

---

**Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger**

# **Klimaänderung 2007: Verminderung des Klimawandels**

---

**Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten Sachstandsbericht  
des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC)**

## **Autoren**

Terry Barker (Vereinigtes Königreich), Igor Bashmakov (Rußland), Lenny Bernstein (USA), Jean Bogner (USA), Peter Bosch (Niederlande), Rutu Dave (Niederlande), Ogunlade Davidson (Sierra Leone), Brian Fisher (Australien), Michael Grubb (Vereinigtes Königreich), Sujata Gupta (Indien), Kirsten Halsnaes (Dänemark), Bertjan Heij (Niederlande), Suzana Kahn Ribeiro (Brasilien), Shigeki Kobayashi (Japan), Mark Levine (USA), Daniel Martino (Uruguay), Omar Masera Cerutti (Mexiko), Bert Metz (Niederlande), Leo Meyer (Niederlande), Gert-Jan Nabuurs (Niederlande), Adil Najam (Pakistan), Nebojsa Nakicenovic (Österreich/Montenegro), Hans Holger Rogner (Deutschland), Joyashree Roy (Indien), Jayant Sathaye (USA), Robert Schock (USA), Priyaradshi Shukla (Indien), Ralph Sims (Neuseeland), Pete Smith (Vereinigtes Königreich), Rob Swart (Niederlande), Dennis Tirpak (USA), Diana Urge-Vorsatz (Ungarn), Zhou Dadi (Volksrepublik China)

## **Diese Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger sollte zitiert werden als:**

IPCC 2007: Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. In: Klimaänderung 2007: Verminderung des Klimawandels. Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (IPCC), B. Metz, O.R. Davidson, P.R. Bosch, R. Dave, L.A. Meyer, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom und New York, USA. Deutsche Übersetzung durch ProClim-, österreichisches Umweltbundesamt, deutsche IPCC-Koordinationsstelle, Bern/Wien/Berlin, 2007.

## A. Einleitung

1. **Der Beitrag der Arbeitsgruppe III zum Vierten IPCC-Sachstandsbericht (Fourth Assessment Report, AR4) konzentriert sich auf neue Literatur zu den wissenschaftlichen, technischen, umweltbezogenen, wirtschaftlichen und sozialen Aspekten des Klimaschutzes, die seit dem Dritten IPCC-Sachstandsbericht (Third Assessment Report, TAR) und den Sonderberichten über Kohlendioxidabtrennung und –speicherung (Special Report on Carbon Capture and Storage, SRCCS) und über den Schutz der Ozonschicht und des globalen Klimasystems (Special Report on Safeguarding the Ozone Layer and the Global Climate System, SROC) veröffentlicht wurde.**

Die folgende Zusammenfassung ist in sechs Abschnitte gegliedert, die sich an diese Einleitung anschließen:

- Entwicklung der Treibhausgasemissionen
- Kurz- und mittelfristige Emissionsminderung in den verschiedenen Wirtschaftssektoren (bis 2030)
- Langfristige Emissionsminderung (nach 2030)
- Politiken, Maßnahmen und Instrumente für den Klimaschutz
- Nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz
- Wissenslücken

Hinweise auf die entsprechenden Kapitelabschnitte werden in jedem Absatz in eckigen Klammern gegeben. Erläuterungen der in dieser Zusammenfassung benutzten Begriffe, Abkürzungen und chemischen Formeln und Bezeichnungen finden sich im Glossar.

## B. Entwicklung der Treibhausgasemissionen

2. **Die weltweiten Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) haben seit der Zeit vor der Industrialisierung zugenommen, mit einem Anstieg von 70% zwischen 1970 und 2004 (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).<sup>1</sup>**

- Seit der Zeit vor der Industrialisierung haben steigende THG-Emissionen aufgrund menschlicher Aktivitäten zu einem deutlichen Anstieg der atmosphärischen THG-Konzentrationen geführt [1.3; WG I SPM].
- Zwischen 1970 und 2004 stiegen die weltweiten, nach globalem Erwärmungspotenzial (global warming potential, GWP) gewichteten Emissionen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, H-FKW, FKWs und SF<sub>6</sub> um 70% (24% zwischen 1990 und 2004) von 28,7 auf 49 Gigatonnen Kohlendioxidäquivalente (Gt CO<sub>2</sub>-Äq.)<sup>2</sup> an (siehe Abbildung SPM.1). Die Emissionen dieser Gase nahmen in unterschiedlichem Maße zu. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen stiegen von 1970 bis 2004 um etwa 80% (28% zwischen 1990 und 2004) und entsprachen 77% der gesamten anthropogenen THG-Emissionen im Jahr 2004.
- Der größte Zuwachs an weltweiten THG-Emissionen zwischen 1970 und 2004 stammte aus dem Energieversorgungssektor (ein Anstieg von 145%). Der Anstieg direkter Emissionen<sup>3</sup> in diesem Zeitraum betrug für den Verkehr 120%, für die Industrie 65% und für Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft (Land Use, Land Use Change and Forestry, LULUCF)<sup>4</sup> 40%<sup>5</sup>. Von 1970 bis 1990 stiegen die direkten Emissionen aus der Landwirtschaft um 27% und aus Gebäuden um 26% an, wobei letztere danach ungefähr auf dem Niveau von 1990 verblieben. Da der Gebäudesektor jedoch einen hohen Stromverbrauch hat, ist die Summe direkter und indirekter Emissionen in diesem Sektor viel höher (75%) als die direkten Emissionen [1.3, 6.1, 11.3, Abbildungen 1.1 und 1.3].
- Die Auswirkungen der Abnahme der weltweiten Energieintensität (-33%) von 1970 bis 2004 auf die globalen Emissionen waren geringer als die kombinierten Auswirkungen von weltweitem Einkommenszuwachs (77%) und weltweitem Bevölkerungswachstum (69%) – beides Antriebe für wachsende energiebedingte CO<sub>2</sub>-Emissionen (Abbildung SPM.2). Die langfristige Entwicklung einer abnehmenden Kohlendioxidintensität der Energieversorgung kehrte sich nach dem Jahr 2000 um. Unterschiede zwischen Ländern bezüglich der pro Kopf-Einkommen, der pro

<sup>1</sup> Jede Überschrift ist durch eine Einschätzung der „Übereinstimmung/Beweislage“ ergänzt, die durch die darunter aufgezählten Punkte unterstützt wird. Dies bedeutet nicht unweigerlich, dass dieser Grad an „Übereinstimmung/Beweislage“ für jeden einzelnen Punkt gilt. Eine Erläuterung dieser Darstellung von Unsicherheiten wird in Tabellenanhang 1 gegeben.

<sup>2</sup> Die Definition von Kohlendioxidäquivalent (CO<sub>2</sub>-Äq.) ist die Menge an CO<sub>2</sub>-Emissionen, welche denselben Strahlungsantrieb erzeugen würde wie eine emittierte Menge eines gut durchmischten Treibhausgases oder einer Mischung gut durchmischter Treibhausgase, alle multipliziert mit ihren jeweiligen GWPs, um die unterschiedlichen Verweilzeiten in der Atmosphäre zu berücksichtigen [WG I AR4 Glossar].

<sup>3</sup> Direkte Emissionen aus jedem Sektor beinhalten weder die Emissionen aus dem Stromsektor für den verbrauchten Strom in den Sektoren Gebäude, Industrie und Landwirtschaft noch die Emissionen aus Raffinerievorgängen, die Treibstoff für den Verkehrssektor liefern.

<sup>4</sup> Der Begriff „Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft“ wird hier benutzt, um die aggregierten Emissionen von CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O aus Entwaldung, Biomasseverbrennung, Zersetzung von Biomasse aus Rodung und Entwaldung, Torfzersetzung und Torfbränden zu beschreiben [1.3.1]. Dies ist umfassender als „Emissionen aus Entwaldung“, welche als Teilmenge mit eingeschlossen sind. Die hier aufgeführten Emissionen schließen keine Kohlendioxidaufnahme (Entfernung) mit ein.

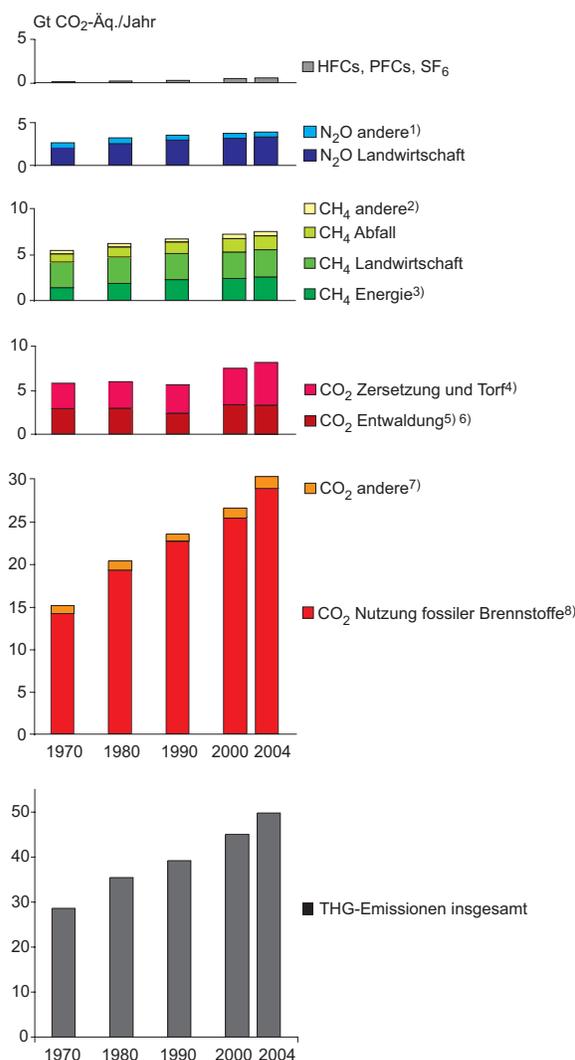
<sup>5</sup> Diese Entwicklung bezieht sich auf die gesamten LULUCF-Emissionen, von denen Emissionen aus Abholzung eine Teilmenge darstellen, und ist aufgrund großer Datenunsicherheiten signifikant weniger verlässlich als für andere Sektoren. Die Abholzungsrate weltweit war in der Zeit von 2000 bis 2005 geringfügig niedriger als im Zeitraum 1990–2000 [9.2.1].

Kopf-Emissionen und der Energieintensität bleiben signifikant (Abbildung SPM.3). Im Jahr 2004 hatten die UNFCCC Annex I-Länder einen Anteil von 20% an der Weltbevölkerung, erzeugten 57% des weltweiten Bruttoinlandsprodukts gemessen an der Kaufkraftparität ( $BIP_{KKP}$ )<sup>6</sup> und waren für 46% der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich (Abbildung SPM.3a) [1.3].

- Die Emissionen von im Montreal-Protokoll geregelten ozonabbauenden Stoffen (ozone depleting substances, ODS)<sup>7</sup>, die auch THG sind, haben seit den 1990er Jahren signifikant abgenommen. Im Jahr 2004 betrug die Emissionen dieser Gase etwa 20% ihres Niveaus von 1990 [1.3].

- Eine Reihe politischer Maßnahmen, einschließlich solcher zu Klimaschutz, Energiesicherheit<sup>8</sup> und nachhaltiger Entwicklung, hat in verschiedenen Sektoren und vielen Ländern zu Emissionsrückgängen geführt. Der Umfang solcher Maßnahmen war jedoch bisher zu klein, um den weltweiten Emissionszuwachs aufzuwiegen. [1.3, 12.2]

### 3. Bei den derzeitigen Klimaschutzpolitiken und den damit verbundenen Maßnahmen für eine nachhaltige Entwicklung werden die globalen Emissionen von Treibhausgasen über die nächsten Jahrzehnte weiterhin zunehmen. (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)



**Abbildung SPM.1:** nach globalem Erwärmungspotenzial (GWP) gewichtete globale Treibhausgasemissionen 1970–2004. 100-Jahres-GWPs aus dem IPCC-Bericht 1996 (SAR) wurden verwendet, um Emissionen in  $CO_2$ -Äq. umzurechnen (vgl. UNFCCC-Richtlinien für die Berichterstattung).  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2O$ , H-FKW, FKWs und  $SF_6$  aus allen Quellen sind mit eingerechnet.

Die beiden  $CO_2$ -Emissionskategorien spiegeln die  $CO_2$ -Emissionen aus der Energieerzeugung und -nutzung (zweite von unten) und aus Landnutzungsänderungen (dritte von unten) wieder [Abbildung 1.1a].

Anmerkungen:

1. Anderes  $N_2O$  schließt Industrieprozesse, Entwaldung/Savannenfeuer, Abwasser und Müllverbrennung mit ein.
2. Anderes  $CH_4$  stammt aus Industrieprozessen und Savannenfeuern.
3. Einschließlich Emissionen aus der Herstellung und Nutzung von Bioenergie.
4.  $CO_2$ -Emissionen aus Zersetzung (Abbau) von oberirdischer Biomasse, die nach Abholzung und Entwaldung zurückbleibt, und  $CO_2$  aus Torfbränden und der Zersetzung von entwässerten Torfböden.
5. Sowie traditionelle Biomasseverbrennung in Höhe von 10% der Gesamtmenge, unter der Annahme, dass 90% aus nachhaltiger Produktion stammen. Korrigiert um 10% Kohlenstoff der verbrannten Biomasse, von der angenommen wird, dass sie als Holzkohle zurückbleibt.
6. Durchschnittsdaten von 1997–2002 für großflächige Biomasseverbrennung von Wald und Buschland auf der Basis von Satellitendaten der Global Fire Emissions Datenbank.
7. Zementproduktion und Erdgasabfackelung
8. Die Nutzung fossiler Brennstoffe schließt Emissionen aus den Rohstoffen ein.

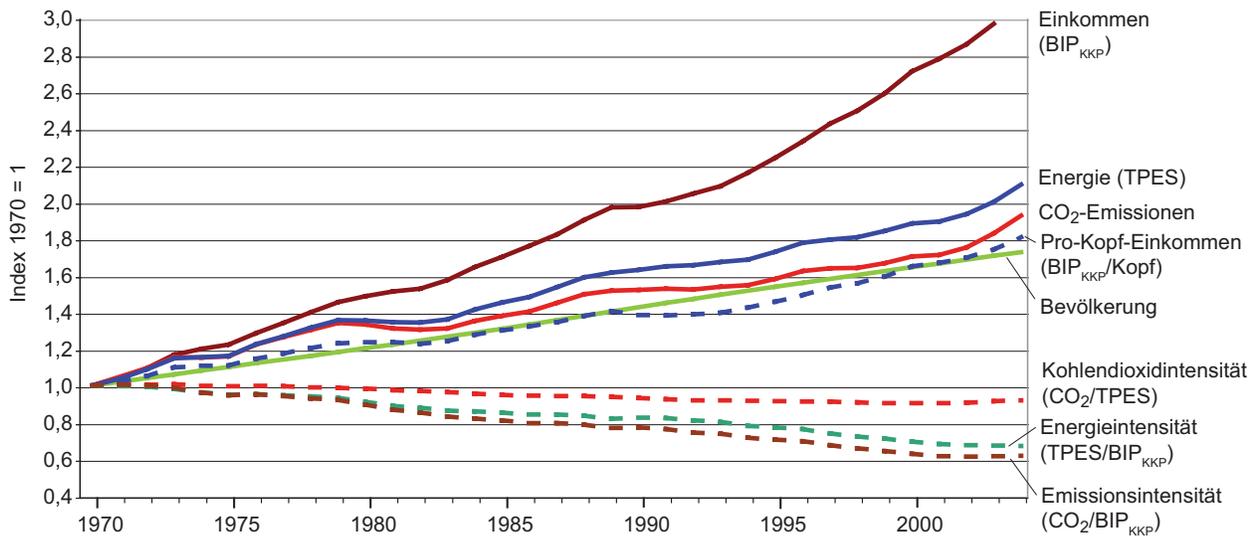
<sup>6</sup> Die  $BIP_{KKP}$ -Metrik wird in diesem Bericht nur für illustrative Zwecke genutzt. Eine Erläuterung der BIP-Berechnungen auf der Basis von KKP oder von Marktwechsellkursen wird in Fußnote 12 gegeben.

<sup>7</sup> Halone, Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKWs), teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe (H-FCKWs), Methylchloroform ( $CH_3CCl_3$ ), Tetrachlormethan ( $CCl_4$ ) und Methylbromid ( $CH_3Br$ ).

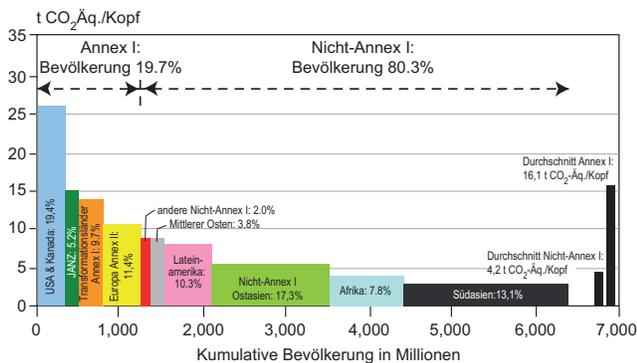
<sup>8</sup> Energiesicherheit bezieht sich auf die Sicherheit in der Energieversorgung.

- Die SRES-Szenarien (ohne Klimaschutz) projizieren einen Anstieg der Referenzwerte globaler THG-Emissionen in einer Bandbreite von 9,7 Gt CO<sub>2</sub>-Äq. bis 36,7 Gt CO<sub>2</sub>-Äq. (25–90%) zwischen 2000 und 2030<sup>9</sup> (Kasten SPM.1 und Abbildung SPM.4). In diesen Szenarien wird projiziert, dass die Dominanz fossiler Brennstoffe im weltweiten Energiemix bis zum Jahr 2030 und darüber hinaus anhält. Daher wird über diesen Zeitraum für die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch ein Wachstum von 40–110% projiziert. Zwei Drittel bis drei Viertel dieses Zuwachses

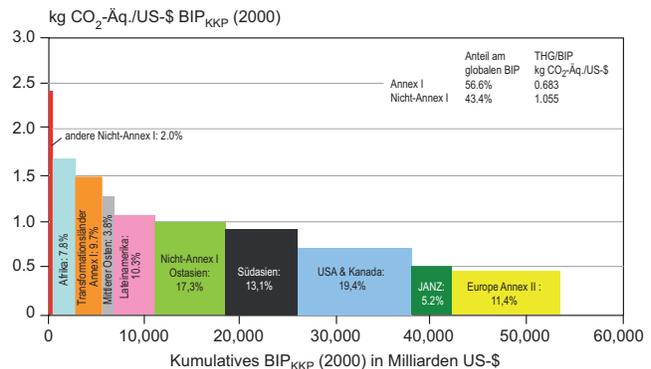
an CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch werden laut Projektionen aus Nicht-Annex I-Regionen stammen, wobei deren durchschnittliche Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Energieverbrauch laut Projektion bis 2030 wesentlich niedriger bleiben (2,8–5,1 tCO<sub>2</sub>/Kopf) als diejenigen in Annex-I-Regionen (9,6–15,1 tCO<sub>2</sub>/Kopf). Laut SRES-Szenarien wird für deren Volkswirtschaften ein geringerer Energieverbrauch pro Einheit an BIP (6,2–9,9 MJ/US\$ BIP) als die der Nicht-Annex I-Länder (11,0–21,6 MJ/US\$ BIP) projiziert. [1.3, 3.2]



**Abbildung SPM.2:** relative weltweite Entwicklung von Bruttoinlandsprodukt (BIP) gemessen in KKP (Kaufkraftparität), gesamer Primärenergieversorgung (TPES), CO<sub>2</sub>-Emissionen (aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, Erdgasabfackelung und Zementherstellung) und Bevölkerung. Zusätzlich zeigt die Abbildung mit gestrichelten Linien pro Kopf-Einkommen (BIP<sub>KKP</sub>/Kopf), Energieintensität (TPES/BIP<sub>KKP</sub>), Kohlendioxidintensität der Energieversorgung (CO<sub>2</sub>/TPES) und Emissionsintensität wirtschaftlicher Herstellungsprozesse (CO<sub>2</sub>/BIP<sub>KKP</sub>) für den Zeitraum von 1970–2004. [Abbildung 1.5]

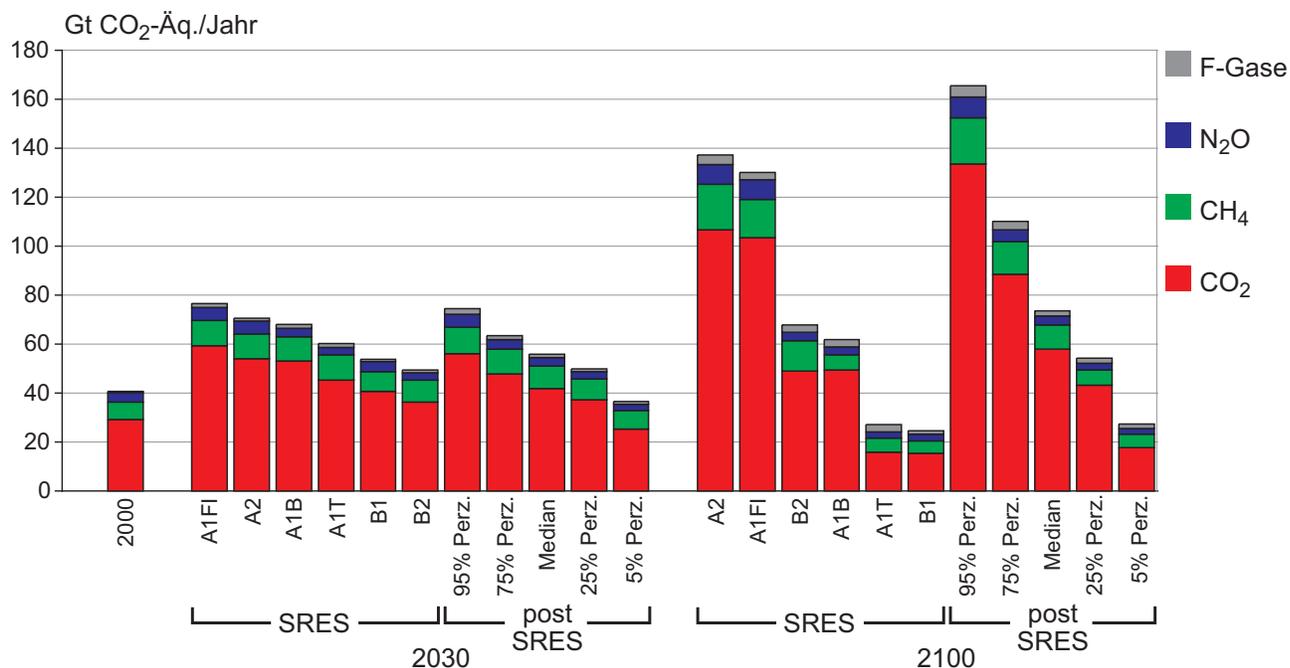


**Abbildung SPM.3a:** Verteilung der regionalen Pro-Kopf-THG-Emissionen (alle Kyoto-Gase, einschließlich derer aus Landnutzung) über die Bevölkerung verschiedener Ländergruppen im Jahr 2004. Die Prozentangaben in den Balken zeigen den Anteil einer Region an den weltweiten THG-Emissionen an [Abbildung 1.4a]



**Abbildung SPM.3b:** Verteilung der regionalen THG-Emissionen (alle Kyoto-Gase, einschließlich derer aus Landnutzung) pro US-\$ des BIP<sub>KKP</sub> über das BIP verschiedener Ländergruppen im Jahr 2004. Die Prozentangaben in den Balken zeigen den Anteil einer Region an den weltweiten THG-Emissionen an [Abbildung 1.4b]

<sup>9</sup> Die hier für das Jahr 2000 angenommenen THG-Emissionen aus dem IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (SRES; siehe Kasten SPM.1 und Abbildung SPM.4) betragen 39,8 Gt CO<sub>2</sub>-Äq., d.h. weniger als die in der EDGAR-Datenbank für 2000 angegebenen Emissionen (45 Gt CO<sub>2</sub>-Äq.). Die ist größtenteils auf Unterschiede in den LULUCF-Emissionen zurückzuführen.



**Abbildung SPM.4:** Weltweite THG-Emissionen im Jahr 2000 und projizierte Emissionen im Referenzszenario für 2030 und 2100 aus dem IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (SRES) und in Literatur nach SRES. Diese Abbildung zeigt die Emissionen aus den sechs beispielhaften SRES-Szenarien. Sie gibt auch die Häufigkeitsverteilung der Emissionen in post-SRES-Szenarien an (5., 25., Median, 75., 95. Perzentil), wie in Kapitel 3 beschrieben. F-Gase beinhalten H-FKW, FKWs und SF<sub>6</sub> [1.3, 3.2, Abbildung 1.7].

**4. Referenzemissionsszenarien, die seit dem SRES<sup>10</sup> publiziert wurden, sind (im Hinblick auf ihre Bandbreite) mit denen im IPCC-Sonderbericht zu Emissionsszenarien (Special Report on Emission Scenarios, SRES) vergleichbar (25–135 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr im Jahr 2100, siehe Abbildung SPM.4). (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)**

- Untersuchungen nach dem SRES haben niedrigere Werte für einige Emissionsantriebe eingesetzt, vor allem für Bevölkerungsentwicklungen. Jedoch ergaben in Untersuchungen, die diese neuen Bevölkerungsprojektionen einbezogen hatten, Änderungen in anderen Antrieben, wie z.B. dem Wirtschaftswachstum, nur geringe Änderungen in den Gesamtemissionen. Projektionen des Wirtschaftswachstums in Afrika, Lateinamerika und dem Mittleren Osten bis 2030 sind in nach dem SRES erschienenen Szenarien niedriger als im

SRES, aber dies hat nur geringe Auswirkungen auf das globale Wirtschaftswachstum und die Gesamtemissionen [3.2].

- Emissionen von Aerosolen und ihren Vorläufern, einschließlich Schwefeldioxid, Rußes und organischen Kohlenstoffs, die netto eine Abkühlung bewirken,<sup>11</sup> werden besser berücksichtigt. Sie werden im Allgemeinen niedriger projiziert als im SRES [3.2].
- Die verfügbaren Studien weisen darauf hin, dass die Wahl des Wechselkurses für das BIP (Marktwechselkurse oder KKP) die projizierten Emissionen nicht nennenswert beeinflusst, solange die Einheiten durchgängig verwendet werden<sup>12</sup>. Die Unterschiede, falls sie bestehen, sind klein im Vergleich zu den Unsicherheiten, die durch Annahmen über andere Parameter in den Szenarien, z.B. den Technologiewandel, entstehen. [3.2]

<sup>10</sup> Referenzszenarien schließen keine zusätzlichen klimapolitischen Maßnahmen über die aktuellen hinaus ein; neuere Untersuchungen unterscheiden sich hinsichtlich der Einbeziehung von UNFCCC und Kyoto-Protokoll.

<sup>11</sup> Siehe AR4 WG I-Bericht, Kapitel 10.2.

<sup>12</sup> Seit dem 3. IPCC-Sachstandsbericht (Third Assessment Report, TAR) wurde über die Verwendung unterschiedlicher Wechselkurse in Emissionsszenarien diskutiert. Zwei Maßeinheiten werden für den Vergleich des BIP unterschiedlicher Länder verwendet. Die Anwendung von Marktwechselkursen (market exchange rate, MER) ist bei solchen Analysen vorzuziehen, in denen es um international gehandelte Produkte geht. Die Anwendung von Kaufkraftparität KKP (purchasing power parity, PPP) ist wiederum bei Analysen vorzuziehen, in denen es um Einkommensvergleiche zwischen Ländern sehr unterschiedlichen Entwicklungsgrades geht. Die meisten monetären Einheiten in diesem Bericht sind in Marktwechselkursen ausgedrückt. Dies spiegelt die große Mehrheit der Literatur zu Emissionsminderung wider, die auf Marktwechselkurse kalibriert ist. Wo monetäre Einheiten in KKP ausgedrückt sind, ist dies durch BIPKKP gekennzeichnet.

### **KASTEN SPM.1: DIE EMISSIONSSZENARIEN DES IPCC-SONDERBERICHTS ZU EMISSIONSSZENARIEN (SPECIAL REPORT ON EMISSION SCENARIOS, SRES)**

**A1.** Die A1-Modellgeschichte und -Szenarienfamilie beschreibt eine zukünftige Welt mit sehr raschem Wirtschaftswachstum, einer Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung, und mit rascher Einführung neuer und effizienterer Technologien. Wichtige grundlegende Themen sind Annäherung von Regionen, Entwicklung von Handlungskompetenz sowie zunehmende kulturelle und soziale Interaktion bei substantieller Verringerung regionaler Unterschiede der Pro-Kopf-Einkommen. Die A1-Szenarien-Familie teilt sich in drei Gruppen auf, die unterschiedliche Ausrichtungen technologischer Änderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Hauptstossrichtung: fossil-intensive, d.h. intensive Nutzung fossiler Brennstoffe (A1FI), nichtfossile Energiequellen (A1T) oder eine ausgewogene Nutzung (balance) aller Quellen (A1B) (wobei ausgewogene Nutzung definiert ist als eine nicht allzu große Abhängigkeit von einer bestimmten Energiequelle und durch die Annahme einer ähnlichen Verbesserungsrate für alle Energieversorgungs- und -verbrauchstechnologien).

**A2.** Die A2-Modellgeschichte und -Szenarien-Familie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Das Grundthema ist Autarkie und Bewahrung lokaler Identitäten. Die Fertilitätsmuster verschiedener Regionen konvergieren nur sehr langsam, was eine stetig wachsende Bevölkerung zur Folge hat. Die wirtschaftliche Entwicklung ist vorwiegend regional orientiert und das Pro-Kopf-Wirtschaftswachstum und technologische Veränderungen sind bruchstückhafter und langsamer als in anderen Modellgeschichten.

**B1.** Die B1-Modellgeschichte und -Szenarien-Familie beschreibt eine konvergente Welt, mit der gleichen, Mitte des 21. Jahrhunderts kulminierenden und danach rückläufigen Weltbevölkerung wie in der A1-Modellgeschichte, jedoch mit raschen Änderungen der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, bei gleichzeitigem Rückgang des Materialverbrauchs und Einführung von saubereren und ressourcen-effizienten Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich besserer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

**B2.** Die B2-Modellgeschichte und -Szenarien-Familie beschreibt eine Welt mit Schwergewicht auf lokalen Lösungen für wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit. Es ist eine Welt mit einer stetig, jedoch langsamer als in A2 ansteigenden Weltbevölkerung, wirtschaftlicher Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem, dafür stärker diversifiziertem technologischem Fortschritt als in den B1- und A1-Modellgeschichten. Während das Szenario auch auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit ausgerichtet ist, liegt das Schwergewicht auf der lokalen und regionalen Ebene.

Für jede der sechs Szenarien-Gruppen A1B, A1FI, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein veranschaulichendes Szenario ausgewählt. Alle sollten als gleich stichhaltig betrachtet werden.

Die SRES-Szenarien beinhalten keine zusätzlichen Klimainitiativen; d.h. es sind keine Szenarien berücksichtigt, die ausdrücklich von einer Umsetzung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (UNFCCC) oder den Emissionszielsetzungen des Kyoto-Protokolls ausgehen.

*Dieser Kasten mit einer Zusammenfassung der SRES-Szenarien ist dem Dritten IPCC-Sachstandsbericht (Third Assessment Report) entnommen und wurde zuvor Zeile für Zeile vom IPCC verabschiedet*

## KASTEN SPM.2: EMISSIONSMINDERUNGSPOTENZIAL UND ANALYTISCHE HERANGEHENSWEISEN

Das Konzept des „Emissionsminderungspotenzials“ wurde entwickelt, um das Ausmaß der THG-Emissionsminderung einzuschätzen, das im Verhältnis zu den Referenzemissionen zu einem festgelegten Kohlendioxidpreis (ausgedrückt in Kosten pro Einheit an vermiedenen oder verringerten CO<sub>2</sub>-Äq.-Emissionen) erreicht werden könnte. Das Emissionsminderungspotenzial wird weiter in „Marktpotenzial“ und „wirtschaftliches Potenzial“ unterschieden.

**Marktpotenzial** ist das auf der Anlastung privater Kosten und Diskontraten<sup>13</sup> basierende Emissionsminderungspotenzial, das unter prognostizierten Marktbedingungen, einschließlich der zurzeit vorhandenen Politiken und Maßnahmen, erwartet werden kann. Dabei wird berücksichtigt, dass Hemmnisse die tatsächliche Umsetzung begrenzen [2.5].

**Wirtschaftliches Potenzial** ist das Emissionsminderungspotenzial, das eine Anlastung sozialer Kosten, Gewinne und Diskontraten<sup>14</sup> mit einbezieht, unter der Annahme, dass die Effizienz des Marktes durch Politiken und Maßnahmen verbessert wird und dass Hemmnisse abgebaut werden [2.4].

Untersuchungen des Marktpotenzials können genutzt werden, um Politiker über das Emissionsminderungspotenzial bei derzeitigen Politiken und Hemmnissen zu informieren, während Untersuchungen des wirtschaftlichen Potenzials zeigen, was erreicht werden könnte, wenn angemessene neue und zusätzliche Politiken eingesetzt würden, um Hemmnisse abzubauen und soziale Kosten und Gewinne mit einzubeziehen. Das wirtschaftliche Potenzial ist daher im Allgemeinen größer als das Marktpotenzial.

Das Emissionsminderungspotenzial wird über unterschiedliche Vorgehensweisen abgeschätzt. Es gibt zwei große Klassen, „bottom-up-“, und „top-down“-Untersuchungen, die überwiegend für die Einschätzung des wirtschaftlichen Potenzials genutzt wurden.

**Bottom-up-Untersuchungen** basieren auf der Bewertung von Optionen zur Emissionsminderung, wobei der Schwerpunkt auf bestimmten Technologien und Regulierungen liegt. Es handelt sich typischerweise um sektorale Untersuchungen unter der Annahme einer unveränderten Makroökonomie. Sektorale Abschätzungen wurden, wie im TAR, aggregiert, um eine Abschätzung des globalen Emissionsminderungspotenzials für diesen Bericht zu liefern.

**Top-down-Untersuchungen** bewerten das gesamtwirtschaftliche Potenzial an Emissionsminderungsmöglichkeiten. Sie nutzen weltweit konsistente Rahmenbedingungen und aggregierte Informationen über Emissionsminderungsoptionen und schließen makroökonomische und Markt-Rückkopplungen mit ein.

*Bottom-up-* und *Top-Down-*Modelle sind sich seit dem TAR ähnlicher geworden, weil *Top-down-*Modelle mehr technologische Emissionsminderungsoptionen und *Bottom-up-*Modelle mehr makroökonomische und Markt-Rückkopplungen mit einbezogen haben und auch eine Analyse der Hemmnisse in ihre Modellstrukturen aufgenommen haben. *Bottom-up-*Untersuchungen sind insbesondere für die Einschätzung spezifischer politischer Optionen auf sektoraler Ebene nützlich, z.B. Optionen zur Verbesserung der Energieeffizienz, wohingegen *Top-down-*Untersuchungen für eine Einschätzung sektorübergreifender und gesamtwirtschaftlicher Klimaschutzmaßnahmen, wie z.B. Kohlendioxidsteuern und Stabilisierungspolitiken, nützlich sind. Aktuelle *bottom-up* und *top-down* Untersuchungen des wirtschaftlichen Potenzials sind jedoch nur bedingt in der Lage, die Wahl von Lebensstilen sowie alle externen Effekte, wie zum Beispiel lokale Luftverschmutzung, zu berücksichtigen. Die Darstellung einiger Regionen, Länder, Sektoren, Gase und Hemmnisse ist begrenzt. Die potenziellen Vorteile vermiedener Klimaänderung werden nicht auf die projizierten Kosten der Minderung von Treibhausgasemissionen angerechnet.

<sup>13</sup> Private Kosten und Diskontraten spiegeln die Perspektive von privaten Verbrauchern und Unternehmen wider; siehe Glossar für eine ausführlichere Beschreibung.

<sup>14</sup> Soziale Kosten und Diskontraten spiegeln die Perspektive der Gesellschaft wider. Soziale Diskontraten sind niedriger als die von privaten Investoren genutzten; siehe Glossar für eine ausführlichere Beschreibung.

### KASTEN SPM.3: ANNAHMEN IN UNTERSUCHUNGEN ZU EMISSIONSMINDERUNGSPORTFOLIOS UND MAKROÖKONOMISCHEN KOSTEN

In diesem Bericht bewertete Untersuchungen zu Emissionsminderungsportfolios und makroökonomischen Kosten basieren auf Top-down-Modellen. Die meisten Modelle nutzen für ihre Emissionsminderungsportfolios einen globalen Mindestkostenansatz, berücksichtigen einen allumfassenden Emissionshandel – unter der Annahme von transparenten Märkten ohne Transaktionskosten – und gehen daher von einer perfekten Umsetzung von Emissionsminderungsmaßnahmen über das ganze 21. Jahrhundert aus. Kosten werden für einen bestimmten Zeitpunkt angegeben.

Die global modellierten Kosten werden ansteigen, wenn einige Regionen, Sektoren (z.B. Landnutzung), Optionen oder Gase ausgeschlossen werden. Die global modellierten Kosten werden abnehmen, wenn niedrigere Referenzwerte eingesetzt, die Gewinne aus Kohlendioxidsteuern und versteigerten Zertifikaten verwendet werden und induziertes technologisches Lernen mit einbezogen wird. Diese Modelle berücksichtigen keine klimatischen Vorteile und im Allgemeinen auch keine positiven Nebeneffekte von Emissionsminderungsmaßnahmen oder Gerechtigkeitsfragen.

### KASTEN SPM.4: DIE MODELLIERUNG VON INDUZIERTEM TECHNOLOGIEWANDEL

Die einschlägige Literatur besagt, dass Politiken und Maßnahmen einen technologischen Wandel herbeiführen können. Bei der Anwendung von Ansätzen, die auf induziertem Technologiewandel beruhen, auf Stabilisierungsuntersuchungen wurden bemerkenswerte Fortschritte gemacht; es verbleiben jedoch konzeptionelle Fragen. In den Modellen, die diese Ansätze anwenden, sind die projizierten Kosten für ein bestimmtes Stabilisierungsniveau reduziert; und die Reduzierungen sind bei niedrigeren Stabilisierungsniveaus größer.

## C. Kurz- und mittelfristige Emissionsminderung (bis 2030)

5. Sowohl Bottom-up- als auch Top-down-Untersuchungen weisen darauf hin, dass ein signifikantes wirtschaftliches Potenzial für die Minderung von globalen Treibhausgasemissionen über die nächsten Jahrzehnte besteht, das den projizierten Zuwachs globaler Emissionen kompensieren oder die Emissionen unter die aktuellen Werte senken könnte (*hohe Übereinstimmung, starke Beweislage*).

Um die Bandbreiten der Referenzwerte, der Geschwindigkeiten des Technologiewandels und anderer Faktoren, die für die unterschiedlichen Ansätze spezifisch sind, wiederzugeben, werden die in den Abschätzungen enthaltenen Unsicherheiten in den unten dargestellten Tabellen als Bereiche angegeben. Darüber hinaus entstehen Unsicherheiten auch aus der begrenzten Information zur weltweiten Erfassung von Ländern, Sektoren und Gasen.

#### Bottom-up-Untersuchungen:

- Das für diesen Bericht über Bottom-up-Ansätze abgeschätzte wirtschaftliche Potenzial im Jahr 2030 (siehe Kasten SPM.2) ist nachfolgend in Tabelle SPM.1 und in Abbildung SPM.5A dargestellt. Zum Vergleich: Die Emissionen im Jahr 2000 betragen 43 Gt CO<sub>2</sub>-Äq. [11.3]:
- Untersuchungen weisen darauf hin, dass Emissionsminderungsmöglichkeiten mit negativen Nettokosten<sup>15</sup> das Potenzial haben, Emissionen im Jahr 2030 um etwa 6 Gt CO<sub>2</sub>-Äq./Jahr zu senken. Dies zu realisieren erfordert, sich mit Hemmnissen bei der Umsetzung zu befassen. [11.3]
- Die gesamte Herausforderung der Emissionsminderung kann nicht von einem Sektor oder mit einer Technologie alleine angegangen werden. Alle bewerteten Sektoren tragen zum Gesamtergebnis bei (siehe Abbildung SPM.6). Die Schlüsseltechnologien zur Emissionsminderung für die jeweiligen Sektoren sind in Tabelle SPM.3 aufgeführt [4.3, 4.4, 5.4, 6.5, 7.5, 8.4, 9.4, 10.4].

<sup>15</sup>In diesem Bericht, wie auch im Zweiten (SAR) und Dritten (TAR) Sachstandsbericht, sind Optionen mit negativen Nettokosten (no regret bzw. nachteilfreie Optionen) als diejenigen Optionen definiert, deren Vorteile wie geringere Energiekosten und verringerte Emissionen lokaler/regionaler Schadstoffe ihre Kosten für die Gesellschaft aufwiegen oder übersteigen, wobei die Vorteile einer vermiedenen Klimaänderung ausgeklammert werden (siehe Kasten SPM.1).

**Top-down-Untersuchungen:**

- Top-down-Untersuchungen ergeben für das Jahr 2030 einen Emissionsrückgang, wie er in Tabelle SPM.2 und in Abbildung SPM.5B dargestellt ist. Die in den Top-down-Untersuchungen berechneten weltweiten wirtschaftlichen Potenziale entsprechen den Bottom-up-Untersuchungen

(siehe Kasten SPM.2), obgleich auf sektoraler Ebene beträchtliche Unterschiede bestehen [3.6].

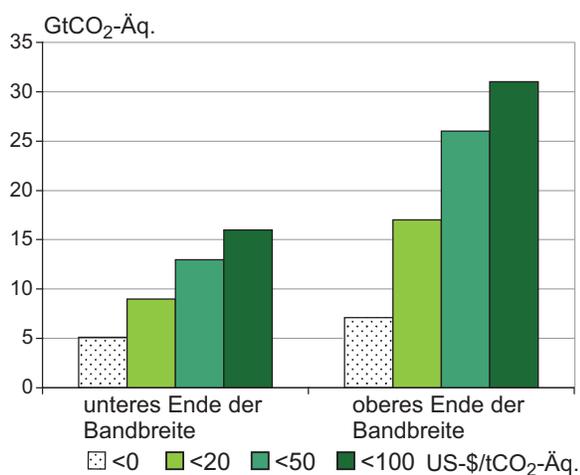
- Die Schätzungen in Tabelle SPM.2 stammen aus Stabilisierungsszenarien, d.h. aus Läufen mit dem Ziel einer langfristigen Stabilisierung der atmosphärischen THG-Konzentration [3.6].

**Tabelle SPM.1:** aus Bottom-up-Untersuchungen geschätztes weltweites wirtschaftliches Emissionsminderungspotenzial im Jahr 2030.

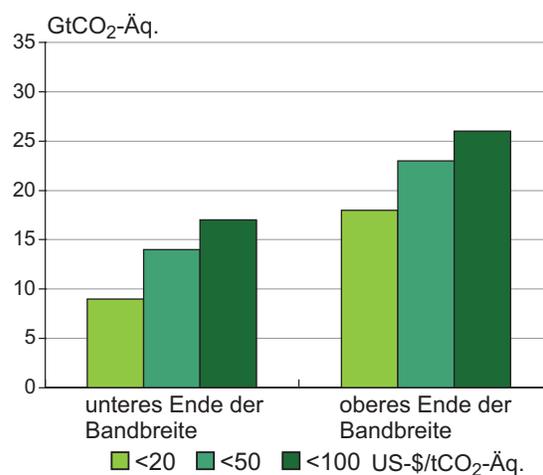
Kohlendioxidpreis (US-\$/t CO <sub>2</sub> -Äq.)	Wirtschaftliches Emissions- minderungspotenzial (Gt CO <sub>2</sub> -Äq./Jahr)	Verringerung gegenüber SRES A1 B (68 Gt CO <sub>2</sub> -Äq./Jahr) (68 GtCO <sub>2</sub> -eq/yr) (%)	Verringerung gegenüber SRES B2 (49 Gt CO <sub>2</sub> -Äq./Jahr) (49 GtCO <sub>2</sub> -eq/yr) (%)
0	5–7	7–10	10–14
20	9–17	14–25	19–35
50	13–26	20–38	27–52
100	16–31	23–46	32–63

**Tabelle SPM.2:** aus Top-down-Untersuchungen geschätztes weltweites wirtschaftliches Potenzial im Jahr 2030.

Kohlendioxidpreis (US-\$/t CO <sub>2</sub> -Äq.)	Wirtschaftliches Emissions- minderungspotenzial (Gt CO <sub>2</sub> -Äq./Jahr)	Verringerung gegenüber SRES A1 B (68 Gt CO <sub>2</sub> -Äq./Jahr) (68 GtCO <sub>2</sub> -eq/yr) (%)	Verringerung gegenüber SRES B2 (49 Gt CO <sub>2</sub> -Äq./Jahr) (49 GtCO <sub>2</sub> -eq/yr) (%)
20	9–18	13–27	18–37
50	14–23	21–34	29–47
100	17–26	25–38	35–53


**Abbildung SPM.5A:**

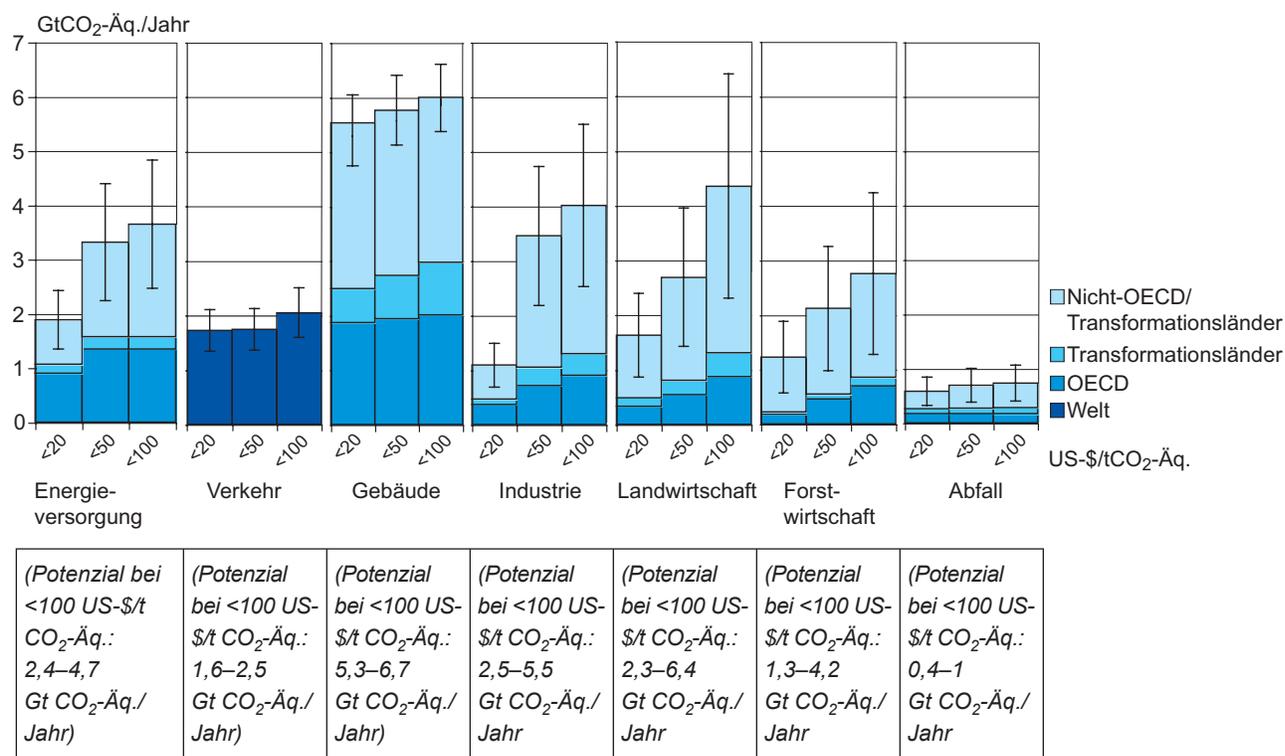
in Bottom-up-Untersuchungen abgeschätztes weltweites wirtschaftliches Potenzial im Jahr 2030 (Daten aus Tabelle SPM.1)


**Abbildung SPM.5B:**

in Top-down-Untersuchungen abgeschätztes weltweites wirtschaftliches Potenzial im Jahr 2030 (Daten aus Tabelle SPM.2)

**Tabelle SPM.3:** Schlüsseltechnologien und –praktiken zur Emissionsminderung nach Sektoren. Sektoren und Technologien sind in keiner bestimmten Reihenfolge aufgeführt. Nicht-technologische Praktiken, wie z.B. Änderungen im Lebensstil, die sich durch alle Sektoren ziehen, sind nicht in dieser Tabelle enthalten (werden aber in Abschnitt 7 dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger behandelt).

Sektor	Aktuell auf dem Markt befindliche Schlüsseltechnologien und -praktiken zur Emissionsminderung.	Schlüsseltechnologien und -praktiken zur Emissionsminderung, die laut Projektionen bis 2030 auf den Markt kommen.
Energieversorgung [4.3, 4.4]	Erhöhte Versorgungs- und Verteilungseffizienz; Brennstoffwechsel von Kohle zu Gas; Kernenergie; erneuerbare Energien für Wärme und Strom (Wasserkraft, Solarenergie, Windkraft, Erdwärme und Biomasse); Kraft-Wärme-Kopplung; frühe Anwendung von CO <sub>2</sub> -Abtrennung und –speicherung (CCS; z.B. Speicherung von aus Erdgas entferntem CO <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub> -Abtrennung und –speicherung (CCS) für gas-, biomasse- oder kohlebetriebene Stromkraftwerke; weiterentwickelte Kernenergie; weiterentwickelte erneuerbare Energien, einschl. Gezeiten- und Wellenkraftwerke, solarthermische Energie (CSP – <i>concentrating solar power</i> ) und solare Photovoltaik
Verkehr [5.4]	Treibstoffeffizientere Fahrzeuge; Hybridfahrzeuge; sauberere Dieselfahrzeuge; Biotreibstoffe; modale Verlagerung vom Straßenverkehr auf die Schiene und öffentliche Verkehrssysteme; schnelle öffentliche Verkehrssysteme, nicht-motorisierter Verkehr (Fahrradfahren, Zulußgehen); Landnutzungs- und Verkehrsplanung	Biotreibstoffe zweiter Generation; effizientere Flugzeuge; weiterentwickelte Elektro- und Hybridfahrzeuge mit stärkeren und zuverlässigeren Batterien
Gebäude [6.5]	Effiziente Beleuchtung und Ausnutzung des Tageslichts; effizientere Elektrogeräte und Heiz- und Kühlvorrichtungen; weiterentwickelte Kochherde; bessere Wärmedämmung; passive und aktive Solararchitektur für Heizung und Kühlung; alternative Kühlflüssigkeiten, Rückgewinnung und Wiederverwertung von fluorierten Gasen	Integrale Energiekonzepte für Geschäftsgebäude einschließlich Technologien wie z.B. intelligente Zähler, die Rückkopplung und Steuerung ermöglichen; in Gebäude integrierte Photovoltaik
Industrie [7.5]	Effizientere elektrische Endverbraucher-ausrüstung; Wärme- und Stromrückgewinnung; Materialwiederverwertung und –ersatz; Emissionsminderung von Nicht-CO <sub>2</sub> -Gasen; sowie ein breites Spektrum an prozessspezifischen Technologien	Weiterentwickelte Energieeffizienz; CCS bei Zement-, Ammoniak- und Eisenherstellung; inerte Elektroden für die Aluminiumherstellung
Landwirtschaft [8.4]	Verbessertes Management von Acker- und Weideflächen zur Erhöhung der Kohlenstoffspeicherung im Boden; Renaturierung von kultivierten Torfböden und degradierten Böden; verbesserte Reisanbautechniken sowie Vieh- und Düngemanagement zur Verringerung von CH <sub>4</sub> -Emissionen; verbesserte Stickstoffdüngung zur Verringerung von N <sub>2</sub> O-Emissionen; gezielter Anbau von Energiepflanzen als Ersatz für fossile Brennstoffe; erhöhte Energieeffizienz	Verbesserung der Ernteerträge
Forstwirtschaft [9.4]	(Wieder-)Aufforstung; Forstwirtschaft; reduzierte Entwaldung; Regulierung von Holzprodukten; Nutzung von Forstprodukten für Bioenergie als Ersatz für fossile Brennstoffe	Weiterentwicklung von Baumarten zur Steigerung der Biomasseproduktivität und Kohlenstoffspeicherung. Verbesserte Fernerkundungstechnologien für die Analyse des Potenzials zur Kohlendioxidaufnahme durch Vegetation/Boden und für die Kartierung von Landnutzungsänderungen
Abfall [10.4]	Rückgewinnung von Methan aus Deponien; Müllverbrennung mit Energierückgewinnung; Kompostierung organischer Abfälle; kontrollierte Abwasserbehandlung; Recycling und Abfallminimierung	Methanoxidationsschicht (Biocover) und Biofilter für optimierte CH <sub>4</sub> -Oxidation



**Abbildung SPM.6:** Geschätztes sektorales wirtschaftliches Potenzial zur weltweiten Emissionsminderung für verschiedene Regionen als Funktion des Kohlendioxidpreises im Jahr 2030 aus bottom-up-Untersuchungen im Vergleich zu den jeweiligen Referenzwerten, die für die sektoralen Bewertungen angenommen wurden. Eine ausführliche Erläuterung der Herleitung dieser Abbildung wird in Kapitel 11.3 gegeben.

Anmerkungen:

- Die Bandbreiten für die weltweiten wirtschaftlichen Potenziale, wie sie für jeden Sektor abgeschätzt wurden, sind durch senkrechte Linien angegeben. Die Bandbreiten basieren auf der Zuordnung von Emissionen zum Endnutzer, was bedeutet, dass Emissionen aus dem Stromverbrauch den Endnutzer-Sektoren zugeordnet werden und nicht dem Energieversorgungssektor.
- Die geschätzten Potenziale wurden durch die Verfügbarkeit von Untersuchungen, insbesondere für hohe Kohlendioxidpreiseniveaus, eingeschränkt.
- Für die Sektoren wurden unterschiedliche Referenzszenarien verwendet. Für den Sektor Industrie wurde das Referenzszenario SRES B2 benutzt; für Energieversorgung und Verkehr wurde das Referenzszenario des WEO 2004 benutzt; der Sektor Gebäude basiert auf einem Referenzszenario zwischen SRES B2 und A1B; für Abfall wurden die Treibergrößen aus SRES A1B benutzt, um ein abfallspezifisches Referenzszenario zu schaffen; Land- und Forstwirtschaft basieren auf Referenzszenarien, die größtenteils SRES B2-Treibergrößen benutzen.
- Für Verkehr sind nur weltweite Gesamtwerte angegeben, da internationaler Flugverkehr mit einbezogen ist [5.4].
- Ausgeschlossene Kategorien sind: Nicht-CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Gebäuden und Verkehr; einige Optionen zur Materialeffizienz; Wärmeerzeugung und Kraft-Wärme-Kopplung in der Energieversorgung; Schwerlastfahrzeuge; Schiffsverkehr und stark ausgelastete öffentliche Verkehrsmittel; die meisten kostenintensiven Optionen für Gebäude; Abwasserbehandlung; Emissionsminderung aus Kohlebergwerken und Gaspipelines; fluorierte Gase aus Energieversorgung und Verkehr. Die Unterschätzung des gesamten wirtschaftlichen Potenzials aufgrund der Nichtberücksichtigung dieser Emissionen liegt in der Größenordnung von 10–15%.

**6. Für das Jahr 2030 liegen die Schätzungen der gesamtwirtschaftlichen Kosten für eine Multi-Gas-Emissionsminderung, die Emissionstrajektorien in Richtung einer Stabilisierung zwischen 445 und 710 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. entspricht, zwischen einer weltweiten BIP-Reduzierung von 3% und einem kleinen Zuwachs im Vergleich zum Referenzszenario (siehe Tabelle SPM.4). Regionale Kosten können**

**sich jedoch signifikant von globalen Mittelwerten unterscheiden (hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage) (siehe Kasten SPM.3 zu Methodik und Annahmen bezüglich dieser Ergebnisse).**

- Die meisten Untersuchungen kommen zu dem Schluss, dass die BIP-Reduzierung im Vergleich zum BIP-Referenzwert mit der Strenge des Stabilisierungsziels ansteigt.

**Tabelle SPM.4:** Geschätzte weltweite gesamtwirtschaftliche Kosten im Jahr 2030<sup>a</sup> für die Mindestkosten-Trajektorien für verschiedene langfristige Stabilisierungsniveaus.<sup>b, c</sup>

Stabilisierungsniveaus (ppm CO <sub>2</sub> -Äq.)	Median der BIP-Reduzierung <sup>d</sup> (%)	Bandbreite der BIP-Reduzierung <sup>d, e</sup> (%)	Reduzierung der durchschnittlichen jährlichen BIP-Zuwachsraten <sup>d, f</sup> (Prozentpunkte)
590–710	0.2	-0.6–1.2	<0.06
535–590	0.6	0.2–2.5	<0.1
445–535 <sup>g</sup>	not available	<3	<0.12

- a Für ein gegebenes Stabilisierungsniveau würde die BIP-Reduzierung in den meisten Modellen nach dem Jahr 2030 mit der Zeit zunehmen. Langfristige Kostenaufgaben werden auch unsicherer. [Abbildung 3.25]
- b Die Ergebnisse beruhen auf Untersuchungen, die verschiedene Referenzszenarien verwenden.
- c Die Untersuchungen unterscheiden sich im Hinblick auf den Zeitpunkt, zu dem die Stabilisierung erreicht wird; im Allgemeinen ist dies im Jahr 2100 oder später.
- d Dies ist weltweites BIP basierend auf Marktwechselkursen.
- e Angegeben sind der Median und der Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil der untersuchten Daten.
- f Die Berechnung der Reduzierung der jährlichen Zuwachsraten basiert auf der durchschnittlichen Reduzierung während der Zeit bis 2030, der zu der angegebenen BIP-Reduzierung im Jahr 2030 führen würde.
- g Es gibt relativ wenige Untersuchungen, die BIP-Ergebnisse nennen, und sie verwenden im Allgemeinen niedrige Referenzwerte.

- In Abhängigkeit vom bestehenden Steuersystem und der Verwendung von Erträgen lassen Modellstudien erkennen, dass die Kosten erheblich niedriger sein könnten, unter der Annahme, dass Erlöse aus Kohlendioxidsteuern oder aus versteigerten Zertifikaten unter einem Emissionshandelssystem benutzt werden, um kohlendioxidarme Technologien zu fördern oder bestehende Steuern zu reformieren [11.4].
- Untersuchungen, die die Möglichkeit einschließen, dass Klimaschutzpolitik einen verstärkten Technologiewandel hervorruft, liefern ebenfalls geringere Kosten. Dies kann jedoch höhere Investitionen am Anfang nötig machen, um später eine Kostenreduzierung zu erhalten [3.3, 3.4, 11.4, 11.5, 11.6].
- Obwohl die meisten Modelle BIP-Reduzierungen zeigen, weisen manche BIP-Gewinne aus, da sie annehmen, dass die Referenzszenarien nicht optimal sind und Emissionsminderungsmaßnahmen die Effizienz des Marktes verbessern, oder durch Emissionsminderungsmaßnahmen mehr Technologiewandel hervorgerufen wird. Beispiele für Marktineffizienzen sind unter anderem ungenutzte Ressourcen, verzerrende Steuern und/oder Subventionen [3.3, 11.4].
- Ein Multi-Gas-Ansatz und die Einbeziehung von Kohlendioxidseken reduzieren im Allgemeinen die Kosten wesentlich stärker als die alleinige Bekämpfung von CO<sub>2</sub>-Emissionen.

- Regionale Kosten hängen zum Großteil vom angenommenen Stabilisierungsniveau und dem Referenzszenario ab. Das Allokationsregime ist ebenfalls von Bedeutung, aber für die meisten Länder in geringerem Ausmaß als das Stabilisierungsniveau [11.4, 13.3].

**7. Änderungen des Lebensstils und der Verhaltensmuster können über alle Sektoren hinweg zum Klimaschutz beitragen. Managementpraktiken können ebenfalls eine positive Rolle spielen. (hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage)**

- Änderungen im Lebensstil können THG-Emissionen verringern. Änderungen der Lebensstile und Konsummuster, die Wert auf den Ressourcenschutz legen, können zur Entwicklung einer kohlendioxidarmen Wirtschaft beitragen, die sowohl gerecht als auch nachhaltig ist [4.1, 6.7].
- Weiterbildung und Schulungsprogramme können helfen, Hemmnisse bei der Marktakzeptanz von Energieeffizienz zu überwinden, insbesondere in Kombination mit anderen Maßnahmen [Tabelle 6.6].
- Änderungen im Nutzerverhalten, in kulturellen Mustern und in der Wahl und der Nutzung von Technologien durch die Verbraucher können zu einer erheblichen Verringerung von CO<sub>2</sub>-Emissionen im Zusammenhang mit dem Energieverbrauch in Gebäuden führen [6.7].

- Maßnahmen zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage (Transport Demand Management), einschließlich Stadtplanung (die den Mobilitätsbedarf senken kann) und der Bereitstellung von Information und Ausbildungstechniken (die die Autonutzung senken und zu einem effizienteren Fahrstil führen können), können die Minderung von Treibhausgasemissionen unterstützen [5.1].
  - In der Industrie können Managementinstrumente, die Mitarbeiterschulungen, Belohnungssysteme, regelmäßige Rückmeldungen und die Dokumentation vorhandener Verfahrensweisen mit einschließen, helfen, organisatorische Hemmnisse in der Industrie zu überwinden und den Energieverbrauch sowie die Treibhausgasemissionen zu senken [7.3].
- 8. Obwohl die Untersuchungen unterschiedliche Methoden anwenden, können in allen untersuchten Weltregionen die kurzfristigen Vorteile für die Gesundheit durch geringere Luftverschmutzung als Folge von Maßnahmen zur Minderung von Treibhausgasemissionen erheblich sein und einen erheblichen Teil der Emissionsminderungskosten aufwiegen (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)**
- Die Einbeziehung anderer positiver Nebeneffekte außer Gesundheit, wie z.B. erhöhte Energiesicherheit, erhöhte landwirtschaftliche Produktion und geringere Belastung natürlicher Ökosysteme aufgrund niedrigerer troposphärischer Ozonkonzentrationen, würden die Kostenersparnis weiter vergrößern. [11.8]
  - Die Zusammenführung von Luftverschmutzungsbekämpfung und Klimaschutzpolitik bietet potenziell große Kostenreduzierungen im Vergleich zur getrennten Behandlung dieser Bereiche. [11.8]
- 9. Die nach dem Dritten Sachstandsbericht (TAR) entstandene Literatur bestätigt, dass Initiativen in Annex I-Ländern Auswirkungen auf die globale Wirtschaft und die weltweiten Emissionen haben können, obwohl das Ausmaß von Verlagerungen von Kohlendioxidemissionen („Leckageeffekten“) unsicher bleibt (hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage).**
- Nationen, die fossile Brennstoffe exportieren (sowohl in Annex I- wie auch in Nicht-Annex I-Ländern) können, wie im TAR<sup>16</sup> angemerkt, geringere Nachfrage und Preise sowie ein geringeres BIP-Wachstum aufgrund von Emissionsminderungsmaßnahmen erwarten. Das Ausmaß dieses spill-over-Effekts<sup>17</sup> hängt stark von den Annahmen zu politischen Entscheidungen und den Bedingungen auf dem Ölmarkt ab. [11.7]
  - Es verbleiben kritische Unsicherheiten in der Bewertung von Verlagerungen von Kohlendioxidemissionen<sup>18</sup>. Die meisten Gleichgewichtsmodelle unterstützen die Schlussfolgerung im TAR, dass durch Kyoto-Maßnahmen eine gesamtwirtschaftliche Verlagerung in der Größenordnung von 5–20% entstünde, die geringer ausfiele, wenn wettbewerbsfähige Niedrigemissionstechnologien effektiv verbreitet würden. [11.7].
- 10. Neue Investitionen in die Energieversorgung in Entwicklungsländern, die Erneuerung der Energieinfrastruktur in Industrieländern und Politiken zur Erhöhung der Energiesicherheit können in vielen Fällen Möglichkeiten für THG-Emissionsminderungen<sup>19</sup> im Vergleich zum Referenzszenario schaffen. Zusätzliche positive Nebeneffekte sind länderspezifisch, schließen aber oft die Bekämpfung von Luftverschmutzung, eine Verbesserung der Handelsbilanz, die Bereitstellung von moderner Energieversorgung in ländlichen Gegenden und Beschäftigung mit ein (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**
- Zukünftige Entscheidungen über Investitionen in Energieinfrastruktur, für die eine Gesamtsumme von über 20 Billionen US-\$<sup>20</sup> von heute bis zum Jahr 2030 erwartet wird, werden aufgrund der langen Nutzungsdauer von Kraftwerken und anderer Infrastruktur langfristige Auswirkungen auf THG-Emissionen haben. Eine umfassende Verbreitung kohlendioxidarmer Technologien kann Jahrzehnte dauern, selbst wenn frühzeitige Investitionen in diese Technologien attraktiv gemacht werden. Erste Abschätzungen zeigen, dass eine Rückkehr der weltweiten energiebezogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahr 2030 auf das Niveau von 2005 eine große Umlenkung von Investitionen nötig machen

<sup>16</sup> Siehe Dritter Sachstandsbericht WG III (2001), Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger, Abschnitt 16

<sup>17</sup> Spill-over-Effekte der Emissionsminderung in einer sektorübergreifenden Sichtweise sind die Effekte von Emissionsminderungspolitik und -maßnahmen in einem Land oder einer Gruppe von Ländern auf Sektoren in anderen Ländern.

<sup>18</sup> Kohlendioxidleckage (carbon leakage) ist definiert als der Anstieg an CO<sub>2</sub>-Emissionen außerhalb derjenigen Länder, die nationale Emissionsminderungsmaßnahmen umsetzen, geteilt durch den Rückgang der Emissionen dieser Länder.

<sup>19</sup> Siehe Tabelle SPM.1 und Abbildung SPM.6

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

würde, obwohl die zusätzlich benötigten Nettoinvestitionen von vernachlässigbar bis zu 5–10% reichen [4.1, 4.4, 11.6].

- Es ist oft kosteneffektiver, in die Verbesserung der Energieeffizienz des Endverbrauchs zu investieren, als die Energiebereitstellung zu erhöhen, um die Nachfrage nach Energiedienstleistungen zu befriedigen. Effizienzverbesserung hat einen positiven Effekt auf Energiesicherheit, lokale und regionale Luftverschmutzungsbekämpfung und Beschäftigung [4.2, 4.3, 6.5, 7.7, 11.3, 11.8].
- Erneuerbare Energien haben im Allgemeinen einen positiven Effekt auf Energiesicherheit, Beschäftigung und die Luftqualität. Bei Betrachtung der Kosten im Vergleich zu anderen Versorgungsmöglichkeiten kann Elektrizität aus erneuerbaren Energien, die 2005 18% der Stromversorgung ausmachte, bei Kohlendioxidpreisen von bis zu US-\$ 50/t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 einen Anteil von 30–35% an der gesamten Stromversorgung erreichen [4.3, 4.4, 11.3, 11.6, 11.8].
- Je höher die Marktpreise für fossile Brennstoffe, desto wettbewerbsfähiger werden kohlendioxidarme Alternativen sein, obwohl Preisschwankungen den Anreiz für Investoren vermindern werden. Auf der anderen Seite können teurere konventionelle Ölressourcen durch kohlendioxidintensive Alternativen wie Ölsande, Ölschiefer, Schweröle und synthetische Kraftstoffe aus Kohle und Gas ersetzt werden, was zu steigenden THG-Emissionen führen wird, es sei denn, die Produktionsstätten sind mit CCS ausgerüstet. [4.2, 4.3, 4.4, 4.5].
- Bei Betrachtung der Kosten im Vergleich zu anderen Versorgungsmöglichkeiten kann Kernenergie, die 2005 16% der Stromversorgung ausmachte, bei Kohlendioxidpreisen von bis zu US-\$ 50/t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 einen Anteil von 18% an der gesamten Stromversorgung erreichen. Jedoch verbleiben die Sicherheitsfrage, die Verbreitung von Waffen und der Atom Müll als Hemmnisse [4.2, 4.3, 4.4].<sup>21</sup>
- Kohlendioxidabtrennung und –speicherung (CCS) in unterirdischen geologischen Formationen stellt eine neue Technologie dar mit dem Potenzial, einen wichtigen Beitrag zur Emissionsminderung bis 2030 zu leisten. Technische, wirtschaftliche und gesetzliche Entwicklungen werden den tatsächlichen Beitrag beeinflussen [4.3, 4.4].

**11. Es gibt vielfältige Möglichkeiten zur Emissionsminderung im Verkehrssektor<sup>19</sup>, aber das Wachstum des Sektors kann deren Wirkung entgegenstehen. Den Möglichkeiten zur Emissionsminderung stehen viele Hemmnisse entgegen, wie z.B. Verbrauchervorlieben und der Mangel an politischen Rahmenbedingungen (mittlere Übereinstimmung, mittlere Beweislage).**

- Maßnahmen zur Verbesserung der Fahrzeugeffizienz, die zu Treibstoffersparnis führen, haben in vielen Fällen netto Vorteile (zumindest für leichte Nutzfahrzeuge), allerdings ist das Marktpotenzial aufgrund des Einflusses anderer Gesichtspunkte seitens der Verbraucher, wie z.B. Leistung und Größe, viel geringer als das wirtschaftliche Potenzial. Für eine Bewertung des Emissionsminderungspotenzials von Schwerlastkraftwagen liegen nicht genügend Informationen vor. Es ist daher nicht zu erwarten, dass Marktkräfte allein, einschließlich steigender Treibstoffkosten, zu signifikanten Emissionsrückgängen führen [5.3, 5.4].
- Biotreibstoffe könnten, je nach Herstellungsmethode, eine wichtige Rolle bei der Minderung von THG-Emissionen im Verkehrssektor spielen. Biotreibstoffe als Benzin- und Dieselsätze/ersatzstoffe wachsen im Referenzszenario im Jahr 2030 auf 3% des gesamten Energiebedarfs im Verkehrssektor an. Dieser Anteil könnte sich auf etwa 5–10% steigern, abhängig von den zukünftigen Öl- und Kohlendioxidpreisen, den Verbesserungen in der Fahrzeugeffizienz und dem Erfolg von Technologien für die Nutzung von Biomasse aus Zellulose [5.3, 5.4].
- Modale Verkehrsverlagerungen (modal shifts) von der Straße auf die Schiene und auf die Binnenschifffahrt sowie von gering zu hoch ausgelasteten Personenverkehrssystemen<sup>22</sup> wie auch Landnutzungs- und Stadtplanung und nicht-motorisierter Verkehr bieten Möglichkeiten zur Treibhausgas-minderung, abhängig von lokalen Gegebenheiten und Politiken [5.3, 5.5].
- Ein mittelfristiges Emissionsminderungspotenzial für CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Luftverkehrssektor kann mit verbesserter Treibstoffeffizienz geschaffen werden. Dies kann durch eine Vielzahl an Mitteln erreicht werden kann, einschließlich Technologie, Betriebsablauf und Luftverkehrsmanagement. Es wird jedoch erwartet, dass solche

<sup>21</sup> Österreich konnte diesem Absatz nicht zustimmen.

<sup>22</sup> Einschließlich Massentransport auf Schiene, Straße und Wasserwegen sowie Fahrgemeinschaften.

Verbesserungen das Wachstum von Luftverkehrsemissionen nur teilweise ausgleichen. Das gesamte Potenzial zur Emissionsminderung des Sektors müsste auch die Nicht-CO<sub>2</sub>-Klimawirkungen der Luftverkehrsemissionen erfassen [5.3, 5.4].

- Die Erzielung von Emissionsminderungen im Verkehrssektor ist oft ein positiver Nebeneffekt von Staubekämpfung, der Verbesserung der Luftqualität und der Energiesicherheit [5.5].

**12. Energieeffizienzoptionen<sup>19</sup> für neue und bestehende Gebäude könnten CO<sub>2</sub>-Emissionen beträchtlich reduzieren und dabei einen wirtschaftlichen Nettogewinn erzielen. Der Nutzung dieses Potenzials stehen zwar viele Hemmnisse entgegen, es gibt aber auch große positive Nebeneffekte (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Bis 2030 können etwa 30% der projizierten THG-Emissionen im Gebäudesektor mit wirtschaftlichem Nettogewinn vermieden werden [6.4, 6.5].
- Energieeffiziente Gebäude können, bei gleichzeitiger Begrenzung des CO<sub>2</sub>-Emissionsanstiegs, auch die Qualität der Innen- und Außenluft sowie die öffentliche Wohlfahrt verbessern und die Energiesicherheit erhöhen [6.6, 6.7].
- Möglichkeiten zur THG-Minderung im Gebäudesektor bestehen weltweit. Zahlreiche Hemmnisse erschweren jedoch die Umsetzung dieses Potenzials. Diese Hemmnisse beziehen sich unter anderem auf die Verfügbarkeit von Technologie, Finanzierung, Armut, höhere Kosten für verlässliche Informationen, Einschränkungen durch die Gebäudegestaltung und ein angemessenes Portfolio an Politiken und Programmen [6.7, 6.8].
- Das Ausmaß der oben genannten Hemmnisse ist in den Entwicklungsländern größer, und dies macht es für sie schwieriger, das THG-Minderungspotenzial im Gebäudesektor zu realisieren [6.7].

**13. Das wirtschaftliche Potenzial im Industriesektor<sup>19</sup> liegt hauptsächlich in energieintensiven Industriezweigen. Die verfügbaren Möglichkeiten zur Emissionsminderung werden weder in Industrie- noch in Entwicklungsländern voll ausgenutzt (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Viele Industrieanlagen in Entwicklungsländern sind neu und mit neuester Technologie mit nied-

rigstmöglichen spezifischen Emissionen ausgestattet. Jedoch verbleiben sowohl in Industrie- als auch in Entwicklungsländern viele ältere, ineffiziente Anlagen. Diese Anlagen nachzurüsten kann signifikante Emissionsminderungen bewirken [7.1, 7.3, 7.4].

- Der langsame Umschlag des Kapitalstocks, der Mangel an finanziellen und technischen Ressourcen und Einschränkungen in der Fähigkeit von Firmen, insbesondere kleinen und mittleren Unternehmen, auf technologische Information zuzugreifen und sie aufzunehmen, stellen wichtige Hemmnisse für die volle Ausnutzung von verfügbaren Emissionsminderungsmöglichkeiten dar [7.6].

**14. Landwirtschaftliche Verfahren können in ihrer Gesamtheit zu niedrigen Kosten<sup>19</sup> einen signifikanten Beitrag zur verstärkten Aufnahme von Kohlenstoff im Boden (Kohlenstoffsenken), zur THG-Emissionsminderung und durch die Lieferung von Biomasse zur Energieversorgung leisten (mittlere Übereinstimmung, mittlere Beweislage).**

- Ein Großteil des Potenzials zur Emissionsminderung in der Landwirtschaft (Bioenergie ausgenommen) beruht auf der Aufnahme von Kohlenstoff im Boden, wobei starke Synergien mit nachhaltiger Landwirtschaft bestehen und allgemein die Verwundbarkeit gegenüber der Klimaänderung verringert wird [8.4, 8.5, 8.8].
- Kohlenstoffspeicher im Boden können sowohl durch Änderungen im Landmanagement als auch durch die Klimaänderung anfällig für Verluste sein [8.10].
- Auch Verringerungen von Methan- und Lachgasemissionen in einigen landwirtschaftlichen Systemen bieten ein beträchtliches Emissionsminderungspotenzial [8.4, 8.5].
- Es gibt keine universell anwendbare Liste von Emissionsminderungsmaßnahmen; Maßnahmen müssen für die einzelnen landwirtschaftlichen Systeme und Gegebenheiten bewertet werden [8.4].
- Biomasse aus landwirtschaftlichen Rückständen und aus dem gezielten Anbau von Energiepflanzen kann einen bedeutenden Rohstoff für Bioenergie darstellen, ihr Beitrag zur Emissionsminderung hängt jedoch von der Nachfrage nach Bioenergie in Verkehr und Energieversorgung, der Wasserverfügbarkeit und dem Bedarf an An-

baufläche für die Nahrungs- und Faserproduktion ab. Eine ausgedehnte Nutzung landwirtschaftlicher Anbauflächen für die Produktion von Biomasse für die Energieversorgung kann mit anderen Formen der Landnutzung konkurrieren und kann positive wie negative Umwelteffekte sowie Auswirkungen auf die Nahrungsmittelsicherheit haben [8.4, 8.8].

**15. Forstwirtschaftliche Emissionsminderungsmaßnahmen können zu niedrigen Kosten Emissionen aus Quellen beträchtlich reduzieren und die Aufnahme in Senken steigern<sup>19</sup> und können so angelegt werden, dass Synergien mit Anpassungsmaßnahmen und nachhaltiger Entwicklung geschaffen werden (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage)<sup>23</sup>**

- Etwa 65% des gesamten Emissionsminderungspotenzials dieses Sektors (bis zu 100 US-\$/t CO<sub>2</sub>-Äq.) liegen in den Tropen, und etwa 50% des gesamten Sektorpotenzials könnte durch die Minderung von Emissionen aus Entwaldung erreicht werden [9.4].
- Die Klimaänderung kann das Emissionsminderungspotenzial im forstwirtschaftlichen Sektor (d.h. Urwälder und gepflanzte Wälder/Forste) beeinflussen. Es wird erwartet, dass dieser Einfluss sich nach Region und Subregion sowohl im Ausmaß als auch in der Richtung unterscheidet [9.5].
- Optionen zur Emissionsminderung in der Forstwirtschaft können so entworfen und umgesetzt werden, dass sie mit der Anpassung an den Klimawandel verträglich sind. Sie können beträchtliche positive Nebeneffekte bezüglich Beschäftigung, Einkommensschaffung, dem Schutz von biologischer Vielfalt und Wassereinzugsgebieten, der Versorgung mit erneuerbaren Energien und der Armutbekämpfung haben [9.5, 9.6, 9.7].

**16. Haushaltsmüll<sup>24</sup> trägt nur wenig zu den weltweiten THG-Emissionen bei<sup>25</sup> (<5%), aber der Abfallsektor kann zu niedrigen Kosten positiv zur THG-Minderung beitragen und nachhaltige Entwicklung fördern (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Bestehende Praktiken in der Abfallwirtschaft können für eine effektive Minderung von THG-Emissionen aus diesem Sektor sorgen: Es ist eine große Bandbreite an ausgereiften, umweltwirksamen Technologien auf dem Markt, um Emissionen zu mindern und positive Nebeneffekte für verbesserte öffentliche Gesundheit und Sicherheit, Bodenschutz und Vermeidung von Umweltverschmutzung sowie die lokale Energieversorgung zu liefern [10.3, 10.4, 10.5].
- Abfallminimierung und -wiederverwertung liefern wichtige indirekte Vorteile für die Emissionsminderung durch Energie- und Materialersparnisse [10.4].
- Der Mangel an lokalem Kapital stellt ein Haupthemmnis für die Abfall- und Abwasserwirtschaft in Entwicklungs- und Transformationsländern dar. Der Mangel an Fachkenntnissen über nachhaltige Technologie ist ebenfalls ein wichtiges Hemmnis [10.6].

**17. Möglichkeiten zu großmaßstäblichen Eingriffen in natürliche Vorgänge (Geoengineering), wie z.B. die Düngung von Ozeanen, um CO<sub>2</sub> direkt aus der Luft zu entfernen, oder die Schwächung von Sonnenlicht durch die Ausbringung von Material in der oberen Atmosphäre, bleiben weitgehend spekulativ und unbewiesen sowie mit dem Risiko von unbekanntem Nebenwirkungen behaftet. Verlässliche Kostenabschätzungen für diese Optionen sind nicht veröffentlicht worden (mittlere Übereinstimmung, schwache Beweislage) [11.2].**

<sup>23</sup> Tuvalu wies auf Schwierigkeiten mit dem Verweis „niedrige Kosten“ hin, da Kapitel 9, Seite 15 des WG III-Berichts aussagt, dass „die Kosten von forstbezogenen Emissionsminderungsprojekten signifikant ansteigen, wenn Opportunitätskosten für Land mit einbezogen werden“.

<sup>24</sup> Industrieabfall wird dem Industriesektor zugerechnet.

<sup>25</sup> Treibhausgase aus Abfall schließen Methan aus Deponien und Abwasser, Abwasser-N<sub>2</sub>O und CO<sub>2</sub> aus der Verbrennung von fossilem Kohlenstoff ein.

## D. Langfristige Emissionsminderung (nach 2030)

18. Um die Konzentration an Treibhausgasen in der Atmosphäre zu stabilisieren, müssten die Emissionen nach dem Erreichen eines Maximalwerts abnehmen. Je niedriger das Stabilisierungsniveau, desto schneller müsste dieser Maximalwert erreicht werden und die Abnahme stattfinden. Anstrengungen zur Emissionsminderung in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten werden eine starke Auswirkung auf die Möglichkeiten zur Erreichung niedrigerer Stabilisierungsziele haben (siehe Tabelle SPM.5 und Abbildung SPM.8)<sup>26</sup> (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).

- Jüngste Untersuchungen haben unter Einbeziehung von Multi-Gas-Reduzierungen niedrigere Stabilisierungsniveaus untersucht, als im TAR beschrieben.

- Die bewerteten Untersuchungen beinhalten eine Bandbreite an Emissionsprofilen zur Erreichung einer Stabilisierung von THG-Konzentrationen.<sup>27</sup> Die meisten dieser Untersuchungen nutzten einen Mindestkostenansatz und behandeln sowohl frühe als auch verzögerte Emissionsrückgänge (Abbildung SPM.7) [Kasten SPM.2]. Tabelle SPM.5 fasst die benötigten Emissionsniveaus für verschiedene Gruppen von Stabilisierungskonzentrationen und die damit verbundenen Anstiege der mittleren globalen Temperatur im Klimagleichgewicht<sup>28</sup> unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität zusammen (siehe auch Abbildung SPM.8 zu wahrscheinlichem Unsicherheitsbereich)<sup>29</sup>. Eine Stabilisierung bei niedrigeren Konzentrationen und auf entsprechend niedrigeren Niveaus der Gleichgewichtstemperatur verschiebt den Zeitpunkt nach vorne, zu dem die Emissionen ihren Maximalwert erreichen müssen, und benötigt stärkere Emissionsrückgänge bis zum Jahr 2050.

**Tabelle SPM.5:** Kenndaten von nach dem TAR entstandenen Stabilisierungsszenarien [Tabelle TS2, 3.10]<sup>a)</sup>

Kategorie	Strahlungsantrieb (W/m <sup>2</sup> )	CO <sub>2</sub> Konzentration <sup>c</sup> (ppm)	CO <sub>2</sub> -Äq.-Konzentration <sup>c</sup> (ppm)	Mittlerer globaler Gleichgewichtstemperaturanstieg über die vorindustriellen Werte unter der Verwendung einer „bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität <sup>b, c</sup> (°C)	Jahr maximaler CO <sub>2</sub> -Emissionen <sup>d</sup> (Jahr)	Änderung der globalen CO <sub>2</sub> -Emissionen im Jahr 2050 (% der 2000er Emissionen) <sup>d</sup> (Prozent)	Anzahl der bewerteten Szenarien
I	2.5–3.0	350–400	445–490	2.0–2.4	2000–2015	-85 to -50	6
II	3.0–3.5	400–440	490–535	2.4–2.8	2000–2020	-60 to -30	18
III	3.5–4.0	440–485	535–590	2.8–3.2	2010–2030	-30 to +5	21
IV	4.0–5.0	485–570	590–710	3.2–4.0	2020–2060	+10 to +60	118
V	5.0–6.0	570–660	710–855	4.0–4.9	2050–2080	+25 to +85	9
VI	6.0–7.5	660–790	855–1130	4.9–6.1	2060–2090	+90 to +140	5
Gesamt							177

a Das Verständnis der Reaktion des Klimasystems auf den Strahlungsantrieb sowie der Rückkopplungen ist detailliert im AR4 WG I-Bericht bewertet. Rückkopplungen zwischen dem Kohlenstoffkreislauf und der Klimaänderung beeinflussen die benötigte Emissionsminderung für ein bestimmtes Stabilisierungsniveau der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration. Es wird erwartet, dass diese Rückkopplungen den in der Atmosphäre verbleibenden Anteil an anthropogenen Emissionen erhöhen, während sich das Klimasystem erwärmt. Daher sind die Emissionsreduktionen zur Erreichung eines bestimmten Stabilisierungsniveaus, die in den hier bewerteten Emissionsminderungsstudien angegeben wurden, möglicherweise unterschätzt.

b Die bestmögliche Schätzung der Klimasensitivität beträgt 3°C [Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger WG I].

c Es ist zu beachten, dass sich die mittlere globale Gleichgewichtstemperatur aufgrund der Trägheit des Klimasystems von der erwarteten mittleren globalen Temperatur zum Zeitpunkt der Stabilisierung von THG-Konzentrationen unterscheidet. In den meisten der bewerteten Szenarien tritt die Stabilisierung der THG-Konzentrationen zwischen 2100 und 2150 ein.

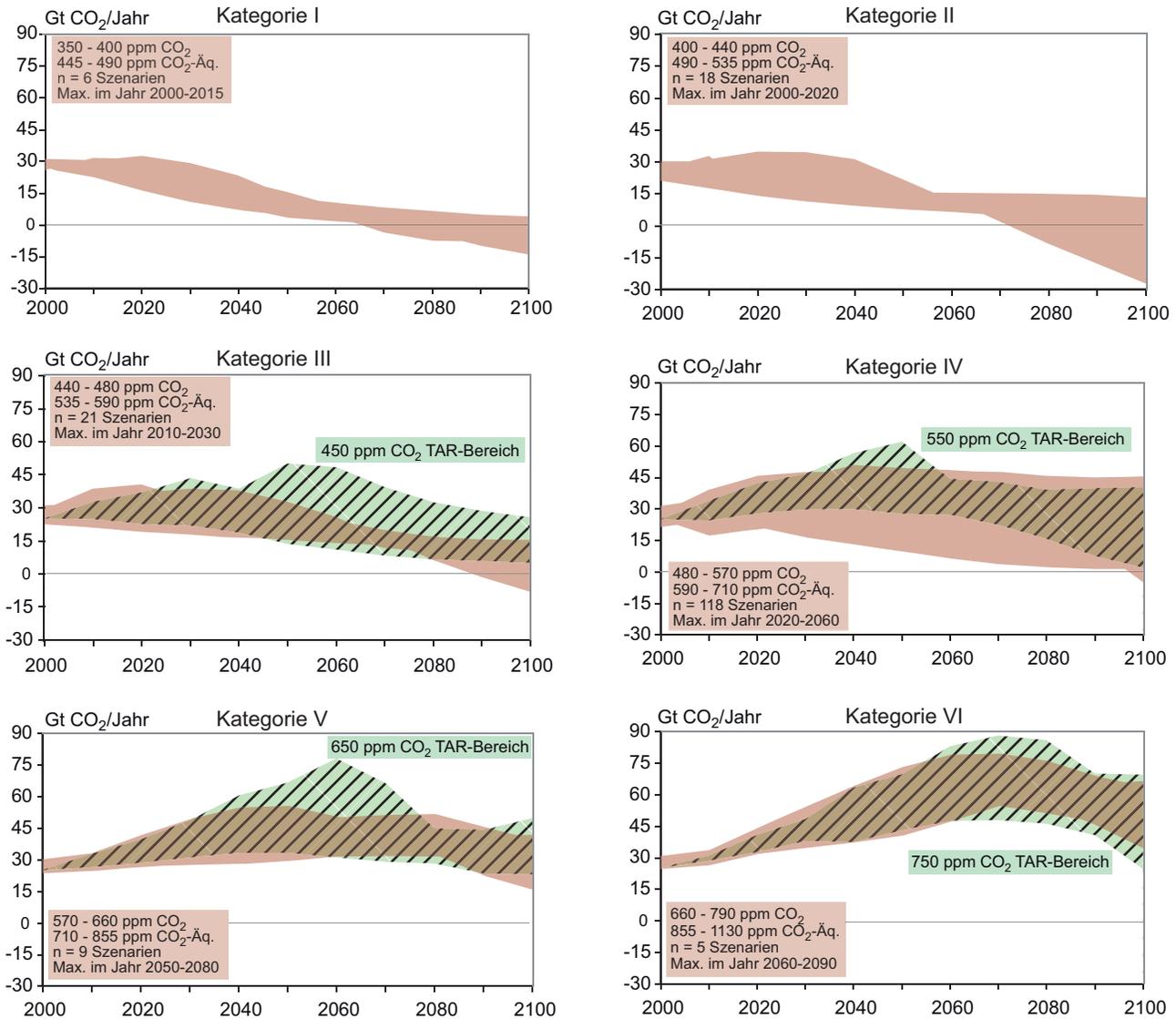
d Die Bandbreiten entsprechen dem Bereich vom 15. bis zum 85. Perzentil der Verteilung von Szenarien, die nach dem TAR entstanden sind. Nur-CO<sub>2</sub>-Emissionen sind ebenfalls angegeben, damit Multi-Gas-Szenarien mit Nur-CO<sub>2</sub>-Szenarien verglichen werden können.

<sup>26</sup> Abschnitt 2 behandelt historische THG-Emissionen seit vorindustriellen Zeiten.

<sup>27</sup> Die Untersuchungen unterscheiden sich hinsichtlich des Zeitpunkts, zu dem die Stabilisierung erreicht wird; im Allgemeinen geschieht dies um das Jahr 2100 oder später.

<sup>28</sup> Informationen über die mittlere globale Temperatur sind dem AR4 WG I-Bericht, Kapitel 10.8 entnommen. Diese Temperaturen werden deutlich später erreicht, als die Konzentrationen stabilisiert werden.

<sup>29</sup> Die Gleichgewichtsklimasensitivität ist ein Maß für die Reaktion des Klimasystems auf anhaltenden Strahlungsantrieb. Sie stellt keine Projektion dar, sondern ist als die globale mittlere Oberflächenerwärmung definiert, die auf eine Verdopplung der Kohlendioxidkonzentrationen hin folgt [Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des AR4 WG I-Berichts].



**Abbildung SPM.7:** Emissionsverläufe von Emissionsminderungsszenarien für unterschiedliche Kategorien von Stabilisierungszielen (Kategorie I bis VI wie im Kasten in jeder Tafel definiert). Die Verläufe beziehen sich auf Nur-CO<sub>2</sub>-Emissionen. Rosa getönte (dunkle) Bereiche zeigen die CO<sub>2</sub>-Emissionen für die Emissionsminderungsszenarien, die nach dem TAR entwickelt wurden. Grün getönte (helle) Bereiche geben die Bandbreite von über 80 TAR-Stabilisierungsszenarien an. Die Emissionen im Bezugsjahr können sich zwischen den Modellen aufgrund von Unterschieden in der Abdeckung von Sektoren und Industrien unterscheiden. Um die niedrigeren Stabilisierungsniveaus zu erreichen, setzen einige Szenarien eine Entfernung von CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre (negative Emissionen) unter der Verwendung von Technologien wie z. B. der Energieerzeugung aus Biomasse mit Nutzung von Kohlendioxidabtrennung und -speicherung ein. [Abbildung 3.17]

**19. Die Bandbreite der bewerteten Stabilisierungsniveaus kann durch die Anwendung eines Portfolios an heute verfügbaren Technologien und solchen, die wahrscheinlich in den nächsten Jahrzehnten auf den Markt kommen, erreicht werden. Dies setzt voraus, dass es angemessene und wirkungsvolle Anreize für die Entwicklung, die Beschaffung, den Einsatz und die Verbreitung von Technologien und für das Angehen entsprechender**

**Hemmnisse gibt (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Der Beitrag verschiedener Technologien zu den für eine Stabilisierung notwendigen Emissionsminderungen wird zeitlich und je nach Region und Stabilisierungsniveau variieren.
  - ◊ In vielen Szenarien spielt Energieeffizienz für die meisten Regionen und Zeiträume eine Schlüsselrolle.

- ◇ Für niedrigere Stabilisierungsniveaus legen die Szenarien mehr Gewicht auf die Nutzung von kohlendioxidarmen Energiequellen, wie z.B. erneuerbaren Energien und Kernkraft, und die Nutzung von Kohlendioxidabtrennung und -speicherung (CCS). In diesen Szenarien müssen Verringerungen der Kohlendioxidintensität der Energieversorgung und der gesamten Wirtschaft viel schneller sein als in der Vergangenheit.
  - ◇ Die Einbeziehung von Nicht-CO<sub>2</sub>-Gas- sowie CO<sub>2</sub>-Minderungsmöglichkeiten in der Landnutzung und der Forstwirtschaft bietet eine größere Flexibilität und Kosteneffektivität bei der Erreichung einer Stabilisierung. Moderne Bioenergie könnte beträchtlich zu dem Anteil erneuerbarer Energien im Emissionsminderungsportfolio beitragen.
  - ◇ Anschauungsbeispiele von Portfolios an Emissionsminderungsmöglichkeiten sind in Abbildung SPM.9 dargestellt [3.3, 3.4].
- Investitionen in und die weltweite Anwendung von Technologien mit geringen THG-Emissionen sowie Technologieverbesserungen durch öffentliche und private Forschung, Entwicklung und Demonstration (FE&D) wären nötig, um Stabilisierungsziele sowie eine Kostenreduktion zu erreichen. Je niedriger die Stabilisierungsniveaus, insbesondere diejenigen von 550 ppmv CO<sub>2</sub>-Äq. oder niedriger, desto größer der Bedarf an effizienteren FE&D-Anstrengungen und an Investitionen in neue Technologien in den kommenden Jahrzehnten. Dies setzt voraus, dass Hemmnissen bei der Entwicklung, der Anschaffung, dem Einsatz und der Verbreitung von Technologien wirkungsvoll begegnet wird.
  - Angemessene Anreize könnten diese Hemmnisse überwinden und helfen, die Ziele mit einem breiten Portfolio an Technologien zu erreichen [2.7, 3.3, 3.4, 3.6, 4.3, 4.4, 4.6].
- 20. Im Jahr 2050<sup>30</sup> liegen die makroökonomischen Kosten für eine Multi-Gas-Stabilisierung bei 710 bis 445 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. im weltweiten Durchschnitt zwischen einem Zuwachs von 1% und einer Reduzierung von 5,5% des globalen BIP (siehe Tabelle SPM.6). Für bestimmte Länder und Sektoren weichen die Kosten beträchtlich vom weltweiten Mittel ab. (Siehe Kasten SPM.3 hinsichtlich der Methodik und Annahmen und Absatz 5 hinsichtlich einer Erläuterung von negativen Kosten) (hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage).**
- 21. Die Entscheidung über das angemessene Ausmaß an weltweiter Emissionsminderung über die Zeit erfordert einen iterativen Risikomanagementprozess, der Emissionsminderung und Anpassung mit einbezieht und die tatsächlichen und vermiedenen Schäden durch Klimawandel, positive Nebeneffekte, Nachhaltigkeit, Gerechtigkeit und Einstellungen gegenüber Risiken berücksichtigt. Entscheidungen über das Ausmaß und den Zeitpunkt von THG-Minderung bedingen eine Abwägung der wirtschaftlichen Kosten schnellerer Emissionsminderungen heute gegenüber den entsprechenden mittel- und langfristigen Klimarisiken aufgrund der Verzögerung (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

**Tabelle SPM.6:** Geschätzte weltweite makroökonomische Kosten im Jahr 2050 im Vergleich zum Referenzszenario für Trajektorien mit Kostenminimierung in Richtung unterschiedlicher langfristiger Stabilisierungsziele<sup>a)</sup> [3.3, 13.3]

Stabilisierungsniveaus (ppm CO <sub>2</sub> -Äq.)	Median der BIP-Reduzierung <sup>b)</sup> (%)	Bandbreite der BIP-Reduzierung <sup>b), c)</sup> (%)	Reduzierung der durchschnittlichen jährlichen BIP-Zuwachsraten (Prozentpunkte) <sup>b), d)</sup>
590–710	0.5	-1 – 2	<0.05
535–590	1.3	Leicht negativ – 4	<0.1
445–535 <sup>e)</sup>	Nicht verfügbar	<5.5	<0.12

a) Dies entspricht der gesamten Literatur quer durch alle Referenz- und Emissionsminderungsszenarien, die BIP-Beträge angeben.

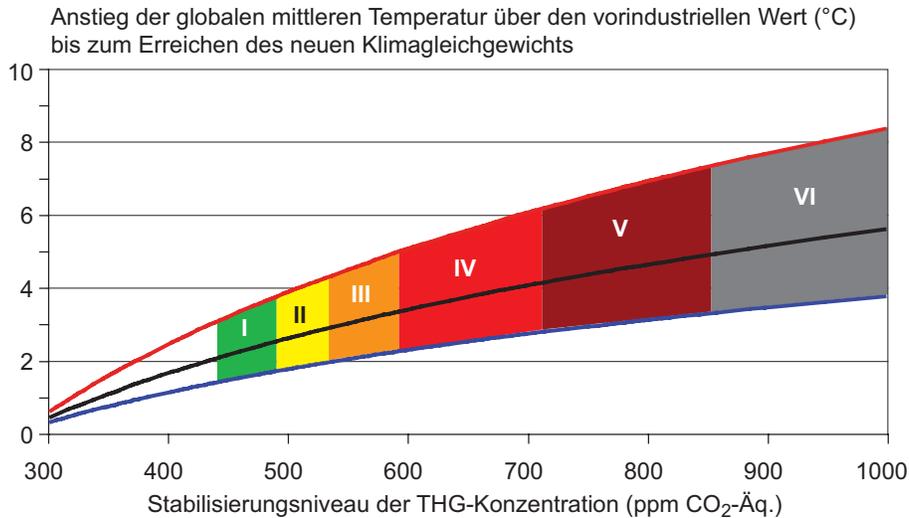
b) Dies ist weltweites BIP basierend auf Marktwechselkursen.

c) Der Median und der Bereich zwischen dem 10. und 90. Perzentil der untersuchten Daten sind angegeben.

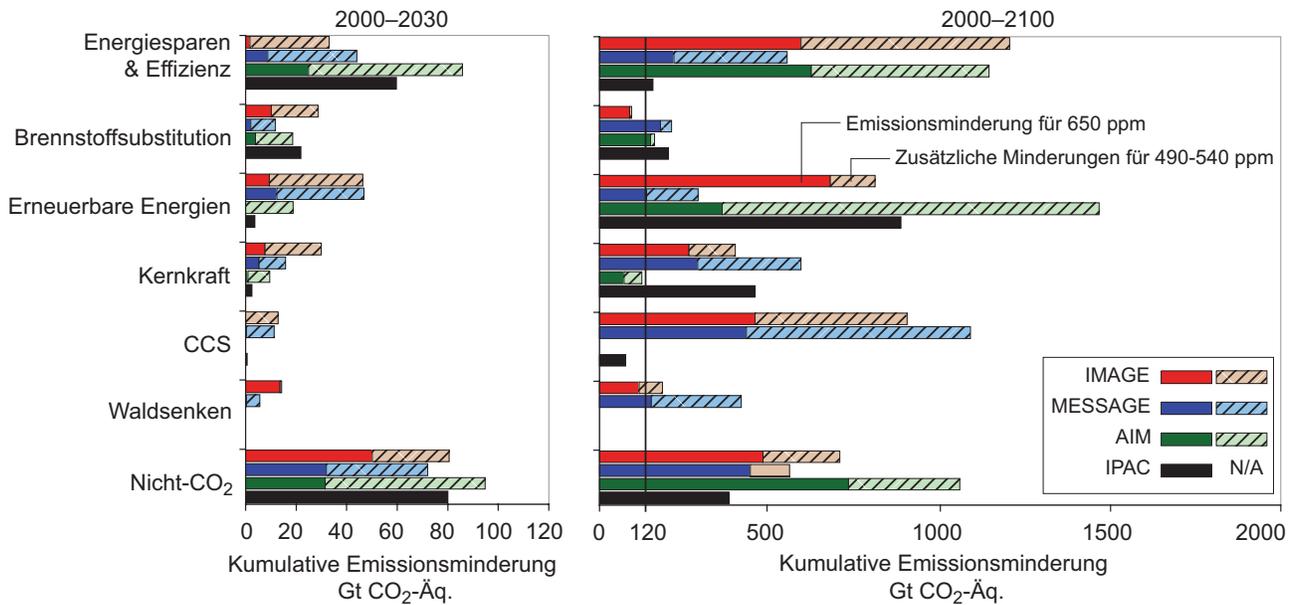
d) Die Berechnung der Reduzierung der jährlichen Zuwachsraten basiert auf der durchschnittlichen Reduzierung während der Zeit bis 2050, der zu der angegebenen BIP-Reduzierung im Jahr 2050 führen würde.

e) Die Anzahl der Untersuchungen ist relativ klein und sie nutzen im Allgemeinen niedrige Referenzszenarien. Hohe Referenzemissionen führen im Allgemeinen zu höheren Kosten.

<sup>30</sup>Kostenabschätzungen für 2030 sind in Abschnitt 5 beschrieben.



**Abbildung SPM.8:** Kategorien von Stabilisierungsszenarien wie in Abbildung SPM.7 angegeben (farbige Streifen) und ihre Beziehung zur Änderung der mittleren globalen Temperatur bis zum Erreichen des neuen Klimagleichgewichts über den vorindustriellen Wert unter der Verwendung von (i) „der bestmöglichen Abschätzung“ der Klimasensitivität von 3°C (schwarze Linie in der Mitte des gefärbten Bereichs), (ii) der oberen Grenze des Wahrscheinlichkeitsbereichs der Klimasensitivität von 4,5°C (rote Linie am oberen Rand des gefärbten Bereichs) und (iii) der unteren Grenze des Wahrscheinlichkeitsbereichs der Klimasensitivität von 2°C (blaue Linie am unteren Rand des gefärbten Bereichs). Die Färbung gibt die Konzentrationsbereiche für eine Stabilisierung von Treibhausgasen in der Atmosphäre entsprechend der Kategorien von Stabilisierungsszenarien I bis VI wie in Abbildung SPM.7 an. Die Daten entstammen dem AR4 WG I-Bericht, Kapitel 10.8.



**Abbildung SPM. 9:** Kumulative Emissionsminderungen für unterschiedliche Emissionsminderungsmaßnahmen für 2000 bis 2030 (linke Grafik) und für 2000 bis 2100 (rechte Grafik). Die Abbildung zeigt beispielhafte Szenarien aus vier Modellen (AIM, IMAGE, I-PAC und MESSAGE), die jeweils auf eine Stabilisierung bei 490–540 ppmv CO<sub>2</sub>-Äq. bzw. bei 650 ppmv CO<sub>2</sub>-Äq. abzielen. Dunkle Balken geben die Minderungen für das Ziel von 650 ppmv CO<sub>2</sub>-Äq. an, helle Balken weisen auf die zusätzlichen Reduktionen hin, die notwendig sind, um 490–540 ppmv CO<sub>2</sub>-Äq. zu erreichen. Es ist zu beachten, dass einige Modelle Emissionsminderungen durch die Erweiterung von Waldsenken (AIM und IPAC) oder CCS (AIM) nicht mit einbeziehen, und dass der Anteil an kohlendioxidarmen Energieoptionen an der gesamten Energieversorgung auch durch die Einbeziehung dieser Optionen im Referenzszenario bestimmt wird. CCS schließt Kohlendioxidabtrennung und -speicherung aus Biomasse mit ein. Waldsenken schließen die Minderung von Emissionen aus Entwaldung mit ein. [Abbildung 3.23]

- Erste und begrenzte analytische Ergebnisse aus der integrierten Analyse von Kosten und Nutzen aus Emissionsminderungen weisen darauf hin, dass deren Größenordnungen größtenteils vergleichbar sind, sie erlauben aber noch keine eindeutige Bestimmung eines Emissionspfads oder Stabilisierungsniveaus, bei dem der Nutzen die Kosten überwiegt [3.5].
- Eine ganzheitliche Bewertung der wirtschaftlichen Kosten und Nutzen verschiedener Emissionsminderungspfade zeigt, dass der wirtschaftlich optimale Zeitpunkt und das optimale Ausmaß an Emissionsminderung von der unsicheren Form und dem Charakter der angenommenen Schadenskostenkurve der Klimaänderung abhängt. Zur Verdeutlichung dieser Abhängigkeit:
  - ◊ Wenn die Schadenskostenkurve der Klimaänderung langsam und gleichmäßig ansteigt und die Entwicklung gut vorhersehbar ist (wodurch sich das Potenzial zur rechtzeitigen Anpassung erhöht), ist eine spätere und weniger strikte Emissionsminderung wirtschaftlich gerechtfertigt;
  - ◊ Anderenfalls, wenn die Schadenskostenkurve der Klimaänderung steil ansteigt oder Nichtlinearitäten aufweist (z.B. Grenzen der Verwundbarkeit oder auch nur geringe Wahrscheinlichkeiten für katastrophale Ereignisse), ist eine frühere und stringendere Emissionsminderung wirtschaftlich gerechtfertigt [3.6].
- Die Klimasensitivität stellt eine entscheidende Unsicherheit für Emissionsminderungsszenarien dar, die auf die Erreichung eines bestimmten Temperaturniveaus abzielen. Untersuchungen zeigen, dass bei hoher Klimasensitivität der Zeitpunkt früher eintritt und das Ausmaß der Emissionsminderung höher ausfällt als bei niedriger Klimasensitivität [3.5, 3.6].
- Verzögerte Emissionsminderungen führen zu Investitionen, die emissionsintensivere Infrastrukturen und Entwicklungspfade festschreiben („Lock-In-Effekt“). Dies schränkt die Möglichkeiten, niedrigere Emissionsniveaus zu erreichen, signifikant ein (wie in Tabelle SPM.5 gezeigt) und erhöht das Risiko für schwerwiegendere Auswirkungen der Klimaänderung [3.4, 3.1, 3.5, 3.6].

## E. Politiken, Maßnahmen und Instrumente für den Klimaschutz

- 22. Den Regierungen steht eine große Anzahl nationaler Politiken und Instrumente zur Verfügung, um Anreize für Emissionsminderungsmaßnahmen zu schaffen. Ihre Anwendbarkeit hängt von den nationalen Gegebenheiten und dem Verständnis ihrer Wechselwirkungen ab. Die Erfahrung aus der Umsetzung in vielen Ländern und Sektoren zeigt aber, dass es bei jedem Instrument Vor- und Nachteile gibt (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**
- Es werden vier Hauptkriterien für die Bewertung von Politiken und Instrumenten angewandt: Umweltwirksamkeit, Kosteneffizienz, Verteilungseffekte einschließlich Gerechtigkeit und institutionelle Machbarkeit [13.2].
  - Alle Instrumente können gut oder schlecht ausgestaltet und streng oder locker sein. Hinzu kommt, dass die Erfolgskontrolle zur Verbesserung der Umsetzung ein wichtiger Aspekt bei allen Instrumenten ist. Allgemeine Erkenntnisse über die Effizienz von Maßnahmen sind: [7.9, 12.2, 13.2]
    - ◊ Die Einbeziehung von Klimapolitik in eine breitere Entwicklungspolitik erleichtert die Umsetzung und die Überwindung von Hemmnissen.
    - ◊ Regulierungen und Standards bieten im Allgemeinen eine gewisse Sicherheit bezüglich Emissionsniveaus. Sie können anderen Instrumenten vorzuziehen sein, wenn Informationsbarrieren oder andere Hemmnisse Produzenten und Verbraucher daran hindern, auf Preissignale zu reagieren. Es kann jedoch sein, dass sie nicht zu Innovationen und einer Weiterentwicklung von Technologien führen.
    - ◊ Steuern und Gebühren können einen Kohlendioxidpreis festlegen, aber kein bestimmtes Emissionsniveau garantieren. In der Literatur werden Steuern als eine effiziente Art der Internalisierung der Kosten von THG-Emissionen ausgewiesen.
    - ◊ Durch handelbare Zertifikate wird ein Kohlendioxidpreis festgesetzt werden. Die Menge

der zugestandenen Emissionen bestimmt ihre Umweltwirksamkeit, während die Zuteilung der Zertifikate (wirtschaftliche) Verteilungseffekte hat. Schwankungen des Kohlendioxidpreises erschweren eine Einschätzung der Gesamtkosten für die Einhaltung der Emissionsobergrenze.

- ◇ Finanzielle Anreize (Subventionen und Steuergutschriften) werden von Regierungen häufig geschaffen, um die Entwicklung und Verbreitung neuer Technologien zu fördern. Während ihre wirtschaftlichen Kosten allgemein höher sind als die für die obigen Maßnahmen, sind diese Anreize oft entscheidend bei der Überwindung von Hemmnissen.
- ◇ Freiwillige Vereinbarungen zwischen Industrie und Regierungen sind politisch attraktiv, erzeugen Aufmerksamkeit bei den Interessengruppen und haben in der Entwicklung vieler nationaler Maßnahmen eine Rolle gespielt. Der Großteil dieser Vereinbarungen hat keine signifikanten Emissionsrückgänge über business as usual hinaus bewirkt. Jedoch haben einige neuere Vereinbarungen in einigen wenigen Ländern die Anwendung der besten verfügbaren Technologie beschleunigt und zu messbaren Emissionsrückgängen geführt.
- ◇ Informationsmaßnahmen (z.B. Kampagnen zur Bewusstseinsbildung) können die Umweltqualität positiv beeinflussen, indem sie informierte Entscheidungen fördern und möglicherweise zu Verhaltensänderungen führen. Ihr Einfluss auf die Emissionen ist jedoch noch nicht bestimmt worden.
- ◇ Forschung, Entwicklung und Demonstration können technologische Fortschritte ankurbeln, Kosten reduzieren und Fortschritte in Richtung Stabilisierung ermöglichen.
- Einige Unternehmen, lokale und regionale Behörden, Nicht-Regierungs-Organisationen und zivile Gruppierungen rufen eine Vielzahl an freiwilligen Aktionen ins Leben. Diese freiwilligen Aktionen könnten THG-Emissionen begrenzen, innovative Politiken stimulieren und die Anwendung von neuen Technologien fördern. Für sich allein genommen haben sie im Allgemeinen begrenzten Einfluss auf Emissionen auf nationaler oder regionaler Ebene [13.4].
- Gewonnene Erkenntnisse aus spezifischen sektoralen Anwendungen nationaler Politiken und Instrumente sind in Tabelle SPM.7 aufgeführt.

**23. Politiken, die einen realen oder impliziten Kohlendioxidpreis einführen, könnten Anreize für Hersteller und Verbraucher schaffen, in hohem Maße in kohlendioxid-arme Produkte, Technologien und Prozesse zu investieren. Solche Politiken können wirtschaftliche Instrumente, öffentliche Finanzierung und Regulierungen umfassen (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Ein wirksames Kohlendioxid-Preissignal könnte signifikantes Emissionsminderungspotenzial in allen Sektoren realisieren [11.3, 13.2].
- Modellstudien (siehe Kasten SPM.3) zeigen, dass Kohlendioxidpreise, die bis zum Jahr 2030 auf 20 bis 80 US-\$/t CO<sub>2</sub>-Äq. und bis zum Jahr 2050 auf 30 bis 155 US-\$/t CO<sub>2</sub>-Äq. ansteigen, mit einer Stabilisierung bei etwa 550 ppm CO<sub>2</sub>-Äq. bis zum Jahr 2100 im Einklang stehen. Für das gleiche Stabilisierungsniveau sinken in nach dem TAR durchgeführten Untersuchungen, die den induzierten Technologiewandel berücksichtigen, diese Preisspannen auf 5 bis 65 US-\$/t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2030 bzw. 15 bis 130 US-\$/t CO<sub>2</sub>-Äq. im Jahr 2050 [3.3, 11.4, 11.5].
- Die meisten top-down- und einige bottom-up-Untersuchungen für 2050 weisen darauf hin, dass reale oder implizite Kohlendioxidpreise von 20 bis 50 US-\$/t CO<sub>2</sub>-Äq., wenn sie über Jahrzehnte hinweg beibehalten oder angehoben werden, im Sektor Energieerzeugung bis 2050 niedrige THG-Emissionen bewirken und viele Optionen zur Emissionsminderung in den Endverbrauchersektoren wirtschaftlich attraktiv machen könnten.
- Es gibt vielfältige Hemmnisse für die Umsetzung von Möglichkeiten zur Emissionsminderung, die sich je nach Region und Sektor unterscheiden. Sie können mit finanziellen, technologischen, institutionellen, informations- und verhaltensbezogenen Aspekten zusammenhängen [4.5, 5.5, 6.7, 7.6, 8.6, 9.6, 10.5].

**Tabelle SPM.7:** Ausgewählte sektorale Politiken, Maßnahmen und Instrumente, die sich im jeweiligen Sektor in mindestens einigen nationalen Fällen als umweltwirksam erwiesen haben.

Sektor	Politiken, <sup>a)</sup> Maßnahmen und Instrumente, die sich als umweltwirksam erwiesen haben	Wesentliche Einschränkungen oder Möglichkeiten
Energieversorgung [4.5]	Verringerung von Subventionen für fossile Brennstoffe Steuern oder Kohlendioxidabgaben auf fossile Brennstoffe	Widerstand durch Interessensgruppen aufgrund bestehender Rechte könnte die Umsetzung erschweren.
	Einspeisevergütungen für Erneuerbare-Energien-Technologien Quoten für erneuerbaren Energien Subventionen für Produzenten	Können angemessen sein, um Märkte für Niedrigemissionstechnologien zu schaffen
Verkehr [5.5]	Verpflichtende Standards für Treibstoffverbrauch, Biotreibstoffbeimischung und CO <sub>2</sub> -Standards für den Straßenverkehr	Unvollständige Erfassung der Fahrzeugflotte kann die Effektivität begrenzen
	Steuern auf Fahrzeugkauf, Zulassung, Nutzung und Treibstoffe, Straßen- und Parkgebühren	Effektivität kann mit höheren Einkommen sinken
	Mobilitätsbedürfnisse durch Flächennutzungsregelungen und Infrastrukturplanung beeinflussen Investitionen in attraktive öffentliche Verkehrssysteme und nicht-motorisierte Verkehrsformen	Besonders geeignet für Länder, die gerade ihre Verkehrssysteme aufbauen
Gebäude [6.8]	Gerätestandards und Kennzeichnung Gebäudestandards und Zertifizierung	Regelmäßige Überarbeitung der Standards nötig Attraktiv für neue Gebäude. Durchsetzung kann schwierig sein.
	Programme zur Nachfragesteuerung (demand-side management)	Regulierung notwendig, so dass Versorgungsunternehmen profitieren können.
	Vorbildfunktion der öffentlichen Hand, einschl. der Beschaffung (Eco-Procurement)	Regierungseinkäufe können die Nachfrage nach energieeffizienten Produkten steigern.
	Anreize für Energiedienstleistungsunternehmen (ESCOs)	Erfolgskriterium: Zugang zu Drittmitteln
Industrie [7.9]	Bereitstellung von Informationen für einen Leistungsvergleich (benchmark information) Leistungsstandards Subventionen, Steuervergünstigungen	Können angebracht sein, um die Etablierung der Technologien anzuregen. Beständigkeit der nationalen Politik ist wichtig im Hinblick auf internationale Wettbewerbsfähigkeit.
	Handelbare Zertifikate	Vorhersehbare Zuteilungsmechanismen und stabile Preissignale sind wichtig für Investitionen.
	Freiwillige Vereinbarungen	Erfolgskriterien sind unter anderem: klare Ziele, ein Referenzszenario, Einbeziehung Dritter in Entwurf und Begutachtung und formelle Überwachungsmaßnahmen, enge Zusammenarbeit zwischen Regierung und Industrie.
Landwirtschaft [8.6, 8.7, 8.8]	Finanzielle Anreize und Regelungen für verbesserte Bodenbewirtschaftung, für die Erhaltung des Bodenkohlenstoffgehalts, für Effizienz in Düngernutzung und Bewässerung	Kann Synergie mit nachhaltiger Entwicklung und mit Verringerung der Verwundbarkeit gegenüber der Klimaänderung fördern und dadurch Hemmnisse gegen die Umsetzung überwinden.
Forstwirtschaft [9.6]	Finanzielle Anreize (national und international) für eine Vergrößerung der Waldfläche, eine Verringerung der Entwaldung und die Erhaltung und Bewirtschaftung von Wäldern	Einschränkungen sind unter anderem der Mangel an Investitionskapital und Grundeigentumsfragen. Kann die Armutsbekämpfung unterstützen.
	Landnutzungsregelungen und deren Durchsetzung	
Abfallwirtschaft [10.5]	Finanzielle Anreize für verbesserte Abfall- und Abwasserwirtschaft	Können die Verbreitung von Technologien anregen.
	Anreize oder Verpflichtungen zur Nutzung erneuerbaren Energien	Lokale Verfügbarkeit von Brennstoff zu niedrigen Preisen
	Abfallwirtschaftsvorschriften	Am wirkungsvollsten auf nationaler Ebene mit Durchsetzungsstrategien umgesetzt

Anmerkung:

a) Öffentliche FE&D-Investitionen in Niedrigemissionstechnologien haben sich in allen Sektoren als effektiv erwiesen.

**24. Eine Unterstützung seitens der Regierung mittels finanzieller Beiträge, Steuergutschriften, Setzung von Standards und Schaffung von Märkten ist wichtig für eine effektive Technologieentwicklung, Innovation und Einsatz der Technologie. Technologietransfer in Entwicklungsländer hängt von unterstützenden Rahmenbedingungen und der Finanzierung ab (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Der öffentliche Nutzen von Investitionen in Forschung, Entwicklung und Demonstration (FE&D) ist größer als der Nutzen für den privaten Sektor, was eine Unterstützung von FE&D durch die Regierung rechtfertigt.
- Die Finanzierung seitens der Regierungen war für die meisten Energieforschungsprogramme für beinahe zwei Jahrzehnte in absoluten Zahlen gleichbleibend oder abnehmend (sogar nach Inkrafttreten der UN-Klimarahmenkonvention UNFCCC) und beträgt nun etwa die Hälfte dessen, was 1980 zur Verfügung gestellt wurde [2.7, 3.4, 4.5, 11.5, 13.2].
- Regierungen spielen eine entscheidende unterstützende Rolle bei der Bereitstellung angemessener, förderlicher Rahmenbedingungen, wie z.B. institutionellen, politischen, gesetzlichen und ordnungspolitischen Rahmenbedingungen,<sup>31</sup> um Investitionsflüsse aufrechtzuerhalten und für einen wirkungsvollen Technologietransfer – ohne den es schwierig sein könnte, Emissionsminderungen in signifikantem Ausmaß zu erreichen. Es ist wichtig, eine Finanzierung für die Zusatzkosten von kohlendioxidarmen Technologien zu mobilisieren. Internationale Technologieabkommen könnten die Infrastruktur für die notwendige Wissensverbreitung stärken [13.3].
- Die mögliche vorteilhafte Wirkung des Technologietransfers in Entwicklungsländer durch Aktionen in Annex I-Ländern kann beträchtlich sein, allerdings sind keine verlässlichen Abschätzungen verfügbar [11.7].
- Durch CDM-Projekte initiierte Finanzflüsse an Entwicklungsländer haben das Potenzial, eine Größenordnung von mehreren Milliarden US-\$ pro Jahr<sup>32</sup> zu erreichen. Das ist mehr, als durch die Global Environment Facility (GEF) fließt, vergleichbar mit den auf die Energieversorgung ausgerichteten Entwicklungshilfeleistungen, aber

mindestens eine Größenordnung niedriger als die gesamten Flüsse an ausländischen Direktinvestitionen (FDI). Die Finanzflüsse durch CDM, GEF und Entwicklungshilfe für den Technologietransfer sind bisher begrenzt und geographisch ungleich verteilt gewesen [12.3, 13.3].

**25. Bemerkenswerte Errungenschaften der UNO-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) und ihres Kyoto-Protokolls sind die Schaffung einer weltweiten Reaktion auf das Klimaproblem, die Anregung einer großen Anzahl nationaler Politiken, die Schaffung eines weltweiten Kohlendioxidmarkts und die Einrichtung neuer institutioneller Mechanismen, die die Grundlage für zukünftige Anstrengungen zur Emissionsminderung sein können (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Die Auswirkung des ersten Verpflichtungszeitraums des Protokolls ist laut Projektionen im Vergleich zu den weltweiten Emissionen begrenzt. Seine wirtschaftlichen Auswirkungen auf die teilnehmenden Annex B-Länder sind laut Projektionen geringer als im TAR dargestellt, der ein 0,2–2% geringeres BIP im Jahr 2012 ohne Emissionshandel und ein 0,1–1,1% niedrigeres BIP mit Emissionshandel zwischen Annex B-Ländern zeigte [1.4, 11.4, 13.3].

**26. In der Literatur werden viele Möglichkeiten für die Erreichung von Minderungen der weltweiten THG-Emissionen durch Zusammenarbeit auf internationaler Ebene angeführt. Sie lässt auch darauf schließen, dass erfolgreiche Abkommen umweltwirksam und kosteneffektiv sind, Verteilungsaspekte und Gerechtigkeit mit einbeziehen und institutionell machbar sind (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**

- Umfangreichere kooperative Anstrengungen zur Emissionsminderung werden helfen, die weltweiten Kosten für die Erreichung eines bestimmten Minderungsziels zu senken, oder sie werden die Umweltwirksamkeit verbessern [13.3].
- Eine Verbesserung – und Ausweitung – des Anwendungsbereichs von marktwirtschaftlichen Mechanismen (wie z.B. Emissionshandel, Joint Implementation und CDM) könnte die Gesamtkosten für Emissionsminderung senken [13.3].

<sup>31</sup> Siehe IPCC-Sonderbericht zu methodologischen und technologischen Fragen zum Technologietransfer.

<sup>32</sup> Hängt stark vom Marktpreis ab, der zwischen 4 und 26 US-\$/tCO<sub>2</sub>-Äq. geschwankt hat, und basiert auf etwa 1000 vorgeschlagenen und registrierten CDM-Projekten, die wahrscheinlich über 1,3 Milliarden Emissionsminderungseinheiten noch vor 2012 erzeugen.

- Anstrengungen, die Klimaänderung anzugehen, können vielfältige Elemente mit einschließen, wie z.B. Emissionsziele; sektorale, lokale, subnationale und regionale Aktivitäten; FE&D-Programme; die Verabschiedung gemeinsamer Politiken; die Umsetzung von Entwicklungsmaßnahmen oder die Ausweitung finanzieller Instrumente. Diese Elemente können auf ganzheitliche Art und Weise umgesetzt werden, aber Anstrengungen unterschiedlicher Länder quantitativ zu vergleichen wäre komplex und ressourcenintensiv [13.3].
- Maßnahmen teilnehmender Länder können sowohl hinsichtlich des Zeitpunkts, wann eine solche Maßnahme ergriffen wird, unterschieden werden als auch danach, wer daran teilnimmt und welcher Art die Handlung sein wird. Handlungen können verpflichtend oder freiwillig sein, feste oder dynamische Ziele einschließen, und die Teilnahme kann gleich bleibend sein oder sich mit der Zeit ändern [13.3].

## F. Nachhaltige Entwicklung und Klimaschutz

- 27. Entwicklung durch Veränderung von Entwicklungspfaden nachhaltiger zu gestalten kann einen bedeutenden Beitrag zum Klimaschutz leisten, aber die Umsetzung kann Ressourcen für die Überwindung zahlreicher Hemmnisse benötigen. Es gibt ein wachsendes Verständnis über die Möglichkeiten, Emissionsminderungsoptionen in mehreren Sektoren so auszuwählen und umzusetzen, dass Synergien gefördert und Konflikte mit anderen Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung vermieden werden (hohe Übereinstimmung, starke Beweislage).**
- Unabhängig vom Ausmaß der Emissionsminderungsmaßnahmen sind Anpassungsmaßnahmen notwendig [1.2].
  - Das Angehen der Klimaänderung kann als ein integraler Bestandteil von Politiken zur nachhaltigen Entwicklung angesehen werden. Nationale Rahmenbedingungen und die Stärke von Institutionen bestimmen, inwieweit Entwicklungspolitiken sich auf THG-Emissionen auswirken. Änderungen in Entwicklungspfaden entstehen aus Wechselwirkungen zwischen öffentlichen und privaten Entscheidungsprozessen, die Regierung, Wirtschaft und Gesellschaft mit einbeziehen, von denen viele herkömmlich nicht als „Klimapolitik“ betrachtet werden. Dieser Prozess ist am wirkungsvollsten, wenn die Akteure gleichberechtigt teilnehmen und dezentralisierte Entscheidungsprozesse koordiniert werden [2.2, 3.3, 12.2].
  - Klimapolitik und andere Politiken für eine nachhaltige Entwicklung sind oft, aber nicht immer synergetisch. Es gibt zunehmend Hinweise darauf, dass Entscheidungen über z.B. makroökonomische Vorgehensweisen, Landwirtschaftspolitik, multilaterale Entwicklungsbankkredite, Versicherungspraktiken, Strommarktreformen, Energiesicherheit und Schutz der Wälder, die oft gesondert von der Klimapolitik behandelt werden, Emissionen signifikant reduzieren können. Andererseits ist es möglich, dass Entscheidungen über z.B. einen verbesserten ländlichen Zugang zu modernen Energiequellen keinen großen Einfluss auf die weltweiten THG-Emissionen haben [12.2].
  - Auf Energieeffizienz und erneuerbare Energien bezogene Klimapolitik lohnt sich oft wirtschaftlich, verbessert die Energiesicherheit und verringert lokale Schadstoffemissionen. Andere Optionen zur Emissionsminderung in der Energieversorgung können so entworfen werden, dass sie auch Nutzen für eine nachhaltige Entwicklung bringen, wie z.B. die Vermeidung der Vertreibung lokaler Bevölkerungen, die Schaffung von Arbeitsplätzen und gesundheitliche Vorteile [4.5, 12.3].
  - Eine Verringerung sowohl der Verluste natürlicher Lebensräume als auch der Entwaldung kann signifikante Vorteile für die Bewahrung von biologischer Vielfalt, Boden- und Wasserschutz haben, und kann auf eine sozial und wirtschaftlich nachhaltige Art und Weise umgesetzt werden. Aufforstung und Plantagen für Bioenergie können zur Sanierung von degradiertem Land führen, den Wasserablauf regulieren, Bodenkohlenstoff fixieren und Vorteile für ländliche Ökonomien erbringen, andererseits könnte dies mit Flächen für die Nahrungsmittelproduktion konkurrieren und negativ für die biologische Vielfalt sein, falls nicht angemessen geplant [9.7, 12.3].
  - Es bestehen ebenfalls gute Möglichkeiten für eine Verstärkung nachhaltiger Entwicklung durch Emissionsminderungsmaßnahmen in den Sektoren Abfallwirtschaft, Verkehr und Gebäude [5.4, 6.6, 10.5, 12.3].
  - Die Entwicklung nachhaltiger zu gestalten kann die Fähigkeit sowohl zur Emissionsminderung als auch zur Anpassung verstärken sowie Emissionen

## G. Wissenslücken

senken und die Anfälligkeit gegenüber der Klimaänderung verringern. Es kann Synergien zwischen Emissionsminderung und Anpassung geben, wie z.B. sachgemäß gestaltete Biomasseproduktion, die Bildung von Schutzgebieten, Landmanagement, Energieverbrauch in Gebäuden und Forstwirtschaft. In anderen Fällen könnten gegenläufige Effekte auftreten, wie z.B. erhöhte THG-Emissionen aufgrund eines erhöhten Energieverbrauchs in Zusammenhang mit Anpassungsmaßnahmen [2.5, 3.5, 4.5, 6.9, 7.8, 8.5, 9.5, 11.9, 12.1].

**28. Es gibt immer noch erhebliche Lücken im zurzeit verfügbaren Wissen über einige Aspekte des Klimaschutzes, insbesondere in Entwicklungsländern. Zusätzliche Forschung, die sich mit diesen Lücken befasst, würde Unsicherheiten weiter verringern und so Entscheidungsfindungen bezüglich des Klimaschutzes erleichtern [TS.14].**

### TABELLENANHANG 1: DARSTELLUNG VON UNSICHERHEITEN

Unsicherheit ist ein inhärentes Merkmal einer jeden Bewertung. Der Vierte Sachstandsbericht erläutert die mit den wesentlichen Aussagen verbundenen Unsicherheiten.

Grundlegende Unterschiede zwischen den drei Berichten zugrunde liegenden Wissenschaftsdisziplinen machen einen gemeinsamen Ansatz unmöglich. Der „Wahrscheinlichkeits“-Ansatz, der in „Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen“ angewandt wurde, und die „Konfidenz-“ und „Wahrscheinlichkeits“-Ansätze, die in „Klimaänderung 2007: Auswirkungen, Anpassung, Verwundbarkeiten“ verwendet wurden, wurden als unzureichend für die Behandlung der spezifischen Unsicherheiten in diesem Emissionsminderungsbericht erachtet, weil es hier um menschliche Entscheidungen geht.

In diesem Bericht wird eine zweidimensionale Skala verwendet, um Unsicherheiten darzustellen. Die Skala beruht auf der fachkundigen Beurteilung durch die WG III-Autoren hinsichtlich der Übereinstimmung in der Literatur zu einer bestimmten Aussage (Ausmaß an Übereinstimmung) und der Menge und Qualität an unabhängigen, den IPCC-Regeln entsprechenden Quellen, auf denen die Ergebnisse beruhen (Beweislage<sup>33</sup>) (siehe Tabelle SPM.E.1). Dies ist kein quantitativer Ansatz, aus dem Wahrscheinlichkeiten bezüglich der Unsicherheiten abgeleitet werden können.

Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen für eine wirtschaftliche, soziale und umweltgerechte Nachhaltigkeit, einschließlich besserer Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

**Tabelle SPM E.1: Qualitative Definition von Unsicherheit**

Ausmaß an Übereinstimmung (zu einer einzelnen Aussage)	Hohe Übereinstimmung, schwache Beweislage	Hohe Übereinstimmung, mittlere Beweislage	Hohe Übereinstimmung, starke Beweislage
	Mittlere Übereinstimmung, schwache Beweislage	Mittlere Übereinstimmung, mittlere Beweislage	Mittlere Übereinstimmung, starke Beweislage
	Niedrige Übereinstimmung, schwache Beweislage	Niedrige Übereinstimmung, mittlere Beweislage	Niedrige Übereinstimmung, starke Beweislage
	Beweislage <sup>33</sup> (Anzahl und Qualität unabhängiger Quellen)		

Weil die Zukunft von Natur aus unvorhersagbar ist, wurden in diesem Bericht ausgiebig Szenarien verwendet; d.h. in sich widerspruchsfreie, unterschiedliche Abbildungen der möglichen Zukunft, aber keine Vorhersagen der tatsächlichen Zukunft.

<sup>33</sup> „Beweis“ ist in diesem Bericht folgendermaßen definiert: Information darüber oder Anzeichen dafür, ob eine Annahme oder eine Behauptung wahr oder stichhaltig ist. Siehe Glossar.