

Klimaänderung 2014

Synthesebericht

Zusammenfassung

für politische

Entscheidungsträger

Einführung

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

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

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

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

SPM 1. Beobachtete Änderungen und deren Ursachen

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

SPM 1.1 Beobachtete Änderungen im Klimasystem

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

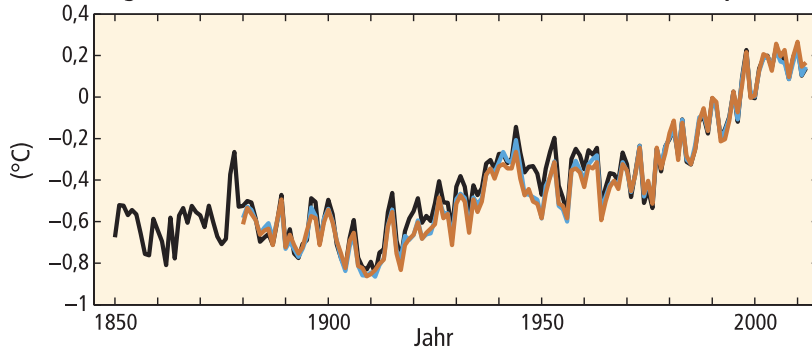
Jedes der letzten drei Jahrzehnte war an der Erdoberfläche sukzessive wärmer als alle vorangegangenen Jahrzehnte seit 1850. Der Zeitraum von 1983 bis 2012 war *wahrscheinlich* die wärmste 30-Jahres-Periode der letzten 1400 Jahre auf der Nordhalbkugel, wo eine solche Bewertung möglich ist (*mittleres Vertrauen*). Die global gemittelten kombinierten Land- und Ozean-Oberflächentemperaturdaten, berechnet als linearer Trend, zeigen eine Erwärmung von 0,85 [0,65 bis 1,06] °C² über den Zeitraum 1880 bis 2012, für den mehrere unabhängig erstellte Datensätze vorliegen (Abbildung SPM.1a). {1.1.1, Abbildung 1.1}

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

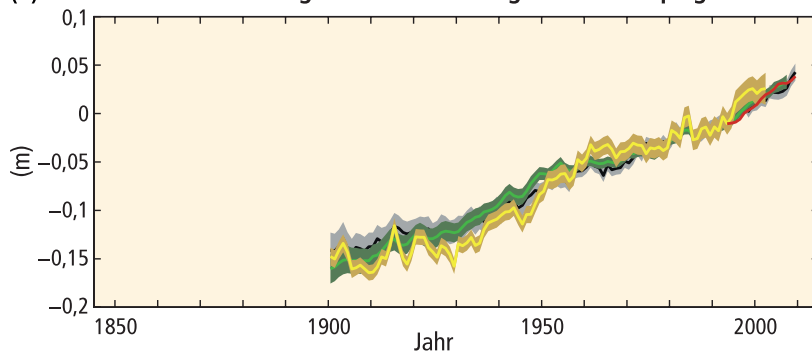
¹ Jede Aussage beruht auf einer Bewertung der zugrunde liegenden Belege und deren Übereinstimmung. In vielen Fällen ist durch die Synthese von Belegen und Übereinstimmung die Zuordnung eines Vertrauensgrads möglich. Die zusammenfassenden Ausdrücke für Belege lauten: begrenzt, mittelstark bzw. belastbar.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

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

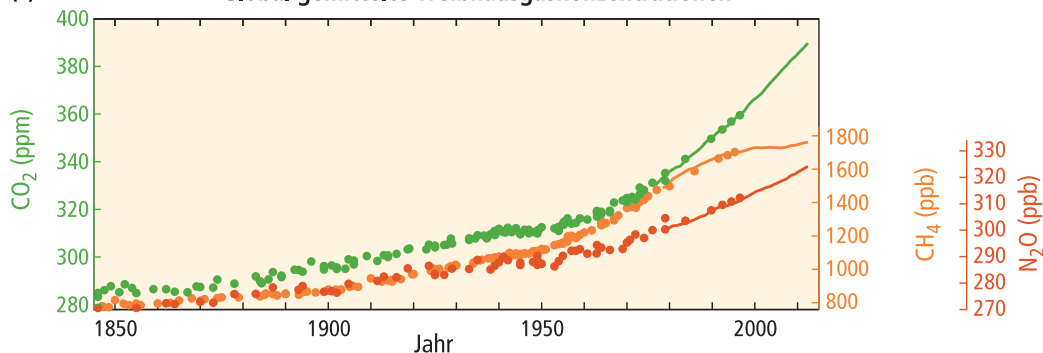
(a) Global gemittelte kombinierte Land- und Ozeanoberflächentemperatur-Anomalie



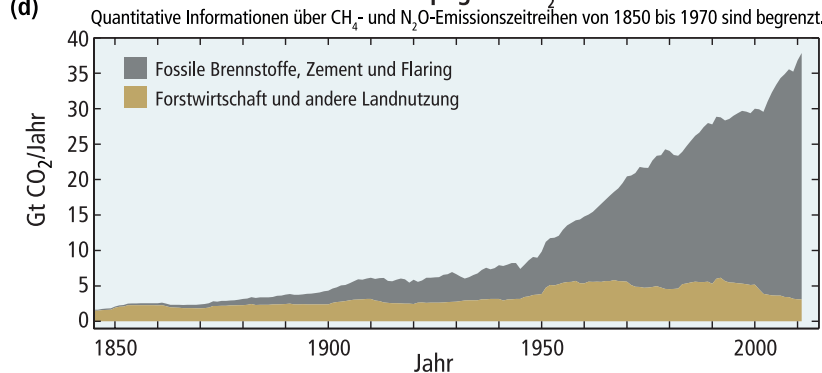
(b) Global gemittelte Änderung des Meeresspiegels



(c) Global gemittelte Treibhausgaskonzentrationen



(d) Globale anthropogene CO₂-Emissionen



Kumulative CO₂-Emissionen

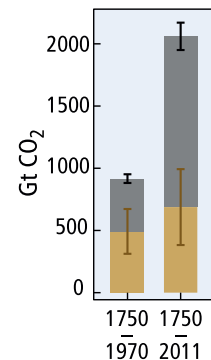


Abbildung SPM.1 | Die komplexe Beziehung zwischen den Beobachtungen (Tafeln a, b, c, gelber Hintergrund) und den Emissionen (Tafel d, hellblauer Hintergrund) wird in Abschnitt 1.2 und Thema 1 behandelt. Beobachtungen und sonstige Indikatoren eines sich ändernden globalen Klimasystems. Beobachtungen: (a) Jährlich und global gemittelte kombinierte Land- und Meeresoberflächentemperatur-Anomalien, bezogen auf das Mittel des Zeitraums 1986 bis 2005. Die Farben geben unterschiedliche Datensätze an. (b) Jährlich und global gemittelte Meeresspiegelveränderung gegenüber dem Mittel des Zeitraums 1986 bis 2005 im längsten fortlaufenden Datensatz. Die Farben geben unterschiedliche Datensätze an. Alle Datensätze wurden so angeordnet, dass sie den gleichen Wert für 1993 aufweisen, dem ersten Jahr mit Satelliten-Höhenmessdaten (rot). Sofern bewertet, sind Unsicherheiten farbig schattiert dargestellt. (c) Atmosphärische Konzentrationen der Treibhausgase Kohlendioxid (CO₂, grün), Methan (CH₄, orange) und Lachgas (N₂O, rot), ermittelt aus Eisbohrkern Daten (Punkte) und aus direkten atmosphärischen Messungen (Linien). Indikatoren: (d) Globale anthropogene CO₂-Emissionen aus Forstwirtschaft und anderer Landnutzung sowie aus der Nutzung fossiler Brennstoffe, Zementproduktion und Flaring. Kumulative Emissionen von CO₂ aus diesen Quellen und deren Unsicherheiten sind als Balken bzw. Antenne auf der rechten Seite dargestellt. Die globalen Effekte der Anreicherung von CH₄ und N₂O-Emissionen sind in Tafel c angegeben. Treibhausgasemissionsdaten von 1970 bis 2010 sind in Abbildung SPM.2 aufgeführt. [Abbildungen 1.1, 1.3, 1.5]

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

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

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

Seit Beginn der industriellen Zeit hat die Aufnahme von CO₂ durch den Ozean zu einer Versauerung des Ozeans geführt; der pH-Wert des Meeresoberflächenwassers hat um 0,1 abgenommen (*hohes Vertrauen*). Dies entspricht einem Anstieg des Säuregehalts, gemessen als Wasserstoffionen-Konzentration, um 26 %. {1.1.2}

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

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

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

SPM 1.2 Ursachen des Klimawandels

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

Die anthropogenen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) seit vorindustrieller Zeit haben zu hohen Anstiegen der atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) geführt (Abbildung SPM.1c). Zwi-

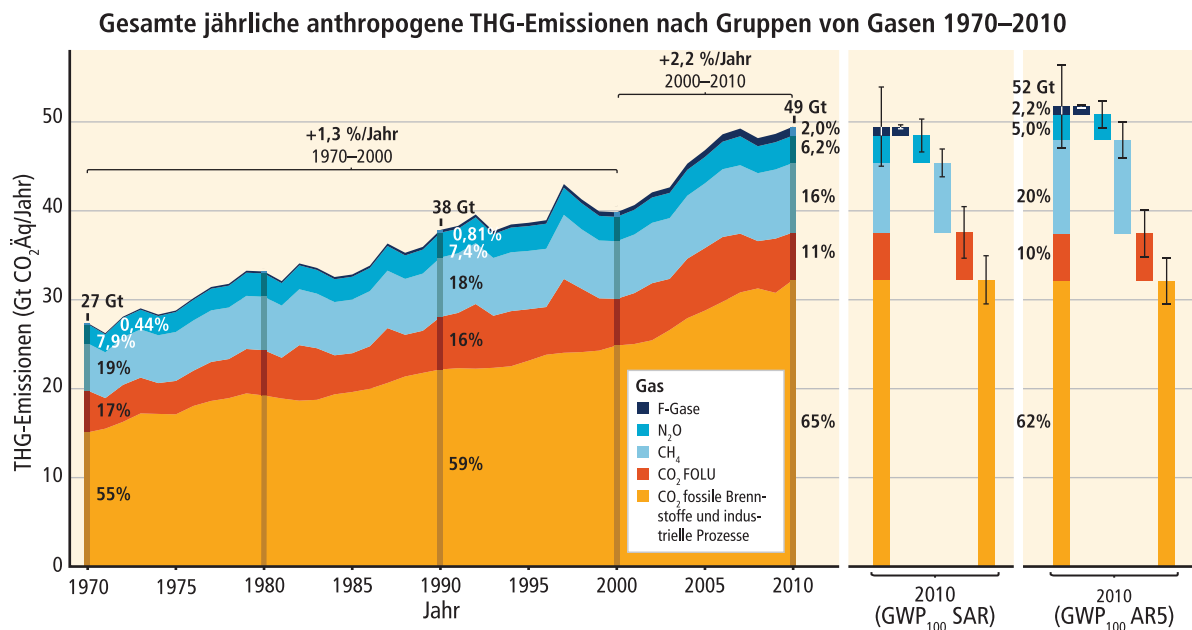


Abbildung SPM.2 | Gesamte jährliche anthropogene Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) (Gigatonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr, Gt CO₂-Äq/Jahr) für den Zeitraum 1970 bis 2010 aufgeschlüsselt nach Gasen: CO₂ aus der Nutzung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen; CO₂ aus Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (FOLU); Methan (CH₄); Lachgas (N₂O); im Kyoto-Protokoll erfasste fluorierte Gase (F-Gase). Die rechte Seite zeigt die Emissionen im Jahr 2010, unter Verwendung alternativer Gewichtungen für die CO₂-Äquivalente-Emissionen, basierend auf Werten aus dem Zweiten Sachstandsbericht (SAR) und den AR5-Werten. Soweit nicht anders angegeben, beinhalten CO₂-Äquivalente-Emissionen in diesem Bericht die Gruppe der Kyoto-Gase (CO₂, CH₄, N₂O sowie F-Gase), berechnet auf der Grundlage von Werten des Globalen Erwärmungspotenzials bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren (Global Warming Potential - GWP₁₀₀) aus dem SAR (siehe Glossar). Die Verwendung der aktuellsten GWP₁₀₀-Werte aus dem AR5 (rechte Balken) würde durch den gestiegenen Beitrag von Methan zwar zu höheren jährlichen Gesamt-THG-Emissionen führen (52 Gt CO₂-Äq/Jahr), ändert den langfristigen Trend jedoch nicht signifikant. {Abbildung 1.6, Box 3.2}

schen 1750 und 2011 beliefen sich die kumulativen anthropogenen CO₂-Emissionen, die in die Atmosphäre abgegeben wurden, auf 2.040 ± 310 Gt CO₂. Etwa 40 % dieser Emissionen sind in der Atmosphäre verblieben (880 ± 35 Gt CO₂), der Rest wurde der Atmosphäre entzogen und an Land (in Pflanzen und Böden) sowie im Ozean gespeichert. Der Ozean hat etwa 30 % des ausgestoßenen anthropogenen CO₂ aufgenommen, was eine Versauerung der Ozeane verursacht hat. Etwa die Hälfte der anthropogenen CO₂-Emissionen zwischen 1750 und 2011 erfolgte in den letzten 40 Jahren (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.1d). {1.2.1, 1.2.2}

Die gesamten anthropogenen THG-Emissionen sind von 1970 bis 2010 weiter gestiegen, mit höheren absoluten Anstiegen zwischen 2000 und 2010, trotz einer wachsenden Anzahl von Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels. Im Jahr 2010 haben die anthropogenen THG-Emissionen einen Wert von $49 \pm 4,5$ Gt CO₂-Äq pro Jahr³ erreicht. Der Beitrag von CO₂ aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und industriellen Prozessen zum gesamten Anstieg der THG-Emissionen betrug zwischen 1970 und 2010 ca. 78 %; für den Zeitraum 2000 bis 2010 war der prozentuale Beitrag zum Anstieg ähnlich (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.2). Auf globaler Ebene waren weiterhin Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum die wichtigsten Treiber für den Anstieg von CO₂-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe. Der Beitrag des Bevölkerungswachstums zwischen 2000 und 2010 entsprach ungefähr dem der vorangegangenen drei Jahrzehnte, während der Beitrag des Wirtschaftswachstums stark gestiegen ist. Die gestiegene Nutzung von Kohle hat den langanhaltenden Trend einer allmählichen Dekarbonisierung (d.h. Verringerung der Kohlenstoffintensität von Energie) der weltweiten Energieversorgung umgekehrt (*hohes Vertrauen*). {1.2.2}

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

³ Treibhausgasemissionen werden als CO₂-Äquivalente (Gt CO₂-Äq) Emissionen quantifiziert, wobei die Gewichtungen auf Werten des Globalen Erwärmungspotenzials bezogen auf einen Zeithorizont von 100 Jahren aus dem Zweiten Sachstandsbericht des IPCC basieren, sofern nicht anders angegeben. {Box 3.2}

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

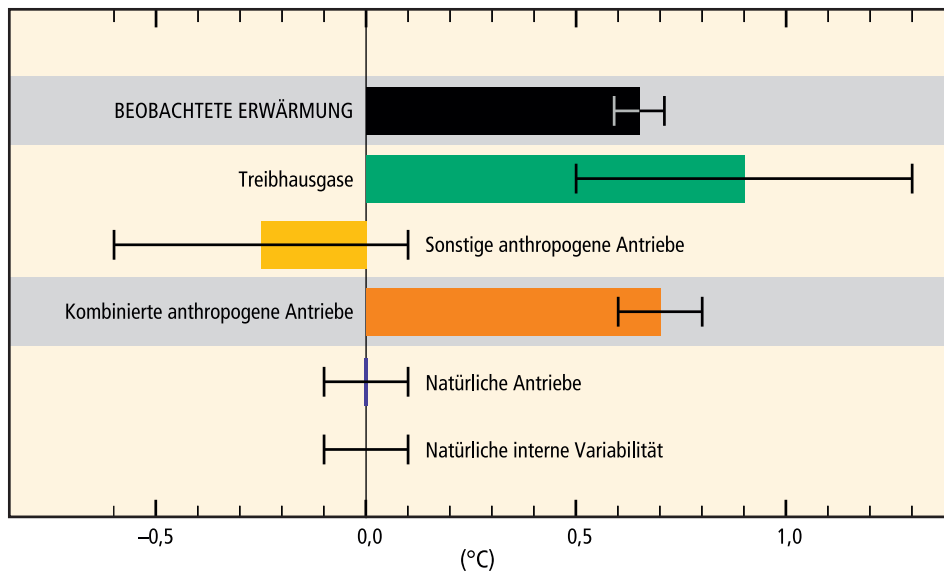


Abbildung SPM.3 | Abgeschätzte *wahrscheinliche* Bandbreiten (durch Antennen gekennzeichnet) und deren Mittelpunkte (Balken) für Erwärmungstrends über den Zeitraum 1951–2010 durch gut durchmischte Treibhausgase, sonstige anthropogene Antriebe (darunter der Abkühlungseffekt durch Aerosole und die Auswirkungen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

Ausnahme der Antarktis haben anthropogene Antriebe *wahrscheinlich* wesentlich zum Anstieg der Oberflächentemperatur seit Mitte des 20. Jahrhunderts beigetragen⁴. Anthropogene Einflüsse haben *wahrscheinlich* den globalen Wasserkreislauf seit 1960 beeinflusst und zu einem Rückzug der Gletscher seit den 1960er Jahren und zum zunehmenden Schmelzen der Oberfläche des Grönland-Eisschildes seit 1993 beigetragen. Anthropogene Einflüsse haben *sehr wahrscheinlich* zu einem Rückgang des arktischen Meereises seit 1979 beigetragen und *sehr wahrscheinlich* wesentlich zum seit den 1970er Jahren beobachteten Anstieg des Wärmegehalts des oberen Ozeans (0–700 m) und des mittleren globalen Meeresspiegels beigetragen. {1.3, Abbildung 1.10}

SPM 1.3 Folgen des Klimawandels

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

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

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

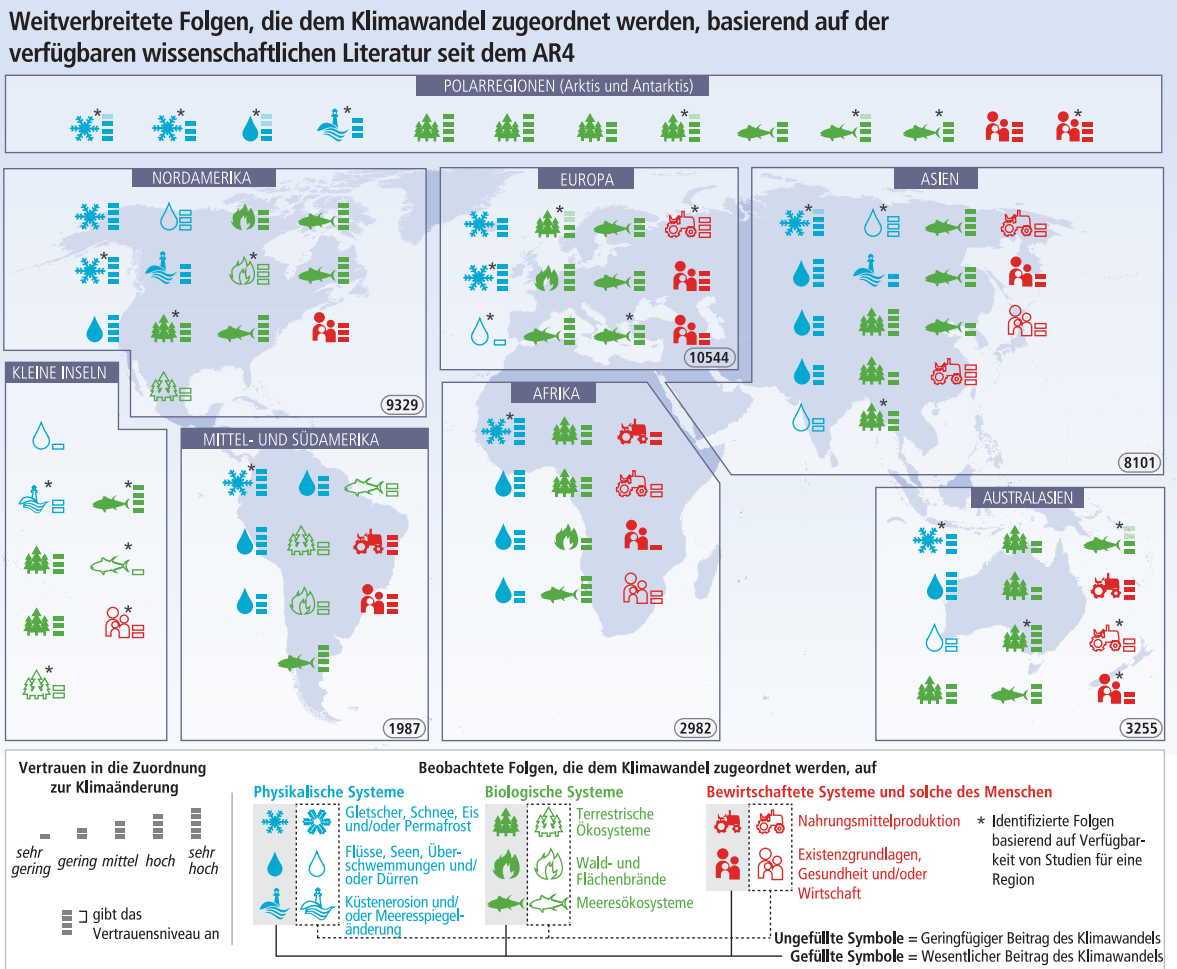


Abbildung SPM.4 | Ausgehend von der seit dem Vierten Sachstandsbericht des IPCC (AR4) verfügbaren wissenschaftlichen Literatur wurden wesentlich mehr Folgen der jüngsten Jahrzehnte nun dem Klimawandel zugeordnet. Eine Zuordnung erfordert definierte wissenschaftliche Belege für die Rolle des Klimawandels.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

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

SPM 1.4 Extremereignisse

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

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

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

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

SPM 2. Zukünftige Klimaänderungen, Risiken und Folgen

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

SPM 2.1 Haupttreiber des zukünftigen Klimas

Die kumulativen CO₂-Emissionen bestimmen weitgehend die mittlere globale Erwärmung der Erdoberfläche bis zum späten 21. Jahrhundert und darüber hinaus. Projektionen von Treibhausgasemissionen unterscheiden sich erheblich, abhängig sowohl von sozioökonomischer Entwicklung als auch von Klimapolitik. {2.1}

Anthropogene THG-Emissionen werden hauptsächlich durch Bevölkerungsgröße, wirtschaftliche Aktivität, Lebensstil, Energienutzung, Landnutzungsmustern, Technologie und Klimapolitik bestimmt. Die Repräsentativen Konzentrationspfade (RCP), die für auf diesen Faktoren beruhende Projektionen genutzt werden, beschreiben vier unterschiedliche Pfade von THG-Emissionen und atmosphärischen Konzentrationen, Luftschadstoffemissionen und Landnutzung im 21. Jahrhundert. Die RCP beinhalten ein stringentes Minderungsszenario (RCP2.6), zwei dazwischenliegende Szenarien (RCP4.5 und RCP6.0) sowie ein Szenario mit sehr hohen THG-Emissionen (RCP8.5). Szenarien ohne zusätzliche Bemühungen, Emissionen zu beschränken („Basisszenarien“) führen zu Pfaden, die zwischen RCP6.0 und RCP8.5 liegen (Abbildung SPM.5a). RCP2.6 ist charakteristisch für ein Szenario, das darauf gerichtet ist, die globale Erwärmung *wahrscheinlich* unter 2 °C über der vorindustriellen Temperatur zu halten. Die RCP stehen im Einklang mit dem umfangreichen Spektrum von in der Literatur beschriebenen Szenarien, das von Arbeitsgruppe III bewertet wurde⁵. {2.1, Box 2.2, 4.3}

Mehrere Belegketten zeigen eine starke, konsistente, fast lineare Beziehung zwischen kumulativen CO₂-Emissionen und der projizierten globalen Temperaturveränderung bis zum Jahr 2100, sowohl in den RCP als auch in dem umfassenderen Spektrum von Minderungsszenarien, der in WGIII analysiert wurde (Abbildung SPM.5b). Jedes vorgegebene Erwärmungsniveau

⁵ Ungefähr 300 Basisszenarien und 900 Minderungsszenarien werden anhand der CO₂-Äquivalent-Konzentration (CO₂Äq) um 2100 kategorisiert. CO₂Äq beinhaltet den Antrieb aufgrund aller THGs (einschließlich halogenierter Gase und troposphärischen Ozons), Aerosole und Albedoveränderungen.

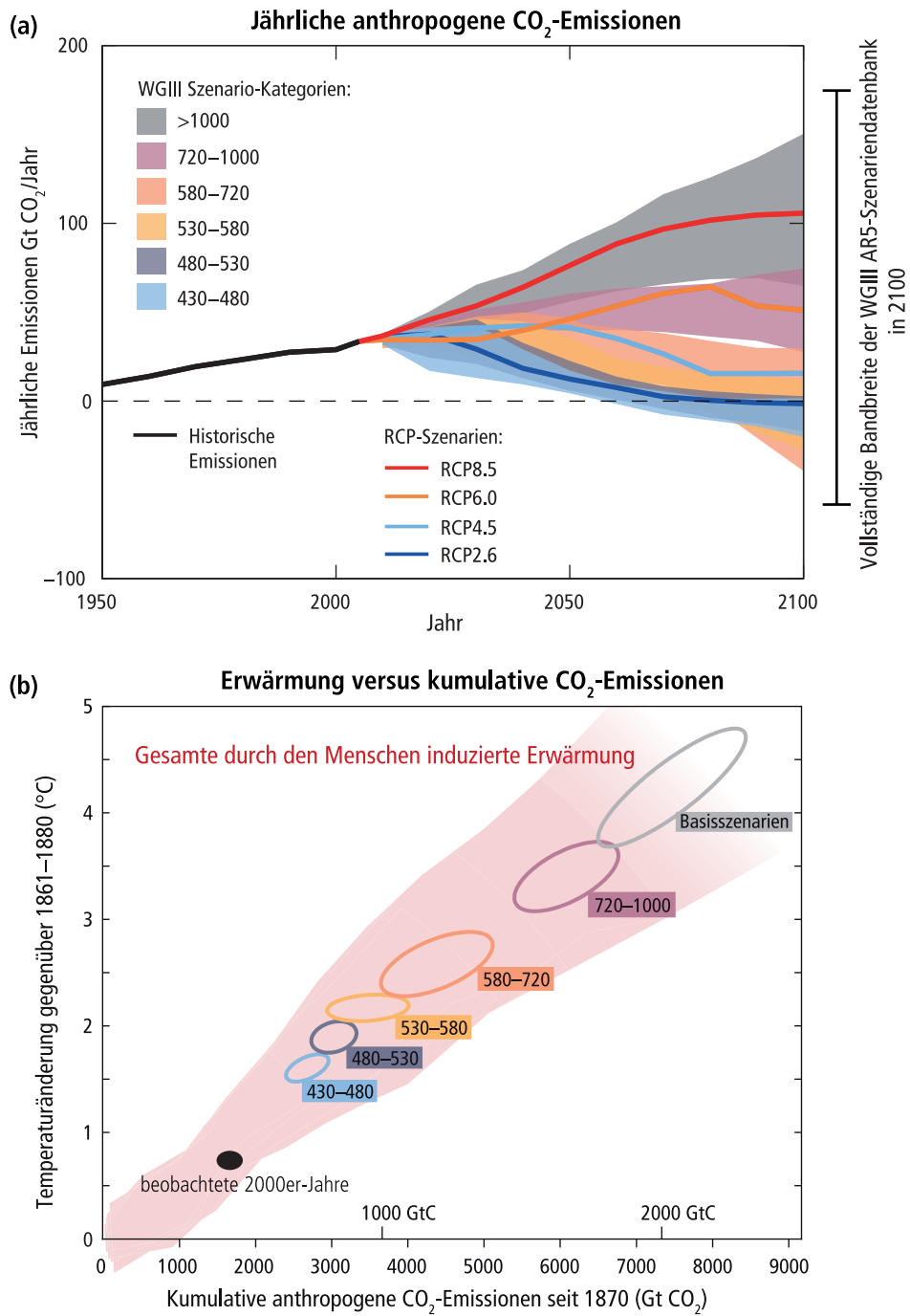


Abbildung SPM.5 | (a) Emissionen von CO₂ allein in den Repräsentativen Konzentrationspfaden (RCP) (Linien) und die entsprechenden in WGIII verwendeten Szenariokategorien (farbige Flächen zeigen den 5 %- bis 95 %-Bereich). Die WGIII Szenariokategorien fassen die in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlichte Vielzahl von Emissionsszenarien zusammen und sind auf der Grundlage der CO₂-Äq Konzentrationsniveaus (in ppm) im Jahr 2100 definiert. Die Zeitreihen anderer Treibhausgasemissionen sind in Box 2.2, Abbildung 1 dargestellt. (b) Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur zum Zeitpunkt, zu dem die globalen CO₂-Emissionen eine vorgegebene kumulative Nettomenge erreichen, dargestellt als Funktion dieser Gesamtmenge, aus verschiedenen Belegketten. Die farbige Fläche gibt den Streubereich vergangener und zukünftiger Projektionen an, die von einer Hierarchie von Klima-Kohlenstoffkreislauf-Modellen stammen, die von historischen Emissionen sowie den vier RCP über alle Zeiträume bis 2100 angetrieben wurden. Der Streubereich verblasst mit abnehmender Anzahl an verfügbaren Modellen. Ellipsen zeigen die gesamte anthropogene Erwärmung in 2100 gegen kumulative CO₂-Emissionen von 1870 bis 2100 aus einem einfachen Klimamodell (Median der Klimareaktion) für die in WGIII verwendeten Szenariokategorien. Die Breite der Ellipsen hinsichtlich der Temperatur ist durch die Auswirkung unterschiedlicher Nicht-CO₂-Klimatreiber-Szenarien bestimmt. Die schwarz ausgefüllte Ellipse zeigt die beobachteten Emissionen bis 2005 und beobachtete Temperaturen im Jahrzehnt 2000–2009 mit den damit verbundenen Unsicherheiten. [Box 2.2, Abbildung 1; Abbildung 2.3]

ist verbunden mit einer Bandbreite kumulativer CO₂-Emissionen⁶ und daher bedeuten z. B. höhere Emissionen in früheren Jahrzehnten niedrigere Emissionen später. {2.2.5, Tabelle 2.2}

Multimodell-Ergebnisse zeigen, dass eine Begrenzung der gesamten durch den Menschen induzierten Erwärmung auf weniger als 2 °C gegenüber dem Zeitraum 1861–1880 mit einer Wahrscheinlichkeit von > 66 %⁷ voraussetzen würde, dass die kumulativen CO₂-Emissionen aus allen anthropogenen Quellen seit 1870 unterhalb von etwa 2900 Gt CO₂ bleiben (mit einer Bandbreite von 2550 bis 3150 Gt CO₂, abhängig von den Nicht-CO₂-Treibern). Bis 2011 wurden bereits etwa 1900 Gt CO₂⁸ ausgestoßen. Zu weiteren Zusammenhängen siehe Tabelle 2.2. {2.2.5}

SPM 2.2 Projizierte Änderungen im Klimasystem

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

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

Das zukünftige Klima wird sowohl von der unabwendbaren Erwärmung abhängen, die durch vergangene anthropogene Emissionen verursacht wird, als auch von zukünftigen anthropogenen Emissionen und natürlicher Klimavariabilität. Die Veränderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur für den Zeitraum 2016–2035 verglichen mit 1986–2005 ist in den vier RCP ähnlich und wird *wahrscheinlich* im Bereich von 0,3 °C bis 0,7 °C liegen (*mittleres Vertrauen*). Dies setzt voraus, dass keine größeren Vulkanausbrüche oder Veränderungen in einigen natürlichen Quellen (z.B. CH₄ und N₂O) auftreten, oder unerwartete Veränderungen in der globalen Sonneneinstrahlung. Zur Mitte des 21. Jahrhunderts wird das Ausmaß der projizierten Klimaänderung wesentlich von der Wahl des Emissionsszenarios beeinflusst. {2.2.1, Tabelle 2.1}

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

Es ist *wahrscheinlich*, dass der Anstieg der mittleren globalen Oberflächentemperatur zum Ende des 21. Jahrhunderts (2081–2100) gegenüber 1986–2005 für RCP2.6 im Bereich 0,3 °C bis 1,7 °C liegen wird, sowie im Bereich 1,1 °C bis 2,6 °C für RCP4.5, im Bereich 1,4 °C bis 3,1 °C für RCP6.0 und im Bereich 2,6 °C bis 4,8 °C für RCP8.5⁹. Das Gebiet der Arktis wird sich weiterhin schneller erwärmen als das globale Mittel (Abbildung SPM.6a, Abbildung SPM.7a). {2.2.1, Abbildung 2.1, Abbildung 2.2, Tabelle 2.1}

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

⁶ Eine Quantifizierung dieser Bandbreite an CO₂-Emissionen erfordert die Berücksichtigung von Nicht-CO₂-Treibern.

⁷ Entsprechende Zahlen für eine Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C mit einer Wahrscheinlichkeit von > 50 % und > 33 % sind 3000 Gt CO₂ (Bandbreite von 2900 bis 3200 Gt CO₂) bzw. 3300 Gt CO₂ (Bandbreite von 2950 bis 3800 Gt CO₂). Höhere bzw. niedrigere Temperaturgrenzen würden entsprechend höhere beziehungsweise niedrigere kumulative Emissionen implizieren.

⁸ Dies entspricht etwa zwei Dritteln von 2900 Gt CO₂, welche die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von > 66 % auf weniger als 2 °C begrenzen würden, etwa 63 % der Gesamtmenge von 3000 Gt CO₂, welche die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von > 50 % auf weniger als 2 °C begrenzen würden und etwa 58 % der Gesamtmenge von 3300 Gt CO₂, welche die Erwärmung mit einer Wahrscheinlichkeit von > 33 % auf weniger als 2 °C begrenzen würde.

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

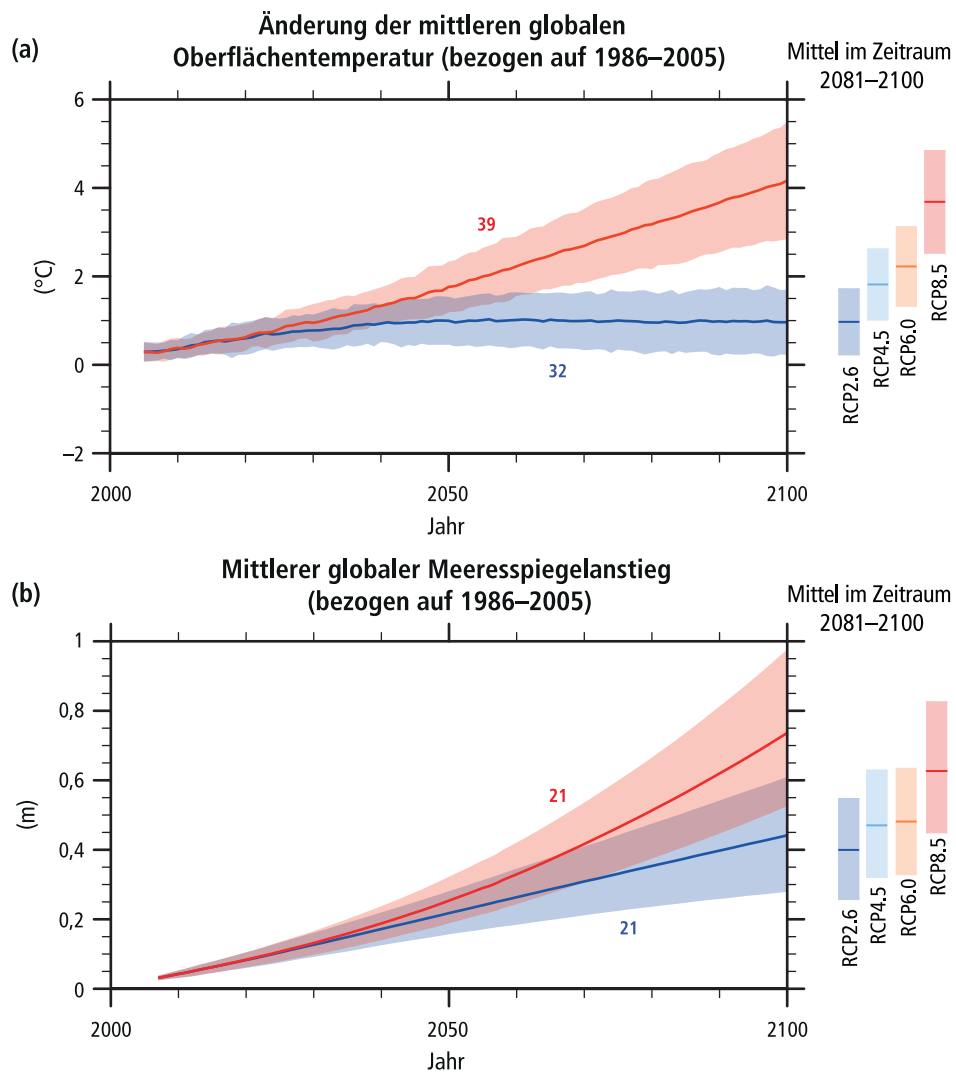


Abbildung SPM.6 | Änderung der mittleren globalen Oberflächentemperatur **(a)** und mittlerer globaler Meeresspiegelanstieg¹⁰ **(b)** von 2006 bis 2100, wie durch Multimodell-Simulationen ermittelt. Alle Änderungen sind bezogen auf den Zeitraum 1986–2005. Die Zeitreihen der Projektionen und ein Maß für die Unsicherheit (Schattierung) sind für die Szenarien RCP2.6 (blau) und RCP8.5 (rot) dargestellt. Die über 2081–2100 gemittelten Mittel und dazugehörige Unsicherheiten sind für alle RCP-Szenarien als farbige senkrechte Balken auf der rechten Seite beider Grafiken dargestellt. Die Anzahl der für die Berechnung des Multimodell-Mittels verwendeten Modelle aus dem Gekoppelten Modellvergleichsprojekt Phase 5 (CMIP5) ist angegeben. {Box 2.2, Abbildung 2.1}

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

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

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

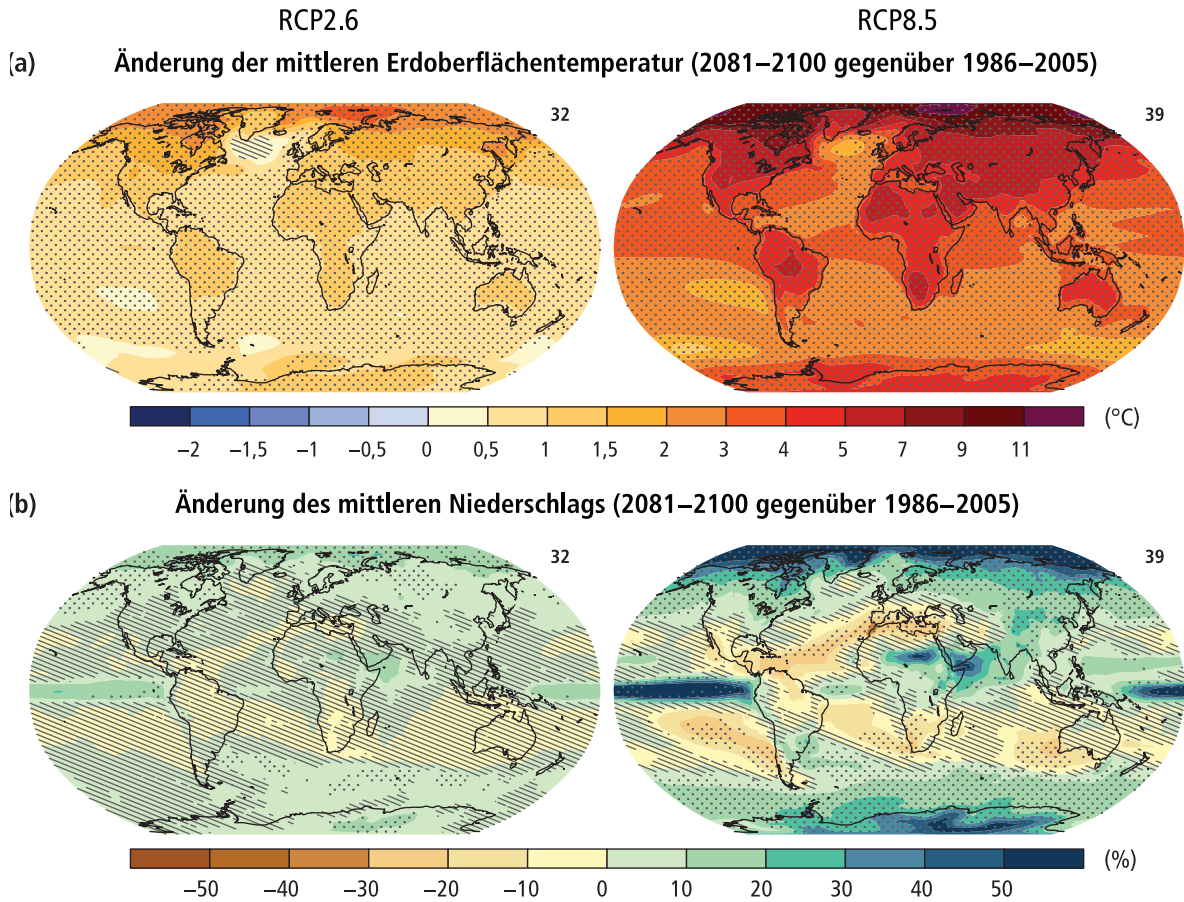


Abbildung SPM.7 | Änderung der mittleren Erdoberflächentemperatur (a) und Änderung des mittleren Niederschlags (b), basierend auf Multimodell-Mittel-Projektionen für 2081–2100 gegenüber 1986–2005 für die Szenarien RCP2.6 (links) und RCP8.5 (rechts). Die Anzahl von Modellen, die zur Berechnung des Multimodell-Mittels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

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

Ganzjährige Reduktionen des arktischen Meereises werden für alle RCP-Szenarien projiziert. Ein nahezu eisfreier¹¹ Arktischer Ozean während des sommerlichen Minimums des Meereises im September ist beim RCP8.5¹² vor der Jahrhundertmitte *wahrscheinlich* (mittleres Vertrauen). {2.2.3, Abbildung 2.1}

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

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

¹¹ Wenn die Ausdehnung des Meereises für mindestens fünf aufeinanderfolgende Jahre weniger als eine Million km² beträgt.

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

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

SPM 2.3 Zukünftige Risiken und Folgen aufgrund eines sich ändernden Klimas

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

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

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

Es wird projiziert, dass der Klimawandel die Ernährungssicherheit untergräbt (Abbildung SPM.9). Eine globale Neuverteilung der marinen Arten und ein Rückgang der meeresbiologischen Vielfalt in sensiblen Regionen aufgrund des bis zur Mitte des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus projizierten Klimawandels wird eine Herausforderung für die anhaltende Sicherung der Fischereiproduktivität und anderer Ökosystemdienstleistungen darstellen (*hohes Vertrauen*). Für Weizen, Reis und Mais in tropischen und gemäßigten Regionen wird projiziert, dass der Klimawandel ohne Anpassung sich bei einem Anstieg der lokalen Temperaturen von 2 °C oder mehr über das Niveau des ausgehenden 20. Jahrhunderts negativ auf die Produktion auswirken wird, auch wenn einzelne Standorte profitieren könnten (*mittleres Vertrauen*). Globale Temperaturanstiege von ~4 °C oder mehr¹³ über das Niveau des späten 20. Jahrhunderts, kombiniert mit steigendem Nahrungsmittelbedarf, würden global hohe Risiken für die Ernährungssicherung aufwerfen (*hohes Vertrauen*). Projektionen zeigen, dass der Klimawandel die

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

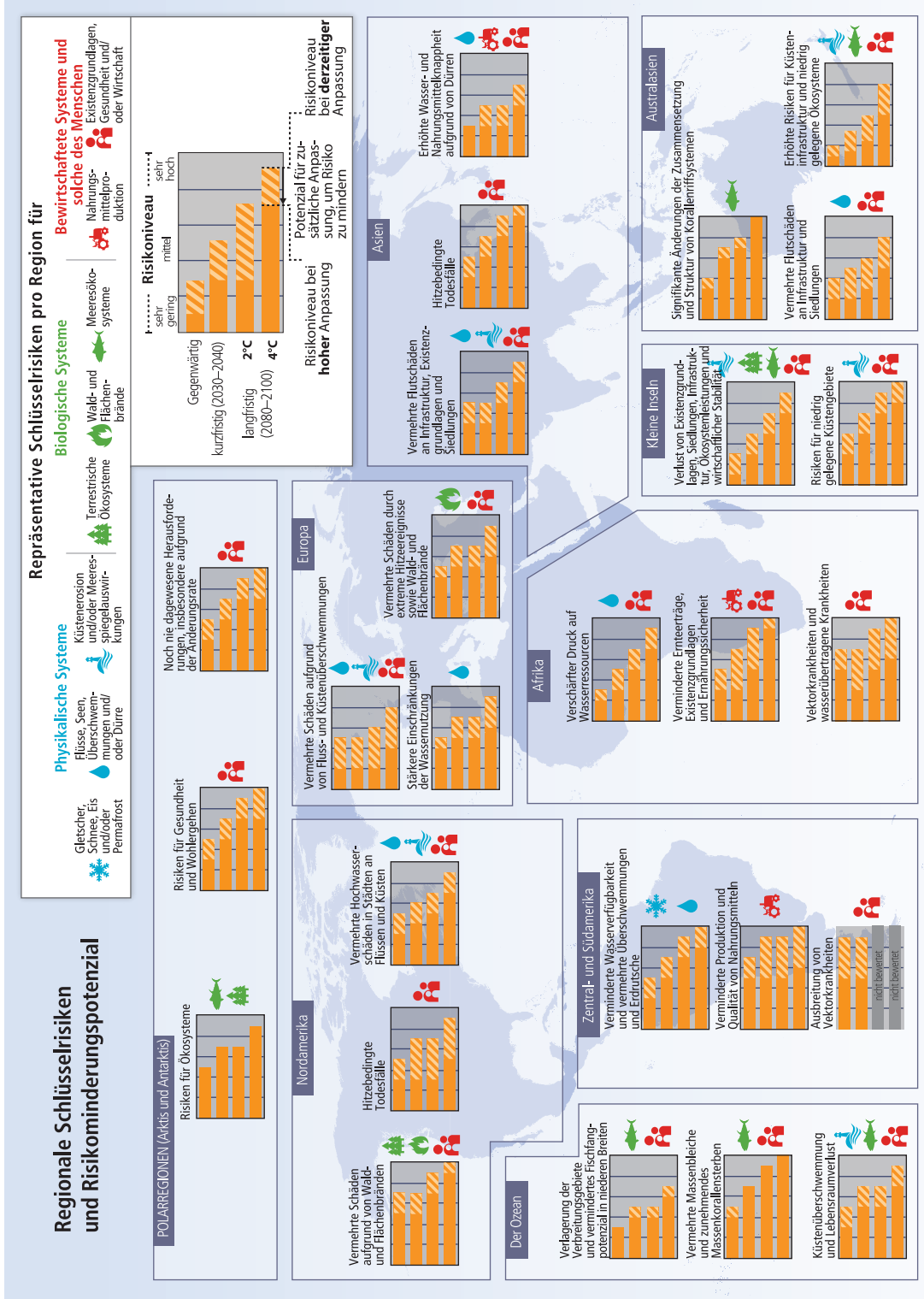
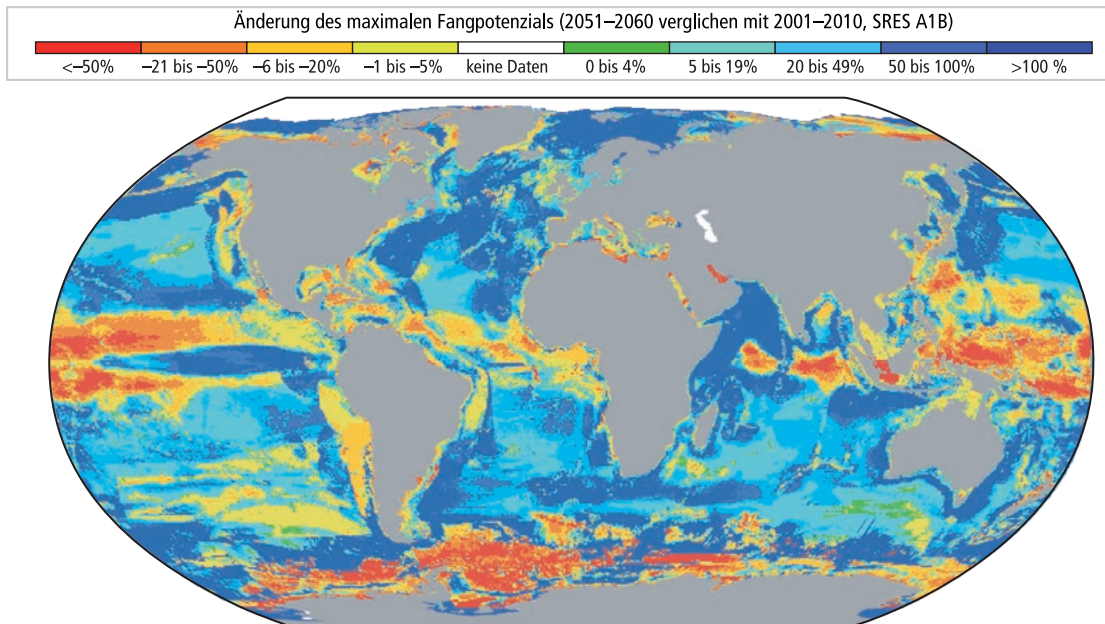


Abbildung SPM.8 | Repräsentative Schlüsselrisiken¹⁴ für jede Region, einschließlich des Potenzials zur Risikominderung durch Anpassung und Klimaschutz, sowie Grenzen der Anpassung. Jedes Schlüsselrisiko wird als sehr gering, gering, mittel, hoch oder sehr hoch bewertet. Risikograde sind für drei Zeiträume dargestellt: gegenwärtig (hier: für 2030–2040) und langfristig (hier: für 2080–2100). Kurzfristig unterscheiden sich die projizierten Anstiege der mittleren globalen Temperatur in den verschiedenen Emissionsszenarien nicht wesentlich. Für den langfristigen Zeitraum sind Risikograde für zwei mögliche Zukunftsszenarien dargestellt (Anstieg der mittleren globalen Temperatur von 2 °C bzw. 4 °C über das vorindustrielle Niveau). Für jeden Zeitraum sind die Risikograde für die Fortführung der gegenwärtigen Anpassungsmaßnahmen sowie unter Annahme eines hohen Niveaus von derzeitiger bzw. zukünftiger Anpassung angegeben. Risikograde sind nicht notwendigerweise vergleichbar, insbesondere nicht über die Regionen hinweg. (Abbildung 2.4)

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

Der Klimawandel birgt Risiken für die Nahrungsmittelproduktion

(a)



(b)

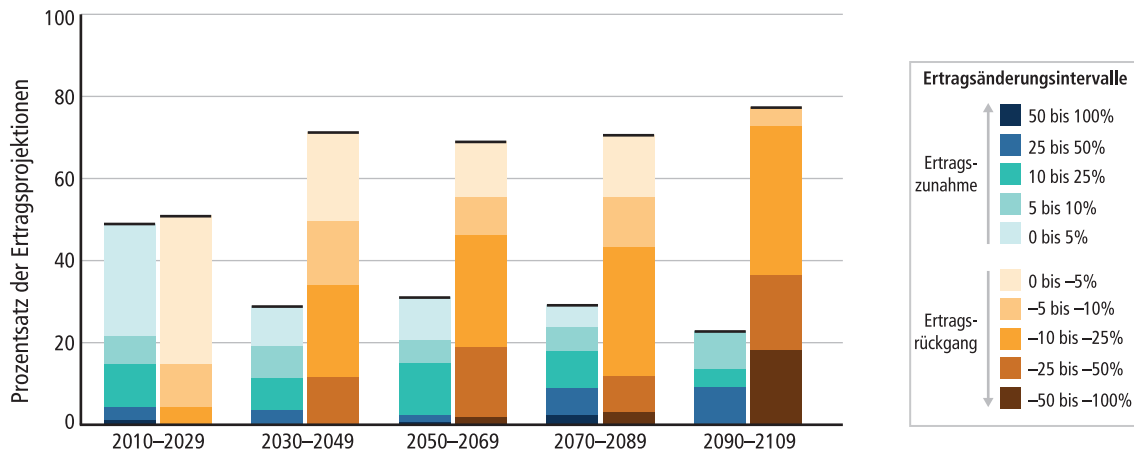


Abbildung SPM.9 | (a) Projizierte globale Neuverteilung des maximalen Fangpotenzials von ~1000 verwerteten mariner Fisch- und wirbellosen Arten. Projektionen vergleichen die 10-Jahres-Mittel der Zeiträume 2001–2010 und 2051–2060 unter Verwendung von Ozeanbedingungen, die auf einem einzelnen Klimamodell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

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

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

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

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

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

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

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

SPM 2.4 Klimawandel nach 2100, Irreversibilität und abrupte Veränderungen

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

Die Erwärmung wird unter allen RCP-Szenarien, ausgenommen RCP2.6, über 2100 hinaus andauern. Die Oberflächentemperaturen werden nach einer vollständigen Einstellung der anthropogenen Netto-CO₂-Emissionen für viele Jahrhunderte annähernd konstant auf erhöhten Niveaus bleiben. Ein großer Anteil des auf CO₂-Emissionen zurückzuführenden anthropogenen Klimawandels ist auf einer Zeitskala von mehreren Jahrhunderten bis Jahrtausenden irreversibel, ausgenommen im Falle einer umfassenden Nettoentnahme von CO₂ aus der Atmosphäre über einen lang anhaltenden Zeitraum. {2.4, Abbildung 2.8}

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

Es besteht *hohes Vertrauen*, dass die Ozeanversauerung über Jahrhunderte weiter zunimmt, wenn CO₂-Emissionen andauern, und marine Ökosysteme in hohem Maße beeinträchtigt werden. {2.4}

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

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

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

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

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

SPM 3.1 Grundlagen der Entscheidungsfindung zum Klimawandel

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

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

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

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

SPM 3.2 Durch Minderung und Anpassung verringerte Risiken des Klimawandels

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

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

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

Ohne zusätzliche Minderungsbemühungen, die über heute bestehende hinausgehen, und trotz Anpassung wird die Erwärmung zum Ende des 21. Jahrhunderts zu hohen bis sehr hohen Risiken für schwerwiegende, verbreitete und irreversible globale Folgen führen (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.10). In den meisten Szenarien ohne zusätzliche Minderungsbemühungen (jene mit atmosphärischen Konzentrationen von > 1000 ppm CO₂Äq im Jahr 2100), wird die Erwärmung *eher wahrscheinlich als nicht* 4 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau bis 2100 überschreiten (Tabelle SPM.1). Die Risiken, die mit Temperaturen von 4 °C oder darüber verbundenen sind, beinhalten ein beträchtliches Artensterben, globale und regionale Ernährungsunsicherheit, sich daraus ergebende Einschränkungen alltäglicher Aktivitäten von Menschen und in einigen Fällen ein begrenztes Anpassungspotenzial (*hohes Vertrauen*). Einige Risiken des Klimawandels, wie die Risiken für einzigartige und bedrohte Systeme, und Risiken, die mit Extremwetterereignissen verbunden sind, sind bei Temperaturen von 1 °C bis 2 °C über dem vorindustriellen Niveau moderat bis hoch. {2.3, Abbildung 2.5, 3.2, 3.4, Box 2.4, Tabelle SPM.1}

Wesentliche Einschnitte in den Treibhausgasemissionen über die nächsten Jahrzehnte können die Risiken des Klimawandels erheblich senken, indem die Erwärmung in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts und darüber hinaus begrenzt wird. Kumulative CO₂-Emissionen bestimmen im Wesentlichen die mittlere globale Oberflächenerwärmung bis zum späten 21. Jahrhundert und darüber hinaus. Die Begrenzung der Risiken, die mit den „Gründen zur Besorgnis“ verbunden sind, würde eine Begrenzung der kumulativen CO₂-Emissionen beinhalten. Eine solche Begrenzung würde erfordern, dass die globalen CO₂-Nettoemissionen letztendlich auf Null zurückgehen, und würde die jährlichen Emissionen der nächsten Jahrzehnte beschränken (Abbildung SPM.10) (*hohes Vertrauen*). Einige Risiken durch Klimaschäden sind jedoch trotz Minderung und Anpassung unvermeidbar. {2.2.5, 3.2, 3.4}

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

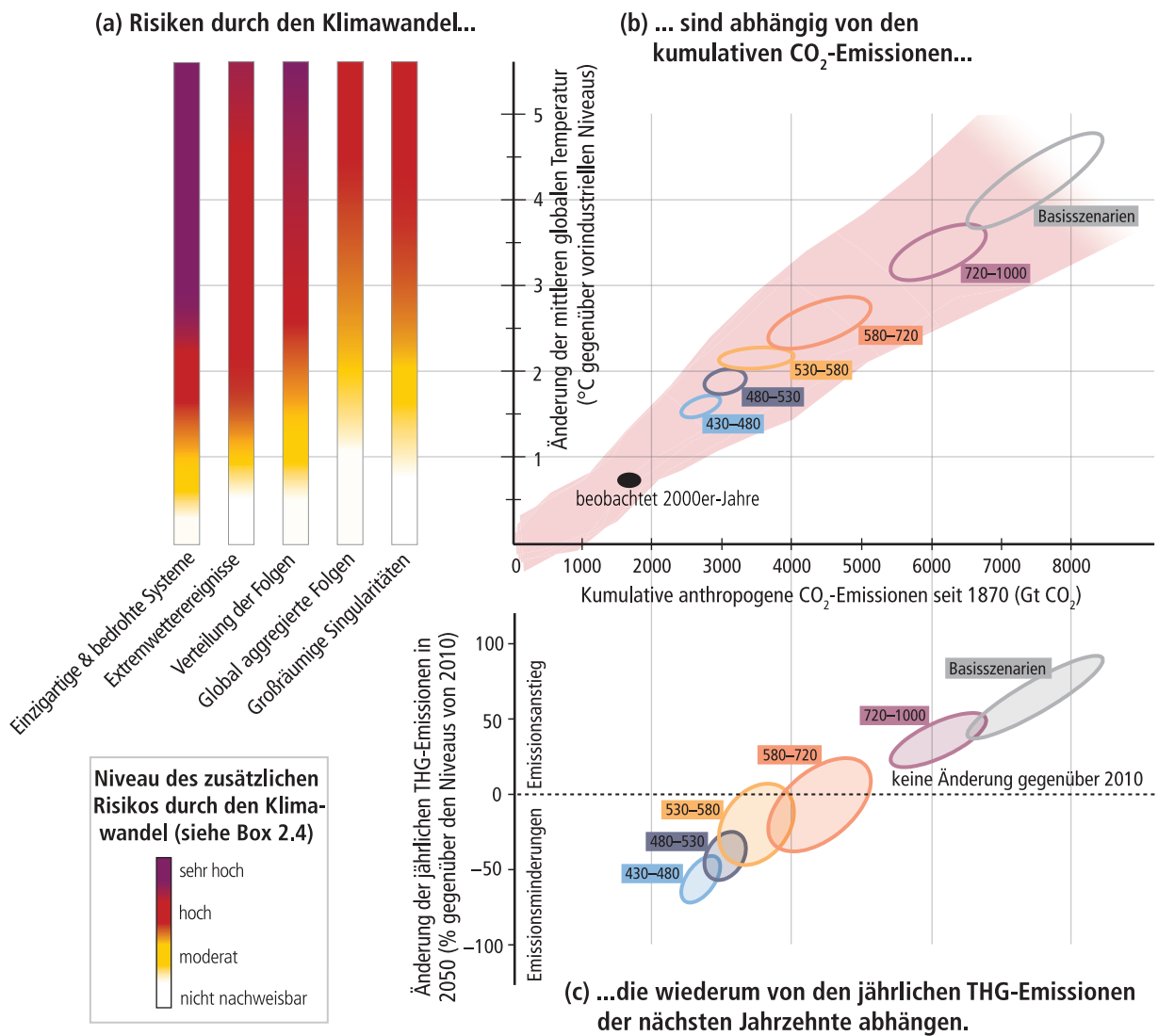


Abbildung SPM.10 | Die Beziehung zwischen Risiken durch den Klimawandel, Temperaturänderung, kumulativen Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen und Veränderungen der jährlichen Treibhausgas (THG)-Emissionen bis 2050. Die Begrenzung der Risiken hinsichtlich aller „Gründe zur Besorgnis“ (a) würde eine Begrenzung der kumulativen CO₂-Emissionen implizieren (b), was die jährlichen THG-Emissionen über die nächsten Jahrzehnte beschränken würde (c). **Tafel a** zeigt die fünf „Gründe zur Besorgnis“ (Box 2.4). **Tafel b** verknüpft Temperaturänderungen mit den kumulativen CO₂-Emissionen (in Gt CO₂) seit 1870. Diese basieren auf Simulationen des Gekoppelten Modellvergleichsprojektes Phase 5 (CMIP5) (rosa Fläche) und auf einem einfachen Klimamodell (Median der Klimareaktion in 2100) für Basisszenarien und fünf Kategorien an Minderungsszenarien (sechs Ellipsen). Einzelheiten sind in Abbildung SPM.5 angegeben. **Tafel c** zeigt die Beziehung zwischen den kumulativen CO₂-Emissionen (in Gt CO₂) der Szenariokategorien und der damit verbundenen Änderung der jährlichen THG-Emissionen bis 2050, ausgedrückt in prozentualer Veränderung (in Prozent Gt CO₂Äq pro Jahr), bezogen auf 2010. Die Ellipsen entsprechen denselben Szenariokategorien wie in Tafel b und wurden mit einer vergleichbaren Methode erstellt (siehe Einzelheiten in Abbildung SPM.5). {Abbildung 3.1}

SPM 3.3 Eigenschaften von Anpassungspfaden

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

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

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

Anmerkungen:

^a Der ‚Gesamtbereich‘ für die 430 bis 480 ppm CO₂-Äq-Szenarien entspricht der Bandbreite des 10.–90. Perzentils der in Tabelle 6.3 des Berichtes der Arbeitsgruppe III dargestellten Unterkategorie dieser Szenarien.

^b Basisszenarien fallen in die >1000 und 720 bis 1000 ppm CO₂-Äq-Kategorien. Letztere Kategorie schließt auch Minderungsszenarien ein. Die Basisszenarien dieser Kategorie erreichen im Jahr 2100 zu Temperaturänderungen von 2,5 bis 5,8 °C über dem Durchschnitt der Jahre 1850–1900. Zusammen mit den Basisszenarien der Kategorie >1000 ppm CO₂-Äq führt dies zu einer Gesamtbandbreite der Temperaturänderung für das Jahr 2100 von 2,5 bis 7,8 °C (Bandbreite basierend auf dem Median der Klimareaktion: 3,7 bis 4,8 °C) für Basisszenarien aus beiden Konzentrationskategorien.

^c Die globalen Emissionen im Jahr 2010 liegen um 31 % über den Emissionen des Jahres 1990 (in Übereinstimmung mit den in diesem Bericht vorgelegten historischen THG-Emissionsschätzungen). CO₂-Äq-Emissionen beinhalten die Gruppe der Kyoto-Gase (Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄), Lachgas (N₂O) sowie F-Gase).

^d Diese Bewertung beinhaltet eine große Anzahl von Szenarien, die in der wissenschaftlichen Literatur veröffentlicht wurden und ist daher nicht auf die Repräsentativen Konzentrationspfade (Representative Concentration Pathways, RCP) beschränkt. Um die CO₂-Äq-Konzentrationen und klimatischen Auswirkungen dieser Szenarien zu bewerten, wurde das „Modell zur Abschätzung des durch Treibhausgase verursachten Klimawandels“ (Model for the Assessment of Greenhouse Gas Induced Climate Change - MAGICC) in einem wahrscheinlichkeitstheoretischen Modus verwendet. Für einen Vergleich zwischen den Ergebnissen des MAGICC-Modells und den Ergebnissen der in der WGI verwendeten Modelle siehe WGI 12.4.1.2, 12.4.8 und WGIII 6.3.2.6.

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

^f Die CO₂-Äquivalente-Konzentration (siehe Glossar) ist auf der Basis des gesamten Antriebs aus einem einfachen Kohlenstoffkreislauf-/Klimamodell, MAGICC, berechnet. Die CO₂-Äq-Konzentration im Jahr 2011 wird auf 430 ppm (Unsicherheitsbereich 340 bis 520 ppm) geschätzt. Dies beruht auf der Bewertung des gesamten anthropogenen Strahlungsantriebs für 2011 im Verhältnis zu 1750 in WGI, d. h. 2,3 W/m², Unsicherheitsbereich 1,1 bis 3,3 W/m².

⁹ Die überwiegende Mehrheit der Szenarien dieser Kategorie überschreitet die Kategoriengrenze einer CO₂-Äq-Konzentration von 480 ppm.

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

ⁱ Szenarien in der 580 bis 650 ppm CO₂-Äq-Kategorie beinhalten sowohl Überschreitungsszenarien als auch Szenarien, die keine höheren Konzentrationen als das oberste Niveau der Kategorie aufweisen (z. B. RCP4.5). Letzteren Szenarien wird im Allgemeinen eine Wahrscheinlichkeit von *eher unwahrscheinlich* als *wahrscheinlich* zugeteilt, unterhalb des Temperaturniveaus von 2 °C zu bleiben, während die erstgenannten diesbezüglich meist als *unwahrscheinlich* bewertet werden.

^j In diesen Szenarien liegen die globalen CO₂-Äq-Emissionen im Jahr 2050 um 70 bis 95 % unter den Emissionen von 2010 und im Jahr 2100 um 110 bis 120 % unter den Emissionen von 2010.

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

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

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

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

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

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

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

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

SPM 3.4 Eigenschaften von Minderungspfaden

Es gibt mehrere Minderungspfade, die die Erwärmung *wahrscheinlich* unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau halten. Diese Pfade würden erhebliche Emissionsminderungen über die nächsten Jahrzehnte und Emissionen nahe Null bis zum Ende des Jahrhunderts von CO₂ und anderen langlebigen Treibhausgasen erfordern. Die Durchführung solcher Minderungen bedeutet erhebliche technologische, wirtschaftliche, soziale und institutionelle Herausforderungen, die noch zunehmen, falls zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen verzögert werden und Schlüsseltechnologien nicht verfügbar sind. Eine Begrenzung der Erwärmung auf niedrigere oder höhere Niveaus ist mit ähnlichen Herausforderungen verbunden, jedoch über unterschiedliche Zeitskalen hinweg. {3.4}

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

Emissionsszenarien, die zu CO₂-Äquivalente-Konzentrationen im Jahr 2100 von etwa 450 ppm oder weniger führen, beschränken die Erwärmung über das 21. Jahrhundert *wahrscheinlich* auf weniger als 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau¹⁵. Diese Szenarien zeichnen sich durch eine Verringerung der globalen anthropogenen THG-Emissionen um 40 bis 70 % bis 2050 gegenüber 2010¹⁶ sowie Emissionsniveaus nahe Null oder darunter in 2100 aus. Minderungsszenarien, die Konzentrationsniveaus von etwa 500 ppm CO₂-Äq bis zum Jahr 2100 erreichen, begrenzen *eher wahrscheinlich als nicht* die Temperaturänderung auf unter 2 °C, sofern sie nicht vorübergehend Konzentrationsniveaus von ungefähr 530 ppm CO₂-Äq vor dem Jahr 2100 überschreiten. In einem solchen Fall wäre es *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*, dass sie dieses Ziel erreichen. In diesen 500 ppm CO₂-Äq-Szenarien sind die globalen Emissionsniveaus im Jahr 2050 um 25 % bis 55 % niedriger als im Jahr 2010. Szenarien mit höheren Emissionen im Jahr 2050 zeichnen sich durch eine größere Abhängigkeit von Technologien zur Entfernung von Kohlendioxid (Carbon Dioxide Removal, CDR) ab der Mitte des Jahrhunderts aus (und umgekehrt). Trajektorien, die die Erwärmung *wahrscheinlich* auf 3 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzen, verringern Emissionen langsamer als jene, die die Erwärmung auf 2 °C begrenzen. Eine begrenzte Anzahl von Studien liefert Szenarien, die die Erwärmung *eher wahrscheinlich als nicht* auf 1,5 °C bis zum Jahr 2100 begrenzen; diese Szenarien sind durch Konzentrationsniveaus unterhalb von 430 ppm CO₂-Äq bis zum Jahr 2100 und eine Emissionsreduktion bis zum Jahr 2050 um 70 % bis 95 % gegenüber 2010 gekennzeichnet. Für einen umfassenden Überblick über die Eigenschaften von Emissionsszenarien, deren CO₂-Äquivalente-Konzentrationen und ihre Wahrscheinlichkeit, die Erwärmung unterhalb bestimmter Temperaturniveaus zu halten, siehe Abbildung SPM.11 und Tabelle SPM.1. {3.4}

Minderungsszenarien, die etwa 450 ppm CO₂-Äq im Jahr 2100 erreichen (entsprechend einer *wahrscheinlichen* Chance, die Erwärmung unterhalb von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu halten), beinhalten typischerweise ein temporäres Überschreiten¹⁷ der atmosphärischen Konzentrationen, ebenso wie viele Szenarien, die etwa 500 ppm CO₂-Äq bis etwa 550 ppm CO₂-Äq in 2100 erreichen (Tabelle SPM.1). Abhängig vom Grad der Überschreitung stützen sich Überschreitungs-

¹⁵ Zum Vergleich: Die CO₂-Äq-Konzentration im Jahr 2011 wird auf 430 ppm (Unsicherheitsbereich 340 bis 520 ppm) geschätzt.

¹⁶ Diese Bandbreite unterscheidet sich von der im AR4 angegebenen Bandbreite für eine vergleichbare Konzentrationskategorie (50 % bis 85 % geringer als 2000 für CO₂ allein). Gründe für diese Differenz sind u. a., dass dieser Bericht eine wesentlich größere Anzahl von Szenarien als der AR4 bewertet hat und dass alle THGs betrachtet werden. Zudem beinhaltet ein großer Teil der neuen Szenarien Technologien zur Entfernung von Kohlendioxid (CDR) (siehe unten). Weitere Faktoren sind die Verwendung von Konzentrationsniveaus statt Stabilisierungsniveaus für das Jahr 2100 und die Verschiebung des Referenzjahres von 2000 auf 2010.

¹⁷ In „Konzentrations-Überschreitungs-Szenarien“ erreichen die Konzentrationen ihren Höhepunkt während des Jahrhunderts und gehen danach zurück. CDR-Methoden können Nebenwirkungen und langfristige Konsequenzen auf globaler Ebene mit sich bringen.

szenarien typischerweise auf die Verfügbarkeit und den verbreiteten Einsatz von Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS) und Aufforstung in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts. Ob und in welchem Umfang diese und andere CDR-Technologien und -Methoden verfügbar sind, ist ungewiss, und CDR-Technologien sind – in unterschiedlichem Maß – mit Herausforderungen und Risiken verbunden¹⁸. CDR ist auch in vielen Szenarien ohne Überschreitung verbreitet, um verbleibende Emissionen aus Sektoren zu kompensieren, für die Minderung teuer ist (*hohes Vertrauen*). {3.4, Box 3.3}

Die Emissionsminderung von Nicht-CO₂-Substanzen kann ein wichtiger Bestandteil von Minderungsstrategien sein. Alle derzeitigen THG-Emissionen und weitere klimawirksame Substanzen beeinflussen die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Klimawandels über die nächsten Jahrzehnte, obwohl die langfristige Erwärmung hauptsächlich durch CO₂-Emissionen angetrieben wird. Emissionen von Nicht-CO₂-Treibern werden oft als 'CO₂-Äquivalente-Emissionen' ausgedrückt. Allerdings hängt die Wahl der Metrik zur Berechnung dieser Emissionen – und damit verbunden die Implikationen für Gewichtung und Zeitpunkt der Verringerung der unterschiedlichen Klimatreiber – von der jeweiligen Anwendung und vom politischen Kontext ab und enthält Werturteile. {3.4, Box 3.2}

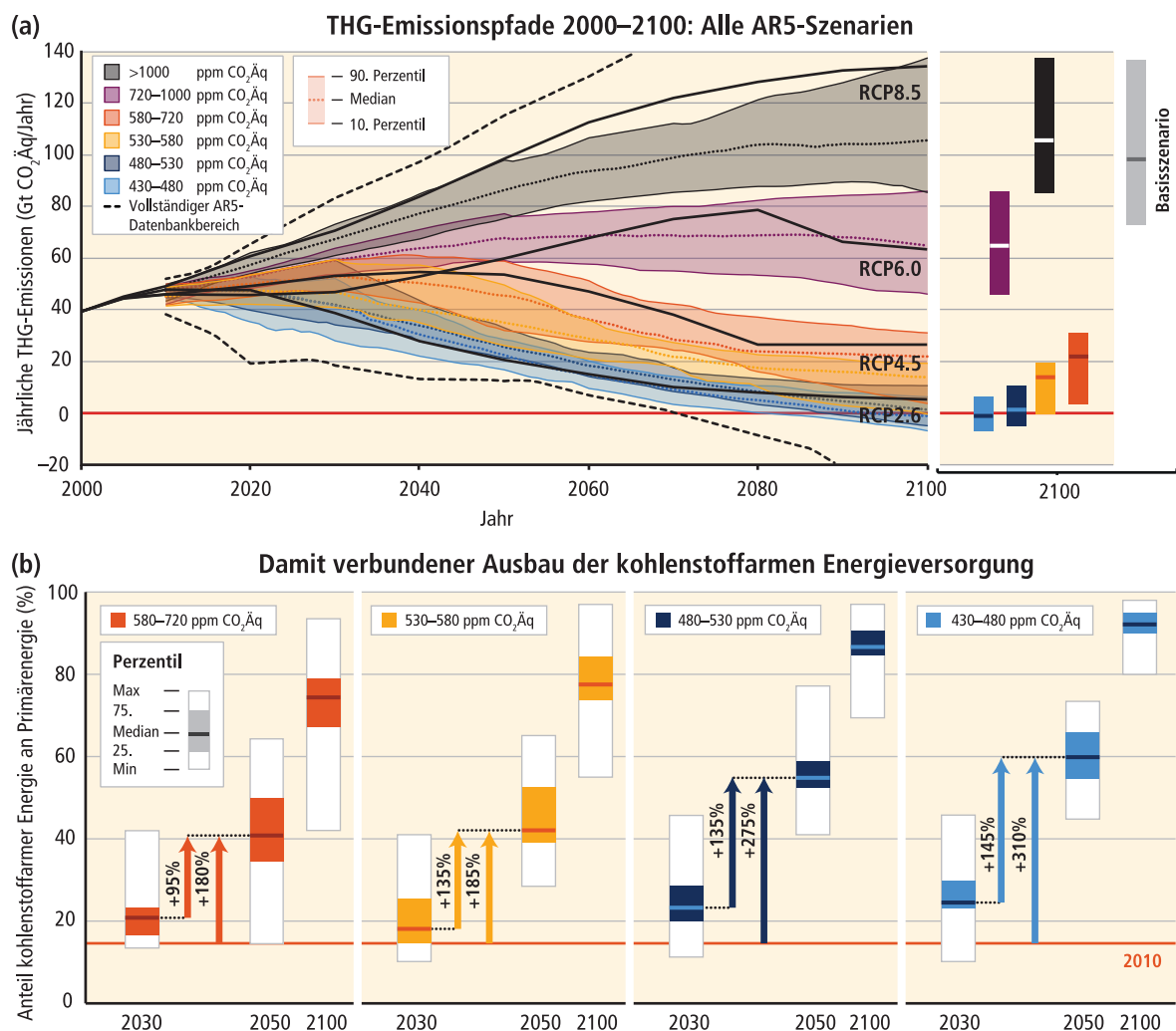


Abbildung SPM.11 | Globale Treibhausgasemissionen (Gigatonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr, Gt CO₂-Äq/Jahr) in Basis- und Minderungsszenarien für unterschiedliche langfristige Konzentrationsniveaus (a) und damit verbundener notwendiger Ausbau kohlenstoffarmer Energie (in % der Primärenergie) für 2030, 2050 und 2100, verglichen mit den Niveaus für 2010 in Minderungsszenarien (b). {Abbildung 3.2}

¹⁸ Das Potenzial für CDR-Methoden weist auf globaler Ebene biogeochemische und technologische Grenzen auf. Das gegenwärtige Wissen reicht nicht aus, um die Menge an CO₂-Emissionen zu quantifizieren, die im Laufe eines Jahrhunderts durch CDR teilweise kompensiert werden könnte. CDR-Methoden können Nebenwirkungen und langfristige Konsequenzen auf globaler Ebene mit sich bringen.

Eine Verzögerung zusätzlicher Minderung bis zum Jahr 2030 wird die Herausforderungen, die mit der Begrenzung der Erwärmung über das 21. Jahrhundert auf unter 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau verbunden sind, beträchtlich erhöhen. Dies würde wesentlich höhere Emissionsminderungsraten zwischen 2030 und 2050 erfordern, einen erheblich schnelleren Ausbau kohlenstoffarmer Energie in diesem Zeitraum, eine langfristig größere Abhängigkeit von CDR, sowie größere vorübergehende und langfristige wirtschaftliche Folgen. Die geschätzten globalen Emissionsniveaus im Jahr 2020, basierend auf den Cancún-Pledges, stehen nicht im Einklang mit kosteneffizienten Minderungspfaden, die mindestens *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* die Temperaturänderung auf 2 °C im Verhältnis zum vorindustriellen Niveau begrenzen, sie schließen jedoch die Option, dieses Ziel zu erreichen, nicht aus (*hohes Vertrauen*) (Abbildung SPM.12, Tabelle SPM.2). {3.4}

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

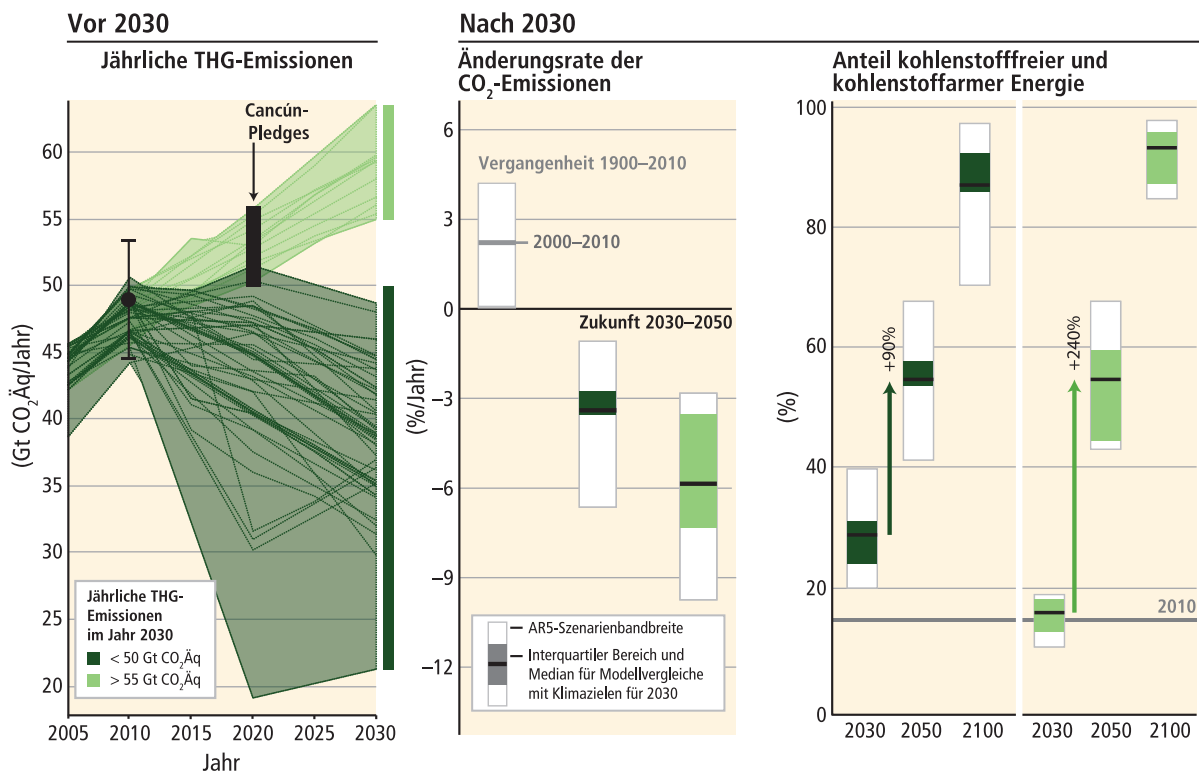


Abbildung SPM.12 | Die Auswirkungen unterschiedlicher Treibhausgas (THG)-Emissionsniveaus im Jahr 2030 auf die Geschwindigkeit der CO₂-Emissionsminderungen und den Ausbau kohlenstoffarmer Energie in Minderungsszenarien, die mindestens *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht* die Erwärmung über das 21. Jahrhundert unterhalb von 2 °C gegenüber dem vorindustriellen Niveau halten (CO₂-Äquivalente-Konzentrationen von 430 bis 530 ppm im Jahr 2100). Die Szenarien sind entsprechend unterschiedlicher Emissionsniveaus im Jahr 2030 gruppiert (in unterschiedlichen Grüntönen). Die linke Tafel zeigt die Verläufe von THG-Emissionen (Gigatonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr, Gt CO₂-Äq/Jahr), die zu diesen Niveaus im Jahr 2030 führen. Der schwarze Punkt mit Antennen zeigt die historischen THG-Emissionsniveaus und die damit verbundenen Unsicherheiten im Jahr 2010, wie in Abbildung SPM.2 dargestellt. Der schwarze Balken zeigt die geschätzte Unsicherheitsbandbreite der mit den Cancún-Pledges verbundenen THG-Emissionen. Die mittlere Tafel stellt die durchschnittlichen jährlichen Verringerungsraten für CO₂-Emissionen im Zeitraum von 2030 bis 2050 dar. Der Median und die interquartile Bandbreite aller Szenarien aus aktuellen Intermodellvergleichen mit expliziten Zwischenzielen für 2030 werden darin mit der Gesamtbandbreite von Szenarien der Szenariendatenbank von WGIII für den AR5 verglichen. Jährliche Raten historischer Emissionsänderungen (fortlaufend über einen Zeitraum von 20 Jahren) und die durchschnittlichen jährlichen CO₂-Emissionsänderungen zwischen 2000 und 2010 sind ebenfalls angegeben. Die Pfeile in der rechten Tafel zeigen die Größenordnung des Ausbaus kohlenstofffreier und kohlenstoffarmer Energieversorgung zwischen 2030 und 2050 in Abhängigkeit von unterschiedlichen THG-Emissionsniveaus im Jahr 2030. Kohlenstofffreie und -arme Energieversorgung beinhaltet Erneuerbare Energien, Atomenergie, fossile Energie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS) sowie Bioenergie mit CCS (BECCS). [Anmerkung: Es sind nur Szenarien abgebildet, die das vollständige, unbeschränkte Portfolio an Minderungstechnologien der zugrundeliegenden Modelle (Standard-Technologieannahme) einsetzen. Ausgenommen sind Szenarien mit hohen negativen globalen Nettoemissionen (> 20 Gt CO₂-Äq/Jahr), Szenarien mit der Annahme eines exogenen Kohlenstoffpreises sowie Szenarien mit Emissionen für 2010, die signifikant außerhalb der historischen Bandbreite liegen.] {Abbildung 3.3}

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

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

Minderungsszenarien, die zu etwa 450 oder 500 ppm CO₂Äq bis zum Jahr 2100 gelangen, zeigen verringerte Kosten für das Erreichen von Zielen in den Bereichen Luftreinhaltung und Energiesicherheit, mit signifikanten positiven Nebeneffekten für die Gesundheit des Menschen, Folgen für Ökosysteme sowie die Ressourcenschonung und die Resilienz des Energiesystems. {4.4.2.2}

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

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

Globale Minderungskosten und Konsumwachstum in Basiszenarien

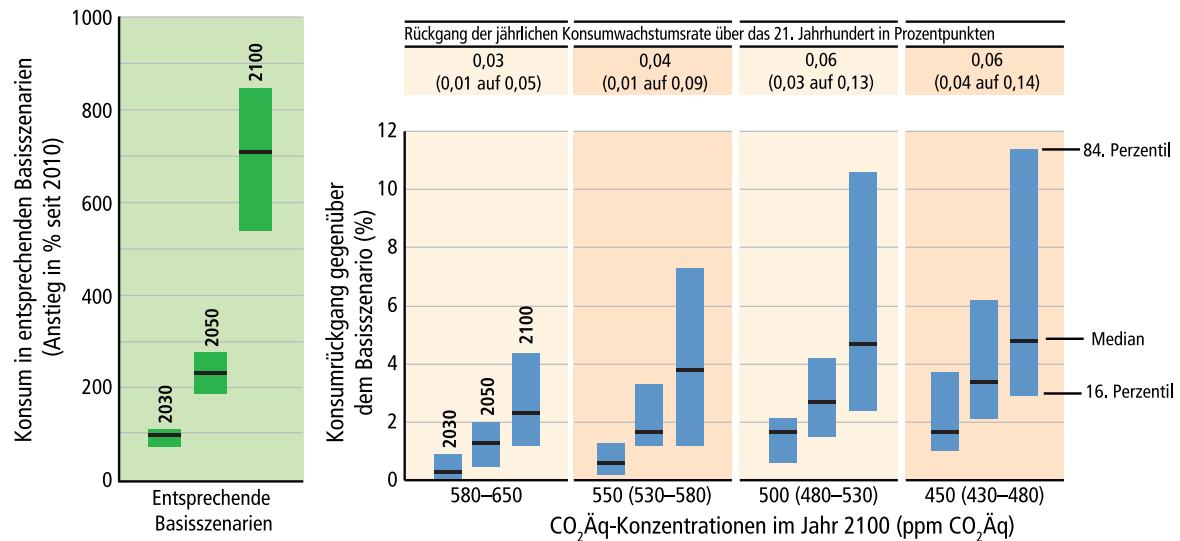
















Abbildung SPM.13 | Globale Minderungskosten in kosteneffizienten Szenarien für unterschiedliche atmosphärische Konzentrationsniveaus im Jahr 2100. Kosteneffiziente Szenarien gehen von einer sofortigen Minderung in allen Ländern sowie von einem einheitlichen globalen Kohlenstoffpreis aus und sehen keine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

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

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

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

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

Anmerkungen

^a Szenarien mit verzögerter Minderung sind mit Treibhausgasemissionen von mehr als 55 Gt CO₂Äq im Jahr 2030 verbunden, und der Anstieg der Minderungskosten wird im Verhältnis zu kosteneffizienten Minderungsszenarien für dasselbe langfristige Konzentrationsniveau ermittelt.

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

^c Die Bandbreite wird durch die in der Mitte liegenden Szenarien, die das 16. bis 84. Perzentil des Szenariensatzes umspannen, bestimmt. Es wurden nur Szenarien mit einem Zeithorizont bis 2100 berücksichtigt. Einige Modelle, die in den Kostenbandbreiten für Konzentrationsniveaus oberhalb von 530 ppm CO₂Äq im Jahr 2100 enthalten sind, konnten unter Annahme einer begrenzten Verfügbarkeit an Technologien und/oder einer verzögerten zusätzlichen Minderung keine entsprechenden Szenarien für Konzentrationsniveaus unterhalb von 530 ppm CO₂Äq im Jahr 2100 entwickeln.

^d Kein CCS: Kohlendioxidabscheidung und -speicherung ist in diesen Szenarien nicht enthalten. Atomausstieg: Keine zusätzlichen Atomanlagen über die im Bau befindlichen hinaus und Betrieb der bestehenden Anlagen bis zum Ende ihrer Laufzeit. Begrenzte Solar-/Windenergie: Höchstens 20 % der globalen Elektrizitätserzeugung aus Solar- und Windkraft für jedes Jahr in diesen Szenarien. Begrenzte Bioenergie: Höchstens 100 EJ pro Jahr moderne Bioenergie-Versorgung weltweit (die für Wärme, Strom, Kombinationen und Industrie genutzte moderne Bioenergie belief sich 2008 auf ca. 18 EJ pro Jahr). EJ = Exajoule = 10¹⁸ Joule.

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

SPM 4. Anpassung und Minderung

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

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

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

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

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

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

SPM 4.2 Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel

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

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

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

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

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

SPM 4.3 Maßnahmen zur Minderung des Klimawandels

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

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

Abbildung SPM.14 zeigt Emissionsbereiche für unterschiedliche Sektoren und Gase in Basisszenarien und Minderungsszenarien, die CO₂-Äquivalente-Konzentrationen auf niedrige Niveaus begrenzen (ca. 450 ppm CO₂Äq, *wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellen Niveaus). Zu den Schlüsselmaßnahmen, um solche Minderungsziele zu erreichen, zählen die Dekarbonisierung (d. h. Verringerung der Kohlenstoffintensität) der Stromerzeugung (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*), sowie Effizienzsteigerungen und Verhaltensänderungen, um den Energiebedarf gegenüber Basisszenarien zu verringern, ohne die wirtschaftliche Entwicklung einzuschränken (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). In Szenarien, die Konzentrationen von 450 ppm CO₂Äq bis zum Jahr 2100 erreichen, wird ein Rückgang der globalen CO₂-Emissionen aus dem Energieversorgungssektor über das nächste Jahrzehnt projiziert, und sie sind durch Verringerungen um 90 % oder mehr unter das Niveau von 2010 in den Jahren zwischen 2040 und 2070 gekennzeichnet. In den meisten Stabilisierungsszenarien mit niedrigen Konzentrationen (etwa 450 bis etwa 500 ppm CO₂Äq, Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellen Niveaus mindestens *etwa ebenso wahrscheinlich wie nicht*), steigt der Anteil kohlenstoffarmer

Direkte CO₂-Emissionen nach Hauptsektoren und Nicht-CO₂-Emissionen für Basis- und Minderungsszenarien

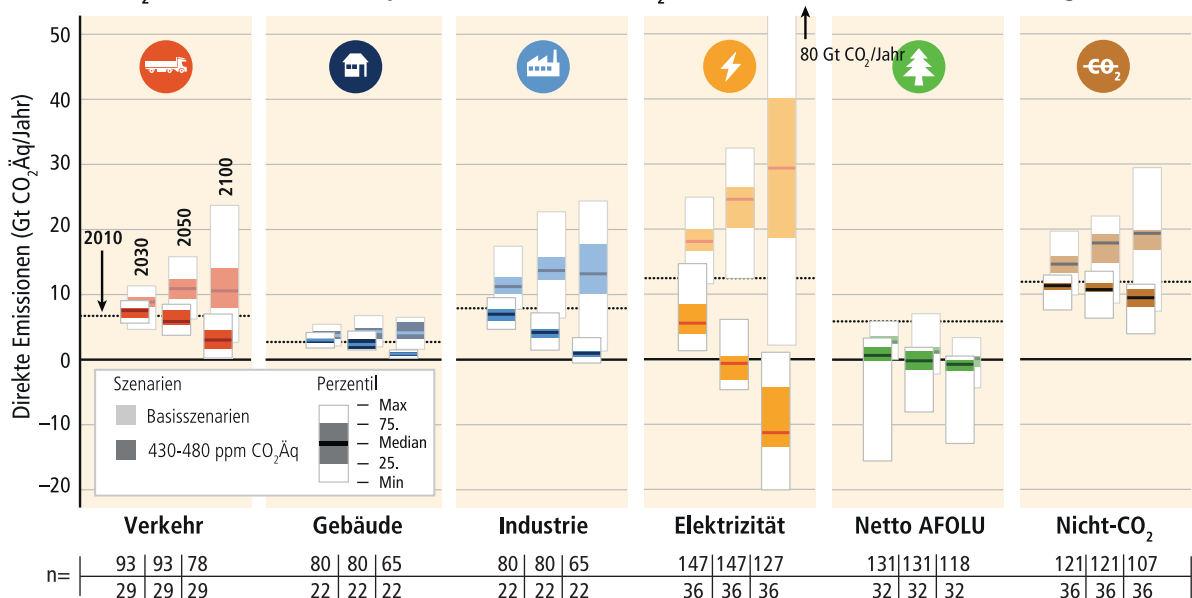


Abbildung SPM.14 | Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen nach Sektor und gesamte Nicht-CO₂-Treibhausgase (Kyotogase) über Sektoren hinweg in Basisszenarien (blasse Balken) und Minderungsszenarien (farbige Balken), die Konzentrationen von etwa 450 (430 bis 480) ppm CO₂Äq in 2100 erreichen (*wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellem Niveau). Minderung in den Endverbrauchssektoren führt auch zu Rückgängen indirekter Emissionen im vorgelagerten Energieversorgungssektor. Direkte Emissionen der Endverbrauchssektoren beinhalten daher nicht das Emissionsminderungspotenzial auf der Versorgerseite, z. B. aufgrund eines verringerten Strombedarfs. Die Zahlen am unteren Rand der Grafiken beziehen sich auf die Anzahl von Szenarien, die in den jeweiligen Bandbreiten enthalten sind (obere Zeile: Basisszenarien, untere Zeile: Minderungsszenarien), welche sich je nach Sektor und Zeit aufgrund unterschiedlicher sektoraler Auflösungen und Zeithorizonte der Modelle unterscheidet. Emissionsbereiche für Minderungsszenarien schließen das vollständige Portfolio an Minderungsoptionen ein; viele Modelle können Konzentrationen von 450 ppm CO₂Äq bis 2100 ohne Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (CCS) nicht erreichen. Negative Emissionen im Stromsektor sind auf die Anwendung von Bioenergie mit Kohlendioxidabscheidung und -speicherung (BECCS) zurückzuführen. „Netto“-Emissionen aus Landwirtschaft, Forstwirtschaft und anderer Landnutzung (AFOLU) berücksichtigen Aufforstungs-, Wiederaufforstungs- sowie Entwaldungsmaßnahmen. {4.3, Abbildung 4.1}

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

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

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

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

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

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

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

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

- Nationale Regierungen spielen eine entscheidende Rolle in der Planung und Umsetzung von Anpassung (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*) durch die Koordinierung von Handlungen sowie die Bereitstellung von Rahmenbedingungen und Unterstützung. Obwohl lokale Regierungen und der Privatsektor unterschiedliche Funktionen haben, die sich regional unterscheiden, werden sie zunehmend als entscheidend für den Anpassungsfortschritt anerkannt aufgrund ihrer Rolle beim Ausbau von Anpassungsmaßnahmen in Gemeinden, Haushalten und in der Zivilgesellschaft sowie beim Management von Risikoinformation und Finanzierung (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {4.4.2.1}
- Institutionelle Dimensionen der politischen Steuerung und Koordination von Anpassung, einschließlich der Integration von Anpassung in Planungs- und Entscheidungsprozesse, spielen eine entscheidende Rolle dabei, den Übergang von der Anpassungsplanung zur Umsetzung voranzubringen (*belastbare Belege, hohe Übereinstimmung*). Beispiele institutioneller Herangehensweisen an Anpassung, die mehrere Akteure einbeziehen, sind wirtschaftliche Optionen (z. B. Versicherungen, öffentlich-private Partnerschaften), Gesetze und Vorschriften (z. B. Gesetze zur Raumordnung), sowie politische Maßnahmen und Programme auf nationaler und Regierungsebene (z. B. wirtschaftliche Diversifikation). {4.2, 4.4.2.1, Tabelle SPM.3}
- Grundsätzlich können Mechanismen, die einen Kohlenstoffpreis festlegen, einschließlich „cap-and-trade“-Systeme und CO₂-Steuern, Minderung auf kosteneffiziente Weise erreichen. Allerdings wurden sie mit unterschiedlichem Erfolg umgesetzt, was teilweise auf nationale Umstände, aber auch auf ihre Gestaltung zurückzuführen ist. Der kurzfristige Effekt von „cap-and-trade“-Systemen war aufgrund von lockeren Obergrenzen oder Obergrenzen, die sich nicht als limitierend erwiesen haben, begrenzt (*begrenzte Belege, mittlere Übereinstimmung*). In einigen Ländern haben steuerbasierte Strategien, die spezifisch auf die Verringerung von THG-Emissionen ausgerichtet waren – neben Technologie- und anderen Maßnahmen – dazu beigetragen, die Kopplung von THG-Emissionen und BIP aufzuweichen (*hohes Vertrauen*). Darüber hinaus haben in vielen Ländern Mineralölsteuern (auch wenn diese nicht notwendigerweise zum Zwecke der Minderung eingeführt wurden) Auswirkungen, die sektoralen CO₂-Steuern ähneln. {4.4.2.2}
- Regulatorische Ansätze und Informationsmaßnahmen werden in großem Umfang angewandt und sind häufig ökologisch wirksam (*mittelstarke Belege, mittlere Übereinstimmung*). Beispiele regulatorischer Ansätze sind Energieeffizienzstandards; Beispiele für Informationsprogramme sind Kennzeichnungsprogramme, die Verbrauchern helfen können, besser informierte Entscheidungen zu treffen. {4.4.2.2}
- Sektorspezifische Strategien zur Minderung wurden in größerem Umfang angewandt als gesamtwirtschaftliche (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). Sektorspezifische Strategien sind möglicherweise besser geeignet, um sektorspezifischen Hemmnissen oder Marktversagen zu begegnen und können in Paketen sich ergänzender Maßnahmen gebündelt werden. Obwohl sie theoretisch kosteneffizienter sind, könnten administrative und politische Hemmnisse die Umsetzung gesamtwirtschaftlicher Strategien erschweren. Wechselwirkungen zwischen oder innerhalb von Minderungsmaßnahmen können Synergieeffekte hervorbringen oder keinen zusätzlichen emissionsmindernden Effekt haben. {4.4.2.2}
- Wirtschaftliche Instrumente in Form von Subventionen können über Sektoren hinweg angewendet werden und beinhalten eine Vielzahl politischer Gestaltungsmöglichkeiten, wie Steuerrabatte oder -befreiungen, Zuschüsse, Darlehen und Kreditlinien. Eine zunehmende Anzahl und Bandbreite von EE-Programmen, einschließlich von Subventionen – durch viele Faktoren motiviert – hat das beschleunigte Wachstum von EE-Technologien in den letzten Jahren angetrieben. Gleichzeitig kann die Kürzung von Subventionen für THG-bezogene Aktivitäten in verschiedenen Sektoren eine Verringerung von Emissionen bewirken, je nach gesellschaftlichem und wirtschaftlichem Kontext (*hohes Vertrauen*). {4.4.2.2}

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

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

Substanzielle Verringerungen von Emissionen würden große Änderungen der Investitionsmuster erfordern (*hohes Vertrauen*). In Minderungsszenarien mit einer Stabilisierung der Konzentrationen (ohne Überschreitung) im Bereich von 430 bis 530 ppm CO₂-Äq bis 2100¹⁹ wird ein Anstieg der jährlichen Investitionen in kohlenstoffarme Stromversorgung und Energieeffizienz in Schlüsselsektoren (Transport, Industrie und Gebäude) um mehrere hundert Milliarden Dollar pro Jahr vor 2030 in den Szenarien projiziert. In einem geeigneten förderlichen Umfeld kann der private Sektor gemeinsam mit dem öffentlichen Sektor eine wichtige Rolle bei der Finanzierung von Minderung und Anpassung einnehmen (*mittelstarke Belege, hohe Übereinstimmung*). {4.4.4}

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

SPM 4.5 Zielkonflikte, Synergien und Wechselwirkungen mit nachhaltiger Entwicklung

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

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

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

¹⁹ Dieser Bereich umfasst Szenarien, die 430 bis 480 ppm CO₂-Äq bis 2100 erreichen (*wahrscheinliche* Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellem Niveau) sowie Szenarien, die 480 bis 530 ppm CO₂-Äq bis 2100 erreichen (ohne Überschreitung; Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C über vorindustriellem Niveau *eher wahrscheinlich als nicht*).