koordinierte Strategien, gleichberechtigte Partnerschaften und die Integration von Anpassung und Minderung innerhalb von und über Sektoren hinweg können Synergien maximieren und Zielkonflikte minimieren und damit die Unterstützung für Klimaschutzmaßnahmen stärken (*mittleres Vertrauen*). Selbst wenn umfassende globale Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels durchgeführt werden, wird ein großer Bedarf an finanziellen, technischen und personellen Ressourcen für Anpassung bestehen. Fehlen von oder begrenzte Ressourcen in sozialen und institutionellen Systemen können zu schlecht koordinierten Maßnahmen führen, wodurch das Potenzial für eine Maximierung der Minderungs- und Anpassungsvorteile verringert und das Risiko erhöht wird (*hohes Vertrauen*). {12.6, 13.8, 17.1, 17.3}

D.3 Verstärkte Minderung und umfassendere Maßnahmen zur Umlenkung von Entwicklungspfaden in Richtung Nachhaltigkeit werden Auswirkungen auf die Verteilung innerhalb von und zwischen den Ländern haben. Die Beachtung von Gerechtigkeit sowie eine breite und bedeutsame Beteiligung aller relevanten Akteure an der Entscheidungsfindung auf allen Ebenen kann soziales Vertrauen schaffen und die Unterstützung für transformativen Wandel vertiefen und ausweiten. (*hohes Vertrauen*) {3.6, 4.2, 4.5, 5.2, 13.2, 17.3, 17.4}

D.3.1 Länder auf allen Stufen der wirtschaftlichen Entwicklung sind bestrebt, das Wohlergehen der Menschen zu verbessern, und ihre Entwicklungsprioritäten spiegeln unterschiedliche Ausgangspunkte und Kontexte wider. Zu den unterschiedlichen Kontexten gehören soziale, wirtschaftliche, ökologische, kulturelle oder politische Bedingungen, die Ausstattung mit Ressourcen, Fähigkeiten, das internationale Umfeld und die Geschichte. Die Bedingungen, die eine Umlenkung der Entwicklungspfade in Richtung von mehr Nachhaltigkeit ermöglichen, werden sich daher ebenfalls unterscheiden, was zu unterschiedlichen Bedürfnissen führt. (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2) {1.6, 1.7, 2.4, 2.6, Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4, 4.3.2, 17.4}

D.3.2 Ehrgeizige Minderungspfade bedeuten große und manchmal disruptive Veränderungen in der Wirtschaftsstruktur, was mit erheblichen Konsequenzen für die Verteilung innerhalb und zwischen den Ländern verbunden ist. Gerechtigkeit ist nach wie vor ein zentrales Element des UN-Klimaregimes, auch wenn sich die Differenzierung zwischen Staaten im Laufe der Zeit verlagert hat und es schwierig ist, gerechte Anteile zu ermitteln. Zu den Auswirkungen auf die Verteilung innerhalb und zwischen den Ländern gehören unter anderem Verlagerungen von Einkommen und Beschäftigung während des Übergangs von emissionsintensiven zu emissionsarmen Aktivitäten. Während einige Arbeitsplätze verloren gehen können, kann eine emissionsarme Entwicklung auch mehr Möglichkeiten zur Verbesserung von Fähigkeiten eröffnen und mehr dauerhafte Arbeitsplätze schaffen, wobei je nach Land und Sektor Unterschiede bestehen. Integrierte Strategiepakete können die Fähigkeit verbessern, Überlegungen zu Gleichberechtigung, Geschlechtergleichstellung und Gerechtigkeit zu integrieren. (*hohes Vertrauen*). {1.4, 1.6, 3.6, 4.2, 5.2, Box 11.1, 14.3, 15.2, 15.5, 15.6}

D.3.3 Ungleichheiten bei der Verteilung von Emissionen und den Folgen von Minderungsstrategien innerhalb von Ländern beeinträchtigen den sozialen Zusammenhalt und die Akzeptanz von Minderungs- und anderen Umweltstrategien. Gleichstellung und gerechte Systemübergänge können tiefgreifendere Ambitionen für eine beschleunigte Minderung des Klimawandels ermöglichen. Grundsätze gerechter Systemübergänge anzuwenden und sie durch kollektive und partizipatorische Entscheidungsprozesse umzusetzen ist ein wirksames Mittel, um Gleichstellungsgrundsätze auf allen Ebenen in politische Strategien zu integrieren, und zwar je nach den nationalen Gegebenheiten auf unterschiedliche Art und Weise (*mittleres Vertrauen*). Dies geschieht bereits in vielen Ländern und Regionen, da in einigen Ländern nationale Kommissionen oder Task Forces für gerechte Systemübergänge und entsprechende nationale politische Strategien aufgestellt wurden. Eine Vielzahl von Akteuren, Netzwerken und Bewegungen beteiligen sich (*hohes Vertrauen*). {1.6, 1.7, 2.4, 2.6, 4.5, 13.2, 13.9, 14.3, 14.5}

D.3.4 Wenn ein gerechter Zugang zu nationalen und internationalen Finanzmitteln, zu Technologien, die Minderung erleichtern, und zu Kapazitäten ausgeweitet wird und gleichzeitig Bedürfnisse ausdrücklich berücksichtigt werden, kann dies Gleichstellung und Gerechtigkeit weiter in nationale und internationale Strategien einbinden und als Katalysator für eine Minderungsbeschleunigung und für die Umlenkung von Entwicklungspfaden wirken (*mittleres Vertrauen*). Die Berücksichtigung von Ethik und Gleichstellung kann dazu beitragen, die ungleiche Verteilung der negativen Folgen, die mit 1,5 °C und mehr globaler Erwärmung verbunden sind, in allen Gesellschaften zu anzugehen (*hohes Vertrauen*). Die Berücksichtigung von Klimagerechtigkeit kann dazu beitragen, die Umlenkung von Entwicklungspfaden in Richtung Nachhaltigkeit zu erleichtern, unter anderem durch eine gerechte Aufteilung der Nutzen und Lasten von Minderungsmaßnahmen, was die Resilienz gegenüber den Folgen des Klimawandels insbesondere für verwundbare Länder und Gemeinschaften erhöht und diejenigen gerecht unterstützt, die es benötigen (*hohes Vertrauen*). {1.4, 1.6, 1.7, 3.6, 4.2, 4.5, Box 5.10, 13.4, 13.8, 13.9, 14.3, 14.5, 15.2, 15.5, 15.6, 16.5, 17.3, 17.4; SR1.5 SPM, AR6 WGII Kapitel 18}

E. Stärkung der Reaktion

E.1 Es gibt Optionen zur Minderung des Klimawandels, deren Umsetzung in naher Zukunft in großem Maßstab machbar[71] ist. Die Machbarkeit ist von Sektor zu Sektor und von Region zu Region unterschiedlich und hängt von den Kapazitäten sowie von der Geschwindigkeit und dem Umfang der Umsetzung ab. Machbarkeitshürden müssten abgebaut oder beseitigt und förderliche Rahmenbedingungen[72] gestärkt werden, um Optionen zur Minderung des Klimawandels in großem Maßstab einzusetzen. Zu diesen Hürden und förderlichen Rahmenbedingungen gehören geophysikalische, ökologische, technologische und wirtschaftliche Faktoren sowie insbesondere institutionelle und soziokulturelle Faktoren. Verstärkte Maßnahmen in der nahen Zukunft über die (vor der UNFCCC-COP26 angekündigten) NDC hinaus können die Herausforderungen verringern und/oder vermeiden, die hinsichtlich der langfristigen Machbarkeit von modellierten globalen Pfaden bestehen, die die Erwärmung ohne oder mit begrenzter Überschreitung auf unter 1,5 °C begrenzen (>50 %). *(hohes Vertrauen)* {3.8, 6.4, 8.5, 9.9, 10.8, 12.3, Abbildung TS.31, Annex II.IV.11}

E.1.1 Diverse Optionen zur Minderung des Klimawandels, insbesondere Solarenergie, Windenergie, die Elektrifizierung städtischer Systeme, städtische grüne Infrastruktur, Energieeffizienz, Nachfragemanagement, verbessertes Forst- und Acker-/Grünlandmanagement und die Verringerung von Lebensmittelverschwendung und -verlusten, sind technisch umsetzbar, werden zunehmend kosteneffizienter und werden im Allgemeinen von der Öffentlichkeit unterstützt. Dies ermöglicht den Einsatz in vielen Regionen (*hohes Vertrauen*). Während viele Optionen zur Minderung des Klimawandels positive Nebeneffekte für die Umwelt mit sich bringen, wie zum Beispiel eine bessere Luftqualität und die Verringerung giftiger Abfälle, haben viele, wenn sie in sehr großem Maßstab angewandt werden, zum Beispiel Bioenergie in sehr großem Maßstab oder die Nutzung von Batteriespeichern in großem Maßstab, auch negative Umweltfolgen, die bewältigt werden müssen, wie zum Beispiel eine geringere Artenvielfalt. Fast alle Optionen zur Minderung des Klimawandels stoßen auf institutionelle Hürden, die angegangen werden müssen, um ihre Anwendung in großem Maßstab zu ermöglichen (*mittleres Vertrauen*). {6.4, Abbildung 6.19, 7.4, 8.5, Abbildung 8.19, 9.9, Abbildung 9.20, 10.8, Abbildung 10.23, 12.3, Abbildung 12.4, Abbildung TS.31}

E.1.2 Die Machbarkeit von Optionen zur Minderung des Klimawandels variiert je nach Kontext und Zeit. So ist beispielsweise die institutionelle Kapazität zur Unterstützung eines Einsatzes von Land zu Land unterschiedlich, die Machbarkeit von Optionen, die großflächige Landnutzungsänderungen erfordern, variiert von Region zu Region, Raumplanung hat in frühen Phasen der Stadtentwicklung ein höheres Potenzial, das Potenzial von Geothermie ist standortspezifisch, und Kapazitäten, kulturelle und lokale Bedingungen können nachfrageseitige Maßnahmen entweder behindern oder ermöglichen. Bewertungen zeigen, dass Solar- und Windenergie mit der Zeit immer leichter einzusetzen sind. Für einige Optionen gilt, dass sich ihre Machbarkeit verbessern kann, wenn sie kombiniert oder integriert werden, wie zum Beispiel Landflächen sowohl für die Landwirtschaft als auch für zentrale Solarenergieerzeugung zu nutzen. (*hohes Vertrauen*) {6.4, 6.6, Supplementary Material Tabelle 6.SM, 7.4, 8.5, Supplementary Material Tabelle 8.SM.2, 9.9, Supplementary Material Tabelle 9.SM.1, 10.8, Appendix 10.3, 12.3, Supplementary Material Tabellen 12.SM.B.1 bis 12.SM.B.6}

E.1.3 Die Machbarkeit hängt von der Größenordnung und der Geschwindigkeit der Umsetzung ab. Die meisten Optionen stoßen auf Hürden, wenn sie schnell und in großem Maßstab umgesetzt werden, aber bei welchem Maßstab die Hürden auftreten, ist unterschiedlich. In kosteneffizienten modellierten globalen Pfaden, die die Erwärmung auf 2 °C (>67 %) oder weniger begrenzen, verringern zeitnahe verstärkte und koordinierte Maßnahmen die

[71] In diesem Bericht bezieht sich der Begriff „Machbarkeit" auf das Potenzial einer Option zur Minderung des Klimawandels oder zur Anpassung daran, umgesetzt zu werden. Faktoren, die die Machbarkeit beeinflussen, sind kontextabhängig und können sich im Laufe der Zeit ändern. Die Machbarkeit hängt von geophysikalischen, ökologischen, technologischen, wirtschaftlichen, soziokulturellen und institutionellen Faktoren ab, die die Umsetzung einer Option ermöglichen oder einschränken. Die Machbarkeit von Optionen kann sich ändern, wenn verschiedene Optionen kombiniert werden, und sie kann sich erhöhen, wenn förderliche Rahmenbedingungen gestärkt werden.

[72] In diesem Bericht bezieht sich der Begriff „förderliche Rahmenbedingungen" auf Bedingungen, die die Machbarkeit von Optionen zur Anpassung an den Klimawandel und zu seiner Minderung verbessern. Zu förderlichen Rahmenbedingungen gehören Finanzmittel, technologische Innovation, die Stärkung von Politikinstrumenten, institutionelle Kapazitäten, Governance auf vielen Ebenen sowie Verhaltens- und Lebensstiländerungen der Menschen.

Gesamtrisiken für die Machbarkeit der Systemübergänge gegenüber modellierten Pfaden mit eher verzögerten oder unkoordinierten Maßnahmen.[73] (*hohes Vertrauen*) {3.8, 6.4, 10.8, 12.3}

E.2 In allen Ländern können Minderungsanstrengungen, die in den breiteren Entwicklungskontext eingebettet sind, das Tempo, die Tiefe und den Umfang von Emissionssenkungen erhöhen (*mittleres Vertrauen*). Politische Strategien, die Entwicklungspfade in Richtung Nachhaltigkeit umlenken, können das Portfolio der verfügbaren Minderungsmaßnahmen erweitern und die Verfolgung von Synergien mit Entwicklungszielen ermöglichen (*mittleres Vertrauen*). Es können jetzt Maßnahmen ergriffen werden, um Entwicklungspfade umzulenken und systemübergreifend Minderung und Wandel zu beschleunigen (*hohes Vertrauen*). {4.3, 4.4, Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4, 5.2, 5.4, 13.9, 14.5, 15.6, 16.3, 16.4, 16.5}

E.2.1 Die derzeitigen Entwicklungspfade können auf allen Ebenen verhaltensbedingte, räumliche, wirtschaftliche und soziale Hürden für eine beschleunigte Minderung des Klimawandels schaffen (*hohes Vertrauen*). Die Entscheidungen, die in der politischen Entscheidungsfindung sowie von Bürgerinnen und Bürgern, dem Privatsektor und anderen Akteuren getroffen werden, beeinflussen die Entwicklungspfade von Gesellschaften (*hohes Vertrauen*). Maßnahmen, die zum Beispiel eine Energie- oder Landsystemwende, einen wirtschaftsweiten Strukturwandel und Verhaltensänderungen steuern, können die Entwicklungspfade in Richtung Nachhaltigkeit umlenken[74] (*mittleres Vertrauen*). {4.3, Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4, 5.4, 13.9}

E.2.2 Werden Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels mit politischen Maßnahmen zur Umlenkung von Entwicklungspfaden kombiniert, wie zum Beispiel mit breiteren sektoralen Strategien, Strategien, die Lebensstil- oder Verhaltensänderungen anregen, Finanzregulierung oder makroökonomischen Strategien, kann dies Hürden überwinden und eine größere Bandbreite von Optionen zur Minderung des Klimawandels eröffnen (*hohes Vertrauen*). Dies kann auch die Kombination von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels mit anderen Entwicklungszielen erleichtern (*hohes Vertrauen*). So können beispielsweise Maßnahmen zur Förderung fußgängerfreundlicher städtischer Gebiete in Kombination mit Elektrifizierung und erneuerbaren Energien positive Nebeneffekte für die Gesundheit durch sauberere Luft und Vorteile durch verbesserte Mobilität schaffen (*hohes Vertrauen*). Eine koordinierte Wohnungsbaupolitik, die Optionen für einen Wohnortwechsel erweitert, kann die Wirksamkeit von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels im Verkehrsbereich erhöhen (*mittleres Vertrauen*). {3.2, 4.3, 4.4, Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4, 5.3, 8.2, 8.4}

E.2.3 Institutionelle und regulatorische Kapazitäten, Innovation, Finanzmittel, verbesserte Governance und Zusammenarbeit über alle Ebenen hinweg sowie multizentrische Strategien ermöglichen eine verstärkte Minderung des Klimawandels und Umlenkungen von Entwicklungspfaden. Solche Eingriffe können sich gegenseitig verstärken und positive Rückkopplungsmechanismen schaffen, die zu beschleunigter Minderung des Klimawandels führen. (*hohes Vertrauen*) {4.4, 5.4, Abbildung 5.14, 5.6, 9.9, 13.9, 14.5, 15.6, 16.3, 16.4, 16.5, Cross-Chapter Box 12 in Kapitel 16}

E.2.4 Verstärkte Maßnahmen zu allen oben genannten förderlichen Rahmenbedingungen können jetzt ergriffen werden (*hohes Vertrauen*). In einigen Situationen, wie zum Beispiel bei technologischen Innovationen in einem frühen Entwicklungsstadium und bei einigen Verhaltensänderungen hin zu niedrigen Emissionen, können zeitnahe Maßnahmen mittelfristig zu beschleunigter Minderung des Klimawandels führen, da es Zeit braucht, bis die förderlichen Rahmenbedingungen geschaffen sind (*mittleres Vertrauen)*. In anderen Situationen können die förderliche Rahmenbedingungen in relativ kurzer Zeit geschaffen werden und zu Ergebnissen führen, zum Beispiel die Bereitstellung von energiebezogenen Informationen, Beratung und Rückmeldung, um energiesparendes Verhalten zu fördern (*hohes Vertrauen*). {4.4, 5.4, Abbildung 5.14, 5.6, 6.7, 9.9, 13.9, 14.5, 15.6, 16.3, 16.4, 16.5, Cross-

[73] Die in den modellierten Pfaden beschriebenen Herausforderungen für die künftige Machbarkeit können sich von tatsächlichen Machbarkeitserfahrungen in der Vergangenheit unterscheiden.

[74] Nachhaltigkeit kann in verschiedenen Kontexten unterschiedlich interpretiert werden, da Gesellschaften eine Vielzahl von Zielen für nachhaltige Entwicklung verfolgen.

Chapter Box 12 in Kapitel 16}

E.3 Klimagovernance, die durch Gesetze, Strategien und Institutionen auf der Grundlage nationaler Gegebenheiten agiert, unterstützt die Minderung des Klimawandels, indem sie den Rahmen schafft, in dem verschiedene Akteure interagieren, und eine Grundlage für die Entwicklung und Umsetzung von politischen Strategien bietet (*mittleres Vertrauen*). Klimagovernance ist am wirksamsten, wenn sie über mehrere Politikbereiche hinweg integriert, Synergien zu realisieren und Zielkonflikte zu minimieren hilft sowie nationale und subnationale politische Entscheidungsebenen miteinander verbindet (*hohes Vertrauen*). Eine wirksame und gerechte Klimagovernance stützt sich auf die Einbeziehung von Akteuren aus Zivilgesellschaft und Politik, von Unternehmen, der Jugend, von Arbeitnehmerinnen und -nehmern, der Medien, indigener Völker und lokaler Gemeinschaften (*mittleres Vertrauen*). {5.4, 5.6, 8.5, 9.9, 13.2, 13.7, 13.9}

E.3.1 Klimagovernance ermöglicht die Minderung des Klimawandels, indem sie eine allgemeine Richtung vorgibt, Ziele festlegt, Klimaschutz in allen Politikbereichen durchgängig berücksichtigt, die Rechtssicherheit erhöht, spezialisierte Organisationen schafft und den Rahmen für die Mobilisierung von Finanzmitteln schafft *(mittleres Vertrauen)*. Diese Funktionen können unter anderem durch klimarelevante Gesetze, deren Zahl zurzeit zunimmt, oder durch Klimastrategien gefördert werden, die auf nationalen und subnationalen Gegebenheiten aufbauen (*mittleres Vertrauen*). Rahmengesetze schaffen eine übergreifende Rechtsgrundlage, die sich je nach nationalen Gegebenheiten entweder über einen Ziel- und Umsetzungsansatz oder über einen sektoralen Mainstreaming-Ansatz auswirkt, oder beides *(mittleres Vertrauen)*. Direkte nationale und subnationale Gesetze, die ausdrücklich auf die Minderung des Klimawandels abzielen, und indirekte Gesetze, die sich über minderungsrelevante Geltungsbereiche auf die Emissionen auswirken, haben sich beide als relevant für Minderungserfolge erwiesen (*mittleres Vertrauen*). {13.2}

E.3.2 Wirksame nationale Klimainstitutionen sorgen für eine Koordinierung über verschiedene Sektoren, Maßstäbe und Akteure hinweg, schaffen zwischen verschiedenen Interessen einen Konsens für Maßnahmen und unterstützen die Festlegung von Strategien mit Informationen *(mittleres Vertrauen)*. Diese Funktionen werden häufig durch unabhängige nationale Fachgremien und hochrangige Koordinierungsgremien wahrgenommen, die über die Zuständigkeiten von einzelnen Ressorts hinausgehen. Ergänzende subnationale Institutionen passen die Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels an den lokalen Kontext an und ermöglichen Experimente, können jedoch durch Ungleichheiten sowie Ressourcen- und Kapazitätsengpässe eingeschränkt sein (*hohes Vertrauen*). Eine wirksame Governance erfordert angemessene institutionelle Kapazitäten auf allen Ebenen (*hohes Vertrauen*). {4.4, 8.5, 9.9, 11.3, 11.5, 11.6, 13.2, 13.5, 13.7, 13.9}

E.3.3 Das Ausmaß, in dem die Zivilgesellschaft, politische Akteure, Unternehmen, die Jugend, Arbeitnehmerinnen und -nehmer, die Medien, indigene Völker und lokale Gemeinschaften sich engagieren, beeinflusst die politische Unterstützung für die Minderung des Klimawandels und die letztendlich erzielten politischen Ergebnisse. Strukturelle Faktoren der nationalen Gegebenheiten und Fähigkeiten (zum Beispiel wirtschaftliche und natürliche Ausstattung, politische Systeme und kulturelle Faktoren sowie Genderaspekte) wirken sich auf die Breite und Tiefe der Klimagovernance aus. Minderungsoptionen, die mit den vorherrschenden Ideen, Werten und Überzeugungen in Einklang stehen, werden leichter angenommen und umgesetzt. Klimabezogene Gerichtsverfahren, zum Beispiel durch Regierungen, den Privatsektor, die Zivilgesellschaft und Einzelpersonen, nehmen zu – wobei die Zahl der Fälle in einigen Industrieländern hoch und in einigen Entwicklungsländern wesentlich geringer ist – und haben in einigen Fällen das Ergebnis und den Ehrgeiz von Klimagovernance beeinflusst. (*mittleres Vertrauen*) {5.2, 5.4, 5.5, 5.6, 9.9, 13.3, 13.4}

E.4 Viele regulatorische und wirtschaftliche Instrumente sind bereits erfolgreich eingesetzt worden. Die Gestaltung von Instrumenten kann dazu beitragen, Gleichstellung und andere Ziele anzugehen. Diese Instrumente könnten tiefgreifende Emissionssenkungen unterstützen und Innovationen anregen, wenn in größerem Maßstab und auf breiterer Basis eingesetzt (*hohes Vertrauen*). Politische Maßnahmenpakete, die Innovationen ermöglichen und Kapazitäten aufbauen, sind besser in der Lage, eine Umlenkung in Richtung gerechter, emissionsarmer Zukünfte zu unterstützen, als einzelne Maßnahmen (*hohes Vertrauen*). Wirtschaftsweite Pakete, die mit den nationalen Gegebenheiten in Einklang stehen, können kurzfristige wirtschaftliche Ziele erreichen und gleichzeitig die Emissionen senken und Entwicklungspfade in Richtung Nachhaltigkeit umlenken (*mittleres Vertrauen*). {Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4, 13.6, 13.7, 13.9, 16.3, 16.4, 16.6}

E.4.1 Eine große Bandbreite an regulatorischen Instrumenten auf sektoraler Ebene hat sich als wirksam für die Senkung von Emissionen erwiesen. Diese Instrumente und breit angelegte Ansätze, die auch einschlägige wirtschaftliche Instrumente[75] umfassen, ergänzen sich gegenseitig (*hohes Vertrauen*). Regulatorische Instrumente, die für eine Umsetzung mit Flexibilitätsmechanismen konzipiert sind, können die Kosten senken (*mittleres Vertrauen*). Eine Ausweitung und verstärkte Nutzung von regulatorischen Instrumenten unter Berücksichtigung der nationalen Gegebenheiten könnte in sektoralen Anwendungen Erfolge bei der Minderung des Klimawandels verbessern; dies gilt zum Beispiel aber nicht ausschließlich für erneuerbare Energien, Landnutzung und Raumordnung, Bauvorschriften, Fahrzeug- und Energieeffizienz, Kraftstoffstandards und emissionsarme Industrieprozesse und -materialien (*hohes Vertrauen*). {6.7, 7.6, 8.4, 9.9, 10.4, 11.5, 11.6, 13.6}

E.4.2 Wirtschaftliche Instrumente haben wirksam Emissionen reduziert und wurden durch regulatorische Instrumente hauptsächlich auf nationaler, aber auch auf subnationaler und regionaler Ebene ergänzt (*hohes Vertrauen*). Wo sie eingesetzt wurden, haben CO_2-Preisinstrumente Anreize für kostengünstige Emissionsminderungsmaßnahmen geschaffen, waren aber für sich genommen und bei den im betrachteten Zeitraum vorherrschenden Preisen weniger wirksam, um die kostenintensiveren Maßnahmen zu fördern, die für weitere Reduktionen erforderlich sind (*mittleres Vertrauen*). Den Auswirkungen solcher Instrumente zur CO_2-Bepreisung auf Gleichstellung und Verteilung kann unter anderem dadurch begegnet werden, dass die Einnahmen aus CO_2-Steuern oder dem Emissionshandel zur Unterstützung einkommensschwacher Haushalte verwendet werden (*hohes Vertrauen*). Praktische Erfahrungen sind in die Gestaltung der Instrumente eingeflossen und haben dazu beigetragen, Vorhersagbarkeit, ökologische Wirksamkeit, wirtschaftliche Effizienz, Verteilungsziele und soziale Akzeptanz zu verbessern (*hohes Vertrauen*). Die Abschaffung von Subventionen für fossile Brennstoffe würde die Emissionen verringern, die öffentlichen Einnahmen und die gesamtwirtschaftliche Leistung verbessern sowie weitere Vorteile für die Umwelt und die nachhaltige Entwicklung bringen. Die Abschaffung von Subventionen kann nachteilige Verteilungseffekte haben, insbesondere für die wirtschaftlich verwundbarsten Gruppen, die in einigen Fällen durch Maßnahmen wie die Umverteilung eingesparter Einnahmen gemildert werden können, wobei all dies von den nationalen Gegebenheiten abhängt (*hohes Vertrauen*). Die Abschaffung von Subventionen für fossile Brennstoffe würde laut Projektionen in verschiedenen Studien bis 2030 die globalen CO_2-Emissionen um 1 bis 4 % und die Treibhausgasemissionen um bis zu 10 % verringern, wobei die Ergebnisse je nach Region variieren (*mittleres Vertrauen*). {6.3, 13.6}

E.4.3 Emissionsarme Technologieinnovation wird durch die Kombination von gezielten Technologieschub-Maßnahmen und -Investitionen (zum Beispiel für wissenschaftliche Ausbildung, Forschung und Entwicklung, Demonstration) mit maßgeschneiderten Nachfragesog-Maßnahmen (zum Beispiel Normen, Einspeisetarife, Steuern) gestärkt, die Anreize und Marktchancen schaffen. Die Fähigkeit von Entwicklungsländern, emissionsarme Technologien einzuführen, sozioökonomische Vorteile zu nutzen und Zielkonflikte zu bewältigen würde durch eine Aufstockung der finanziellen Mittel und der Innovationskapazitäten, die derzeit in den Industrieländern konzentriert sind, sowie durch Technologietransfer verbessert. *(hohes Vertrauen)* {16.2, 16.3, 16.4, 16.5}

[75] Wirtschaftliche Instrumente sind so strukturiert, dass sie einen finanziellen Anreiz zur Emissionsreduktion bieten und umfassen unter anderem markt- und preisbasierte Instrumente.

E.4.4 Wirksame Maßnahmenpakete wären in ihrem Geltungsbereich umfassend, auf eine klare Vision für einen Wandel ausgerichtet, bezüglich unterschiedlicher Ziele ausgewogen, auf spezifische Technologie- und Systembedürfnisse abgestimmt, kohärent ausgestaltet und auf nationale Gegebenheiten zugeschnitten. Sie sind besser in der Lage, Synergien zu nutzen und Zielkonflikte zwischen Klima- und Entwicklungszielen zu vermeiden. Beispiele hierfür sind: Emissionssenkungen in Gebäuden durch eine Kombination aus Effizienzzielen, Bauvorschriften, Leistungsstandards für Haushaltsgeräte, Informationsbereitstellung, CO_2-Preisen, Finanzierung und technischer Hilfe, und Senkung der Treibhausgasemissionen in der Industrie durch Innovationsförderung, Marktschaffung und Kapazitätsaufbau. (*hohes Vertrauen*) {4.4, 6.7, 9.9, 11.6, 13.7, 13.9, 16.3, 16.4}

E.4.5 Gesamtwirtschaftliche Maßnahmenpakete, die die Minderung des Klimawandels unterstützen und schädliche Umweltfolgen vermeiden, sind unter anderem: langfristige öffentliche Ausgabenverpflichtungen, Preisreformen sowie Investitionen in Bildung und Ausbildung, Naturkapital, Forschung und Entwicklung sowie Infrastruktur (*hohes Vertrauen*). Sie können wirtschaftliche Ziele in naher Zukunft erreichen und gleichzeitig Emissionen reduzieren und Entwicklungspfade in Richtung Nachhaltigkeit umlenken (*mittleres Vertrauen*). Infrastrukturinvestitionen können so gestaltet werden, dass sie eine emissionsarme Zukunft fördern, die den Entwicklungsbedürfnissen entspricht (*mittleres Vertrauen*). {Cross-Chapter Box 5 in Kapitel 4, 5.4, 5.6, 8.5, 13.6, 13.9, 16.3, 16.5, 16.6}

E.4.6 Nationale Strategien zur Förderung der Technologieentwicklung und -verbreitung sowie die Beteiligung an internationalen Märkten für Emissionsreduktion können positive Ausstrahlungseffekte auf andere Länder mit sich bringen (*mittleres Vertrauen*), obwohl eine geringere Nachfrage nach fossilen Brennstoffen zu Kosten für Exportländer führen könnte (*hohes Vertrauen*). Es gibt keine konsistenten Belege dafür, dass die derzeitigen Emissionshandelssysteme zu einer signifikanten Verlagerung von Emissionen geführt haben, was unter anderem auf Gestaltungsmerkmale zurückgeführt werden kann, die auf die Minimierung von Wettbewerbseffekten abzielen (*mittleres Vertrauen*). {13.6, 13.7, 13.8, 16.2, 16.3, 16.4}

E.5 Die erfassten Finanzströme erreichen über alle Sektoren und Regionen hinweg nicht das benötigte Niveau, um die Ziele zur Minderung des Klimawandels zu erreichen. Die Herausforderung bei der Schließung der Lücken ist in den Entwicklungsländern als Ganzes betrachtet am größten. Steigende Finanzströme für die Minderung des Klimawandels können durch klare politische Entscheidungen sowie Signale von Regierungen und der internationalen Gemeinschaft unterstützt werden (*hohes Vertrauen*). Eine beschleunigte internationale finanzielle Zusammenarbeit ist ein entscheidender förderlicher Faktor für treibhausgasarmen und gerechten Wandel und kann Ungerechtigkeiten bezüglich des Zugangs zu Finanzmitteln und bezüglich der Kosten der Folgen des Klimawandels, und der Verwundbarkeit diesen gegenüber, adressieren (*hohes Vertrauen*). {15.2, 15.3, 15.4, 15.5, 15.6}

E.5.1 Der durchschnittliche modellierte jährliche Investitionsbedarf für 2020 bis 2030 in Szenarien, die die Erwärmung auf 2 °C oder 1,5 °C begrenzen, ist um den Faktor drei bis sechs höher als das derzeitige Niveau, und die gesamten Investitionen in die Minderung des Klimawandels (öffentlich, privat, national und international) müssten in allen Sektoren und Regionen steigen (*mittleres Vertrauen*). Die Investitionslücken für die Minderung des Klimawandels sind in allen Sektoren groß, und relativ gesehen im AFOLU-Sektor sowie in den Entwicklungsländern am größten[76] (*hohes Vertrauen*). Finanzierungs- und Investitionsbedarfe für Anpassung, für die Verringerung von Verlusten und Schäden, für allgemeine Infrastruktur, für das ordnungspolitische Umfeld und den Aufbau von Kapazitäten sowie für einen klimasensiblen Sozialschutz verschärfen die Herausforderungen für die Entwicklungsländer, Finanzmittel zu beschaffen, noch weiter (*hohes Vertrauen*). {3.2, 14.4, 15.1, 15.2, 15.3, 15.4, 15.5}

E.5.2 Angesichts der Größe des globalen Finanzsystems sind ausreichend weltweites Kapital und Liquidität vorhanden, um globale Investitionslücken zu schließen, aber es bestehen Hürden für die Umlenkung von Kapital in

[76] Bei modellierten Pfaden werden regionale Investitionen laut Projektionen dann und dort getätigt, wo sie zur Begrenzung der globalen Erwärmung am kosteneffizientesten sind. Die Modellquantifizierungen helfen bei der Ermittlung von Gebieten mit hoher Priorität für kosteneffiziente Investitionen, geben aber keine Hinweise darauf, wer die regionalen Investitionen finanzieren würde.

Klimaschutzmaßnahmen; diese bestehen sowohl innerhalb als auch außerhalb des globalen Finanzsektors sowie aufgrund des gesamtwirtschaftlichen Gegenwinds, dem sich die Entwicklungsregionen gegenübersehen. Zu den Hürden für den Einsatz kommerzieller Finanzmittel aus dem Finanzsektor selbst sowie zu den gesamtwirtschaftlichen Erwägungen gehören: eine unzureichende Bewertung der klimabezogenen Risiken und Investitionsmöglichkeiten, ein regionales Missverhältnis zwischen verfügbarem Kapital und Investitionsbedarf, Heimatneigung, der Verschuldungsgrad von Ländern, die wirtschaftliche Verwundbarkeit und begrenzte institutionelle Kapazitäten (*hohes Vertrauen*). Zu den Herausforderungen von außerhalb des Finanzsektors gehören: begrenzte lokale Kapitalmärkte; unattraktive Risiko-Rendite-Profile, insbesondere aufgrund von fehlenden oder schwachen regulatorischen Umfeldern, die mit Ambitionsniveaus vereinbar sind; begrenzte institutionelle Kapazitäten zur Gewährleistung von Schutzmaßnahmen; Standardisierung, Aggregation, Skalierbarkeit und Reproduzierbarkeit von Investitionsmöglichkeiten und Finanzierungsmodellen; und eine Reihe von Projekten, die für die kommerzielle Finanzierung ausreichend entwickelt sind. *(hohes Vertrauen)* {15.2, 15.3, 15.5, 15.6}

E.5.3 Eine beschleunigte finanzielle Unterstützung von Entwicklungsländern durch Industrieländer und andere Quellen ist ein entscheidender Faktor für die Verstärkung von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels und um Ungerechtigkeiten beim Zugang zu Finanzmitteln (einschließlich der Kosten und Bedingungen), und bezüglich der wirtschaftlichen Verwundbarkeit von Entwicklungsländern gegenüber dem Klimawandel anzugehen (*hohes Vertrauen*). Aufgestockte öffentliche Zuwendungen für die Minderungs- und Anpassungsfinanzierung in verwundbaren Regionen, insbesondere in Afrika südlich der Sahara, wären kosteneffizient und hätten eine hohe soziale Rendite im Hinblick auf den Zugang zu energetischer Grundversorgung (*hohes Vertrauen*). Optionen für einen Ausbau der Minderung des Klimawandels in Entwicklungsregionen sind unter anderem: mehr öffentliche Finanzmittel und öffentlich mobilisierte private Finanzströme aus den Industrieländern in die Entwicklungsländer im Zusammenhang mit dem Ziel von 100 Mrd. USD pro Jahr, ein verstärkter Einsatz öffentlicher Garantien, um Risiken zu verringern und private Finanzströme zu geringeren Kosten zu hebeln, die Entwicklung lokaler Kapitalmärkte sowie der Aufbau von stärkerem Vertrauen in internationale Kooperationsprozesse (*hohes Vertrauen*). Eine koordinierte Anstrengung, die Erholung nach der Pandemie nachhaltig zu gestalten, und verstärkte Finanzströme in den kommenden zehn Jahren können Klimaschutzmaßnahmen beschleunigen, auch in Entwicklungsregionen und -ländern, die mit hohen Schuldenkosten, Schuldennotstand und gesamtwirtschaftlicher Unsicherheit konfrontiert sind (*hohes Vertrauen*). {15.2, 15.3, 15.4, 15.5, 15.6, Box 15.6}

E.5.4 Klare Signale von Regierungen und der internationalen Gemeinschaft, einschließlich einer stärkeren Ausrichtung der Finanzierung und politischen Strategie im öffentlichen Sektor sowie einer stärkeren Klimafinanzierung durch den öffentlichen Sektor, verringern die Unsicherheit und die Übergangsrisiken für den privaten Sektor. Je nach nationalem Kontext können Investoren und Finanzintermediäre, Zentralbanken und Finanzaufsichtsbehörden Klimaschutz unterstützen und der systemischen Unterbewertung klimabezogener Risiken entgegenwirken, indem sie das Bewusstsein für, die Transparenz hinsichtlich und die Berücksichtigung von klimabezogenen Risiken und Investitionsmöglichkeiten erhöhen. Finanzströme können auch durch folgende Maßnahmen an den Finanzierungsbedarf angepasst werden: stärkere Unterstützung für die Technologieentwicklung, eine kontinuierliche Rolle für multilaterale und nationale Klimafonds und Entwicklungsbanken, Reduzierung der Finanzierungskosten für unterversorgte Gruppen durch Einrichtungen wie grüne Banken, die es in einigen Ländern gibt, Fonds und Mechanismen zur Risikoverteilung, wirtschaftliche Instrumente, die wirtschaftliche und soziale Gleichstellungs- und Verteilungseffekte berücksichtigen, gender-sensible Programme und Programme zur Ermächtigung von Frauen sowie verbesserter Zugang zu Finanzmitteln für lokale Gemeinschaften, indigene Völker und Kleinbäuerinnen und -bauern sowie eine stärkere öffentlich-private Zusammenarbeit. (*hohes Vertrauen*) {15.2, 15.5, 15.6}

E.6 Internationale Zusammenarbeit ist ein entscheidender förderlicher Faktor für die Verwirklichung ehrgeiziger Ziele zur Minderung des Klimawandels. Die UNFCCC, das Kyoto-Protokoll und das Übereinkommen von Paris unterstützen zunehmende nationale Ambitionen und ermutigen zur Entwicklung und Umsetzung von klimapolitischen Strategien, auch wenn weiterhin Lücken bestehen. Partnerschaften, Vereinbarungen, Institutionen und Initiativen, die auf subglobaler und sektoraler Ebene tätig sind und verschiedene Akteure einbeziehen, sind im Entstehen begriffen und sind unterschiedlich wirksam. (*hohes Vertrauen*) {8.5, 14.2, 14.3, 14.5, 14.6, 15.6, 16.5}

E.6.1 International vereinbarte Prozesse und Ziele, wie die des UNFCCC, des Kyoto-Protokolls und des Übereinkommens von Paris – einschließlich der Transparenzanforderungen für die nationale Berichterstattung über Emissionen, Maßnahmen und Unterstützung sowie der Verfolgung des Fortschritts bei der Erreichung der national festgelegten Beiträge (*Nationally Determined Contributions,* NDC) – fördern die internationale Zusammenarbeit, den nationalen Ehrgeiz und die Entwicklung von politischen Strategien. Eine internationale finanzielle, technologische und kapazitätsbildende Unterstützung für Entwicklungsländer wird im Laufe der Zeit eine bessere Umsetzung ermöglichen und zu ehrgeizigen NDC ermutigen. (*mittleres Vertrauen*) {14.3}

E.6.2 Internationale Zusammenarbeit bezüglich Technologieentwicklung und -transfer in Verbindung mit dem Aufbau von Kapazitäten, dem Wissensaustausch sowie technischer und finanzieller Unterstützung kann die globale Verbreitung von Technologien, Praktiken und Strategien zur Minderung des Klimawandels auf nationaler und subnationaler Ebene beschleunigen und diese mit anderen Entwicklungszielen in Einklang bringen (*hohes Vertrauen*). Für die Stärkung der Innovationszusammenarbeit bestehen Herausforderungen und Gelegenheiten, laut der bewerteten Literatur unter anderem bei der Umsetzung von Elementen des UNFCCC und des Übereinkommens von Paris, zum Beispiel in Bezug auf Technologieentwicklung und -transfer oder Finanzierung (*hohes Vertrauen*). Die internationale Zusammenarbeit im Bereich Innovation funktioniert am besten, wenn sie auf die spezifischen Gegebenheiten bezüglich Institutionen und Fähigkeiten zugeschnitten ist, wenn sie lokalen Wertschöpfungsketten zugutekommt, wenn die Partner gleichberechtigt und zu freiwilligen und einvernehmlich vereinbarten Bedingungen zusammenarbeiten, wenn alle relevanten Stimmen gehört werden und wenn der Aufbau von Kapazitäten ein integraler Bestandteil der Bemühungen ist (*mittleres Vertrauen*). Unterstützung zur Stärkung technologischer Innovationssysteme und -kapazitäten, auch durch finanzielle Unterstützung in Entwicklungsländern, würde das Engagement in der internationalen Zusammenarbeit bezüglich Innovation erhöhen und diese verbessern (*hohes Vertrauen*). {4.4, 14.2, 14.4, 16.3, 16.5, 16.6}

E.6.3 Transnationale Partnerschaften können die Entwicklung politischer Strategien, die Verbreitung emissionsarmer Technologien und Emissionsreduktionen fördern, indem sie subnationale und andere Akteure, darunter Städte, Regionen, Nichtregierungsorganisationen und privatwirtschaftliche Einrichtungen, miteinander verbinden, und indem sie die Interaktion zwischen staatlichen und nichtstaatlichen Akteuren verstärken. Obwohl dieses Potenzial transnationaler Partnerschaften offensichtlich ist, bestehen weiterhin Unsicherheiten hinsichtlich ihrer Kosten, der Machbarkeit und der Wirksamkeit. Transnationale Netzwerke von Stadtverwaltungen führen zu größerem Ehrgeiz und verstärkter Strategieentwicklung sowie zu einem wachsenden Austausch von Erfahrungen und bewährten Verfahren (*mittleres Vertrauen*). {8.5, 11.6, 14.5, 16.5, Cross-Chapter Box 12 in Kapitel 16}

E.6.4 Internationale Umweltabkommen und sektorale Vereinbarungen, Institutionen und Initiativen tragen dazu bei beziehungsweise können in einigen Fällen dazu beitragen, Investitionen in niedrige Treibhausgasemissionen zu fördern und Emissionen zu reduzieren. Abkommen, die sich mit dem Ozonabbau und grenzüberschreitender Luftverschmutzung befassen, tragen zur Minderung des Klimawandels bei, und in anderen Bereichen, wie zum Beispiel bei Quecksilberemissionen in die Atmosphäre, können sie einen Beitrag dazu leisten (*hohes Vertrauen)*. Handelsregeln haben das Potenzial, die internationale Einführung von Technologien und Strategien zur Minderung des Klimawandels zu fördern, können aber auch die Fähigkeit von Ländern einschränken, handelsbezogene Klimastrategien zu verfolgen (*mittleres Vertrauen*). Das derzeitige Ambitionsniveau ist von Sektor zu Sektor unterschiedlich, wobei die Bestrebungen zur Emissionsreduktion im internationalen Luft- und Schiffsverkehr geringer sind als in vielen anderen Sektoren (*mittleres Vertrauen*). {14.5, 14.6}