

---

## ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER

### KLIMAÄNDERUNG 2001: SYNTHESEBERICHT

---

#### *Ein Bericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)*

*Diese am XVIII IPCC-Plenum (Wembley, United Kingdom, 24-29 September 2001) in allen Einzelheiten verabschiedete Zusammenfassung enthält die offiziell genehmigte Erklärung des IPCC zu den wichtigsten in den Beiträgen der Arbeitsgruppen zum Dritten Wissensstandsbericht enthaltenen Ergebnissen und Unsicherheiten.*

Basierend auf einem Entwurf, vorbereitet von:

*Robert T. Watson, Daniel L. Albritton, Terry Barker, Igor A. Bashmakov, Osvaldo Canziani, Renate Christ, Ulrich Cubasch, Ogunlade Davidson, Habiba Gitay, David Griggs, John Houghton, Joanna House, Zbigniew Kundzewicz, Murari Lal, Neil Leary, Christopher Magadza, James J. McCarthy, John F.B. Mitchell, Jose Roberto Moreira, Mohan Munasinghe, Ian Noble, Rajendra Pachauri, Barrie Pittock, Michael Prather, Richard G. Richels, John B. Robinson, Jayant Sathaye, Stephen Schneider, Robert Scholes, Thomas Stocker, Narasimhan Sundararaman, Rob Swart, Tomihiro Taniguchi, D. Zhou, und vielen IPCC-Autoren und -Gutachtern*

## Einführung

Gemäss Beschluss an der dreizehnten Sitzung (Malediven, 22. und 25.-28. September 1997) und anderen nachfolgenden Beschlüssen hat das IPCC entschieden:

- Als Teil des dritten Wissensstandsberichts einen Synthesebericht zu verfassen;
- dass der Synthesebericht eine Synthese bieten soll, die für politische Strategien relevant, nicht aber verbindend ist. Die Synthese soll einerseits im dritten Wissensstandsbericht enthaltene Informationen beinhalten, soll sich aber auch auf alle früher verabschiedeten und anerkannten IPCC-Berichte beziehen, die entscheidende politisch relevante (aber nicht politisch verbindende) Fragen ansprechen;
- dass diese Fragen in Zusammenarbeit mit der Parteienkonferenz (COP) des UNFCCC entwickelt werden.

Die folgenden neun Fragen basieren auf Eingaben von Regierungen und wurden vom IPCC an seiner 15. Sitzung anerkannt (San José, Costa Rica, 15.-18. April 1999).

---

## FRAGE 1

Was können wissenschaftliche, technische und sozioökonomische Analysen zur Bestimmung beitragen, was gefährliche anthropogene Störungen des Klimasystems sind, wie in Artikel 2 des Rahmenübereinkommens über Klimaänderungen beschrieben?

---

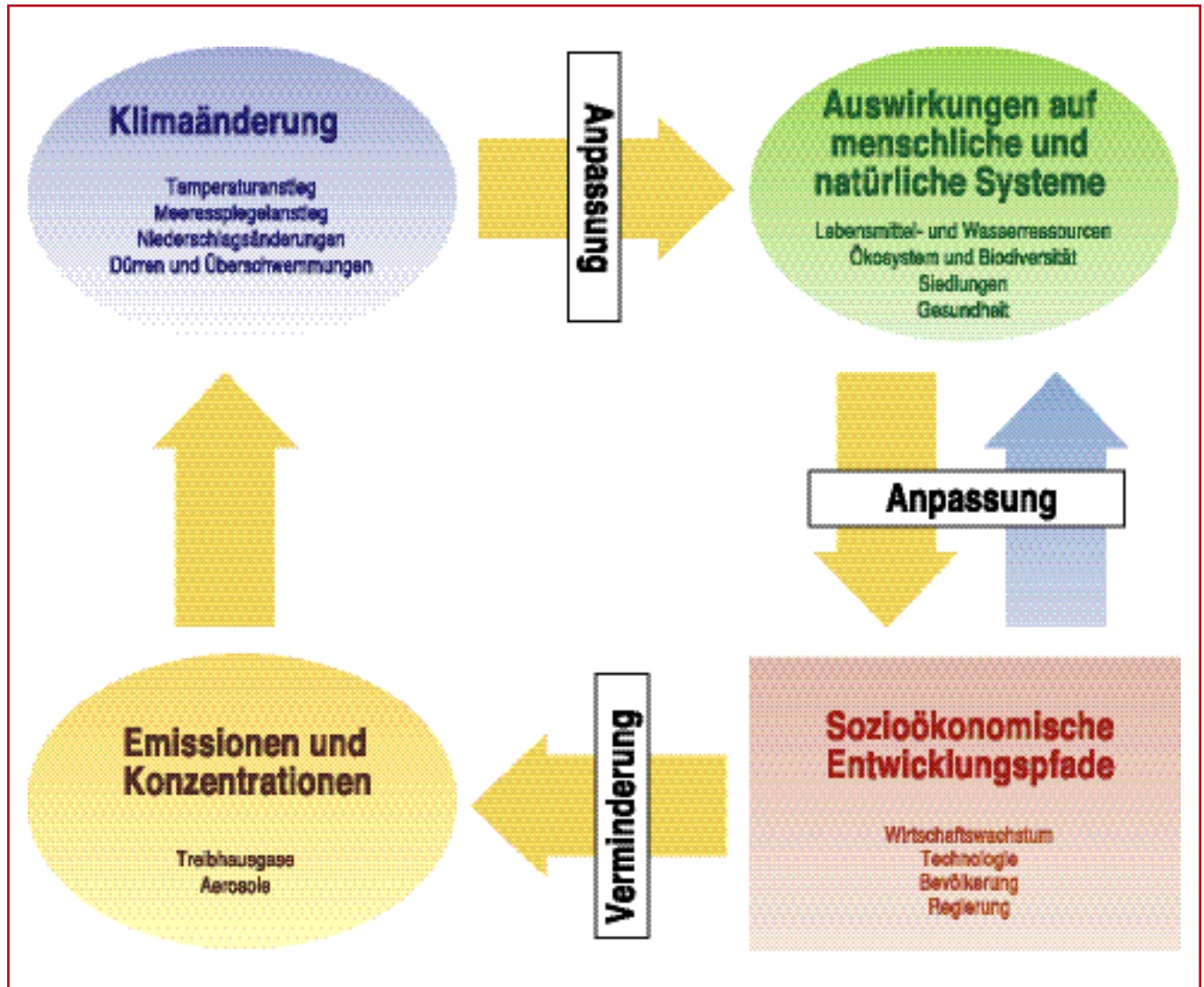
**Natur-, Technik- und Sozialwissenschaften können wesentliche Informationen und Erkenntnisse liefern, die notwendig sind um zu entscheiden, was die "gefährlichen anthropogenen Störungen des Klimasystems" ausmachen. Gleichzeitig bilden solche Entscheide Werturteile, die von gesellschaftlichen Prozessen bestimmt sind und Betrachtungen über die Entwicklung, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit, wie auch Unsicherheiten und Risiken berücksichtigen.**

**Die Grundlage zur Bestimmung, was eine "gefährliche anthropogene Störung" ausmacht, wird von Region zu Region unterschiedlich sein — abhängig sowohl von den lokalen Gegebenheiten als auch von den Konsequenzen der Auswirkungen von Klimaänderungen sowie von der vorhandenen Fähigkeit, sich der Klimaänderung anzupassen — und ebenfalls abhängig von der Fähigkeit zur Verminderung, da sowohl das Ausmass als auch die Geschwindigkeit wichtig sind.** Es gibt keine allgemein anwendbare beste Strategiewahl, es ist vielmehr wichtig, sowohl die Stabilität verschiedener Politiken gegenüber einer Bandbreite möglicher Zukunftswelten zu berücksichtigen, als auch zu überlegen, bis zu welchem Grad solche klimaspezifischen Massnahmen in eine umfassendere Politik der nachhaltigen Entwicklung integriert werden können.

**Der dritte Wissensstandsbericht (Third Assessment Report TAR) liefert eine Beurteilung neuer wissenschaftlicher Informationen und Belege als Beitrag zur Bestimmung, was eine "gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems" ausmacht, durch politische Entscheidungsträger.** Erstens liefert er neue Berechnungen zukünftiger Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre, globale und regionale Änderungsmuster und Änderungsraten der Temperatur, des Niederschlags und des Meeresspiegels sowie Änderungen klimatischer Extremereignisse. Er untersucht auch Möglichkeiten abrupter und irreversibler Änderungen der Meereszirkulation und der grossen Eisschilde. Zweitens liefert er eine Beurteilung der biophysikalischen und gesellschaftlichen Auswirkungen der Klimaänderung im Hinblick auf Gefahren für einzigartig und

bedrohte Systeme, Gefahren verbunden mit Extremwetterereignissen, die Verbreitung der Auswirkungen, die Gesamtauswirkungen und grossräumige, folgenreiche Ereignisse. Drittens liefert er eine Beurteilung des Potenzials für die Erreichbarkeit einer grossen Bandbreite von Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre und Aussagen darüber, wie durch Anpassung die Verwundbarkeit vermindert werden kann.

**Eine integrative Betrachtung der Klimaänderung berücksichtigt die Dynamik des gesamten Kreislaufs von verknüpften Ursachen und Wirkungen über alle betroffenen Sektoren hinweg (siehe Abbildung SPM-1).** Der TAR liefert neue, für die Politik wichtige Informationen und Belege mit Berücksichtigung aller vier Quadranten der Abbildung



**Abbildung SPM-1: Klimaänderung - ein ganzheitliches System.** Schematische und vereinfachte Darstellung einer integrativen Beurteilung des Systems zur Betrachtung der anthropogenen Klimaänderung. Die gelben Pfeile zeigen den Kreislauf von Ursache und Wirkung zwischen den vier in der Abbildung gezeigten Quadranten, während der blaue Pfeil die gesellschaftliche Antwort auf die Auswirkungen der Klimaänderung angibt.

SPM-1. Ein bedeutender neuer Beitrag des Spezialberichts über Emissionsszenarien (Special Report on Emissions Scenarios SRES) war, alternative Entwicklungswege und die damit zusammenhängenden Treibhausgasemissionen zu untersuchen. Der TAR bewertet Vorarbeiten zur Verknüpfung von Anpassungs-, Verminderungs- und Entwicklungsweegen. Dennoch erreicht der TAR wegen des unvollständigen Kenntnisstandes keine voll integrierte Einschätzung der Klimaänderung.

**Die Entscheidungsfindung bezüglich Klimaänderung ist hauptsächlich ein schrittweiser Prozess unter allgemeiner Unsicherheit.** Die Entscheidungsfindung muss mit Unsicherheiten umgehen, einschliesslich der Gefahr nicht-linearer und/oder unumkehrbarer Änderungen, und beinhaltet die Abwägung des Risikos von entweder ungenügendem oder übermässigem Handeln. Sie bezieht auch sorgfältige Überlegungen zu den Folgen (sowohl für die Umwelt als auch ökonomische), zu deren Wahrscheinlichkeit und zur Haltung der Gesellschaft gegenüber Gefahren mit ein.

**Der Problembereich Klimaänderung ist Teil der weitreichenderen Herausforderung der nachhaltigen Entwicklung. Demzufolge können Klimamassnahmen wirksamer sein, wenn sie konsequent in umfassendere Strategien eingebettet sind mit dem Ziel, die nationalen und regionalen Entwicklungswege nachhaltiger zu gestalten.** Dies ist so, weil die Auswirkung der Klimavariabilität und -änderung, die Reaktion der Klimapolitik und die damit verbundenen gesellschaftlichen Entwicklungen die Fähigkeit der Länder, Ziele der nachhaltigen Entwicklung zu erreichen, beeinträchtigen. Umgekehrt wird das Verfolgen dieser Ziele wiederum die Möglichkeiten und den Erfolg der Klimapolitik beeinflussen. Insbesondere werden die sozioökonomischen und technologischen Eigenschaften verschiedener Entwicklungswege die Emissionen, die Geschwindigkeit und das Ausmass der Klimaänderung, die Auswirkungen der Klimaänderung, die Anpassungsfähigkeit und das Verminderungsvermögen stark beeinflussen.

**Der TAR bewertet die verfügbaren Informationen über Zeitplanung, Möglichkeiten, Kosten, Nutzen und Auswirkungen verschiedener Optionen der Verminderung und der Anpassung.** Er zeigt, dass es für die Länder Möglichkeiten gibt, einzeln und in Zusammenarbeit mit anderen zu handeln, um Verminderungs- und Anpassungskosten zu reduzieren und aus der Realisierung einer nachhaltigen Entwicklung Nutzen zu ziehen.

---

## FRAGE 2

Was sind Belege für, die Ursachen für und die Konsequenzen von Veränderungen im Klima der Erde seit der vorindustriellen Zeit?

- (a) Hat sich das Klima der Erde seit der vorindustriellen Zeit auf regionaler und/oder globaler Ebene verändert? Wenn dies der Fall ist, welcher Teil der beobachteten Veränderungen ist menschlichen Einflüssen zuzuordnen und welcher natürlichen Phänomenen? Was liegt dieser Zuordnung zugrunde?
- (b) Was ist über die umweltbezogenen, sozialen und wirtschaftlichen Konsequenzen von Klimaveränderungen seit der vorindustriellen Zeit bekannt, unter besonderer Berücksichtigung der letzten 50 Jahre?

---

**Das Klimasystem der Erde hat sich seit der vorindustriellen Zeit sowohl auf globaler wie auch auf regionaler Ebene nachweislich verändert, und einige dieser Veränderungen sind auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen.**

**Menschliche Aktivitäten haben die atmosphärische Konzentration von Treibhausgasen und Aerosolen seit der vorindustriellen Zeit erhöht.** Messungen der atmosphärischen Konzentration der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase (d.h. Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), Lachgas (N<sub>2</sub>O) und troposphärisches Ozon (O<sub>3</sub>)) haben in den 90er Jahren die höchsten je gemessenen Werte erreicht, vor allem wegen der Verbrennung fossiler Brennstoffe, der Landwirtschaft und Veränderungen in der Landnutzung (siehe Tabelle SPM-1). Der Strahlungsantrieb aus anthropogenen Treibhausgasen ist – bei einer kleinen Bandbreite von Unsicherheit – positiv; jener aus der direkten Wirkung der Aerosole ist negativ und kleiner, während der negative Antrieb aus der indirekten Wirkung der Aerosole auf Wolken gross sein könnte, aber nicht gut quantifiziert ist.

**Eine wachsende Anzahl Beobachtungen ergibt ein kollektives Bild einer sich erwärmenden Erde und anderer Veränderungen im Klimasystem (siehe Tabelle SPM-1).**

**Tabelle SPM-1:** Änderungen im atmosphärischen, klimatischen und biophysikalischen System der Erde im 20. Jahrhundert<sup>a</sup>.

Indikator	Beobachtete Veränderungen
<i>Konzentrations-Indikatoren</i>	
Atmosphärische CO <sub>2</sub> -Konzentration	von 280 ppm 1000-1750 auf 368 ppm im Jahr 2000 (Anstieg um 31±4%)
Terrestrischer CO <sub>2</sub> -Austausch der Biosphäre	Kumulative Quelle von ca. 30 GtC zwischen 1800 und 2000; allerdings eine Netto-Senke von ca. 14±7 GtC in den 1990er Jahren
Atmosphärische CH <sub>4</sub> -Konzentration	von 700 ppb 1000-1750 auf 1750 ppb im Jahr 2000 (Anstieg um 151±25%)
Atmosphärische N <sub>2</sub> O-Konzentration	von 270 ppb 1000-1750 auf 316 ppb im Jahr 2000 (Anstieg um 17±5%)
Troposphärische O <sub>3</sub> -Konzentration	Anstieg um 357±15% von 1750 bis 2000, unterschiedlich je nach Region
Stratosphärische O <sub>3</sub> -Konzentration	Abnahme von 1970 bis 2000, unterschiedlich je nach Höhe und Breitengrad
Atmosphärische Konzentration von HFCs, PFCs und SF <sub>6</sub>	globaler Anstieg in den letzten 50 Jahren
<i>Wetter-Indikatoren</i>	
Mittlere globale Erdoberflächentemperatur	Anstieg um 0.6±0.2° im 20. Jahrhundert; Landmassen haben sich stärker erwärmt als die Ozeane ( <i>sehr wahrscheinlich</i> )
Erdoberflächentemperatur der Nordhemisphäre	grösserer Anstieg im 20. Jahrhundert als in irgendeinem anderen Jahrhundert in den letzten 1000 Jahren; 1990er Jahre wärmstes Jahrzehnt des Jahrtausends ( <i>wahrscheinlich</i> )
Täglicher Temperaturschwankungsbereich	Abnahme von 1950 bis 2000 über dem Land; nächtliche Minimum-Temperaturen nahmen doppelt so schnell zu wie die täglichen Maximal-Temperaturen ( <i>wahrscheinlich</i> )
Hitzetage / Hitzeindex	Zunahme ( <i>wahrscheinlich</i> )
Kalt- / Frosttage	Abnahme für fast alle Landregionen im 20. Jahrhundert ( <i>sehr wahrscheinlich</i> )
Kontinentale Niederschläge	Anstieg um 5-10% im 20. Jahrhundert auf der Nordhemisphäre ( <i>sehr wahrscheinlich</i> ), trotz einer Abnahme in einigen Regionen (z.B. Nord- und Westafrika und Teile des Mittelmeerraumes)
Starkniederschläge	Zunahme in mittleren und höheren Breiten ( <i>wahrscheinlich</i> )
Häufigkeit und Intensität von Dürren	Zunahme der Sommertrockenheit und den damit verbundenen Dürren in ein paar Gebieten ( <i>wahrscheinlich</i> ). In einigen Regionen, wie Teilen von Asien und Afrika wurde in den letzten Jahrzehnten eine wachsende Häufigkeit und Intensität von Dürren beobachtet.

**Tabelle SPM-1:** Änderungen im atmosphärischen, klimatischen und biophysikalischen System der Erde im 20. Jahrhundert<sup>a</sup>.

Indikator	Beobachtete Veränderungen
<i>Biologische und physikalische Indikatoren</i>	
Mittlerer globaler Meeresspiegel	Anstieg mit einer durchschnittlichen Rate von 1 bis 2 mm pro Jahr im 20. Jahrhundert
Dauer der Eisbedeckung von Flüssen und Seen	Abnahme um ca. 2 Wochen im 20. Jahrhundert in mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre ( <i>sehr wahrscheinlich</i> )
Ausdehnung und Dicke des arktischen Meereises	Ausdünnung um 40% in den letzten Jahrzehnten im Spätsommer und Frühherbst ( <i>wahrscheinlich</i> ) und Abnahme der Ausdehnung um 10-15% im Frühjahr und Sommer seit den 1950er Jahren
Nicht-polare Gletscher	Weitverbreiteter Rückzug im 20. Jahrhundert
Schneebedeckung	Abnahme der Fläche um 10% seit Beginn der globalen Satellitenbeobachtungen in den 1960er Jahren ( <i>sehr wahrscheinlich</i> )
Permafrost	Schmelzen, Erwärmung und Abbau in Teilen der polaren, subpolaren und Gebirgsregionen
El-Niño-Ereignisse	Sind in den letzten 20 bis 30 Jahren häufiger, anhaltender und intensiver geworden als in den vorangegangenen 100 Jahren
Wachstumsperiode	Verlängerung um etwa 1 bis 4 Tage pro Jahrzehnt in den letzten 40 Jahren auf der Nordhemisphäre, vor allem in höheren Breiten
Verbreitung von Pflanzen und Tieren	Hat sich für Pflanzen, Insekten, Vögel und Fische polwärts und in die Höhe verschoben
Brutzeit, Blütezeit und Wanderung	Frühere Blütezeit von Pflanzen, frühere Ankunft von Vögeln, frühere Daten der Brutzeit, früheres Auftauchen von Insekten in der Nordhemisphäre
Korallenausbleichung	Grössere Häufigkeit, insbesondere während El Niño-Ereignissen
<i>Ökonomische Indikatoren</i>	
Wetterbezogene ökonomische Verluste	Globale inflationsbereinigte Verluste sind in den letzten 40 Jahren um eine Grössenordnung gestiegen. Ein Teil des beobachteten Aufwärtstrends ist mit sozioökonomischen Faktoren verbunden und ein Teil mit klimatischen Faktoren.

<sup>a</sup> Diese Tabelle zeigt Beispiele von beobachteten Schlüsseländerungen und ist keine vollständige Liste. Sie beinhaltet sowohl Änderungen, die der menschverursachten Klimaänderung zugeschrieben werden, als auch solche, die durch natürliche Schwankungen oder die menschverursachte Klimaänderung verursacht sein können. Vertrauensniveaus sind dort erwähnt, wo sie explizit von der zuständigen Arbeitsgruppe beurteilt worden sind.

## Kasten SPM-1: Vertrauens- und Wahrscheinlichkeitsaussagen

Wo angebracht, haben die Autoren des TAR ihren Resultaten Vertrauensbereiche zugewiesen. Diese repräsentieren ihre kollektive Beurteilung der Gültigkeit einer Folgerung aus auf Beobachtungen beruhenden Erkenntnissen, Modellresultaten und Theorien. Im vorliegenden Synthesebericht wurde im Zusammenhang mit Forschungsergebnissen der AG I das folgende Vokabular verwendet: *Praktisch sicher* (>99% Wahrscheinlichkeit, dass das Resultat richtig ist), *sehr wahrscheinlich* (90-99% Wahrscheinlichkeit), *wahrscheinlich* (66-90%), *mittlere Wahrscheinlichkeit* (33-66%), *unwahrscheinlich* (10-33%), *sehr unwahrscheinlich* (1-10%), *äusserst unwahrscheinlich* (<1%). Ein ausdrücklicher Unsicherheitsbereich ( $\pm$ ) ist ein *wahrscheinlicher* Bereich. Vertrauensschätzungen, die sich auf die Resultate der AG II beziehen, bedienen sich des folgenden Vokabulars: *sehr hoch* (>95%), *hoch* (67-95%), *mittel* (33-67%), *gering* (5-33%), *sehr gering* (<5%). In der AG III wurden keine Vertrauensbereiche zugeordnet.

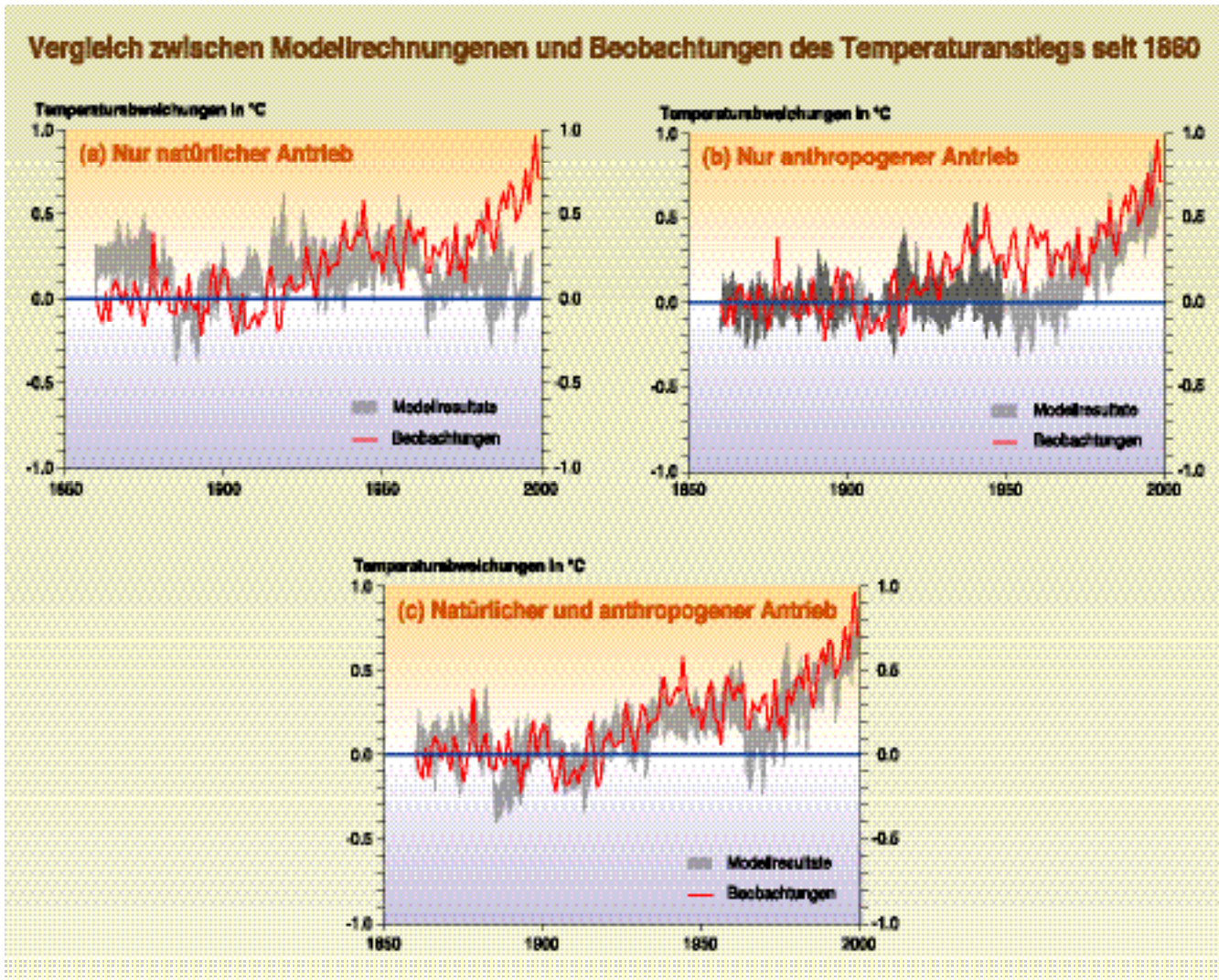


**Es ist, global gesehen, sehrwahrscheinlich, dass die 90er Jahre das wärmste Jahrzehnt und 1998 das wärmste Jahr waren, seit instrumentelle Messungen vorliegen (1861-2000; siehe Kasten SPM-1).** Im 20. Jahrhundert ist die Erhöhung der Oberflächentemperatur auf der Nordhemisphäre wahrscheinlich höher als in sämtlichen Jahrhunderten der letzten 1000 Jahre (siehe Tabelle SPM-1). Für die südliche Hemisphäre sind vor 1860 nur ungenügende Daten vorhanden, um die jüngste Erwärmung mit den Veränderungen über die letzten 1000 Jahre zu vergleichen. Die Temperaturveränderungen waren weltweit nicht gleichmässig, sondern variierten je nach Region und in verschiedenen Teilen der unteren Atmosphäre.

**Es gibt neue und klarere Belege, dass der Grossteil der Erwärmung in den letzten 50 Jahren menschlichen Aktivitäten zuzuschreiben ist.** Studien zur Erkennung und Zuordnung finden in den Klimamessungen der letzten 35 bis 50 Jahren konsistente Nachweise für ein anthropogenes Signal. Diese Studien schliessen Unsicherheiten bezüglich eines Antriebs des Klimawandels durch anthropogene Schwefelaerosole und natürliche Faktoren (Vulkane und solare Einstrahlung) mit ein, aber Effekte von anders gearteten anthropogenen Aerosolen und von Landnutzungsveränderungen werden nicht berücksichtigt. Der Antrieb durch Schwefel oder natürliche Faktoren ist über diese Zeitperiode negativ und kann die Erwärmung nicht erklären; aber die meisten Studien kommen zum Schluss, dass über die letzten 50 Jahre hinweg allein die geschätzte Geschwindigkeit und das Ausmass der Erwärmung aufgrund von erhöhten Treibhausgaskonzentrationen vergleichbar oder grösser sind als die beobachtete Erwärmung. Die beste Übereinstimmung zwischen Modellsimulationen und Beobachtungen über die letzten 140 Jahre wurde erzielt, wenn alle oben erwähnten anthropogenen und natürlichen Faktoren, wie in Abbildung SPM-2 gezeigt, kombiniert werden.

**Veränderungen des Meeresspiegels, der Schneebedeckung, der Ausdehnung von Eis und des Niederschlags stehen im Einklang mit einer Erwärmung des Klimas nahe der Erdoberfläche.** Beispiele für solche Veränderungen sind ein aktiverer hydrologischer Kreislauf mit stärkeren Niederschlagsereignissen und Verschiebungen des Niederschlags, ein umfassender Rückzug von nicht-polaren Gletschern, der Anstieg des Meeresspiegels und zunehmende Wärme im Ozean sowie ein Rückgang der Schneebedeckung und eine verringerte Ausdehnung und Mächtigkeit von Meereis (siehe Tabelle SPM-1). Es ist zum Beispiel sehr wahrscheinlich, dass die Erwärmung im 20. Jahrhundert durch thermische Expansion von Meerwasser und durch den grossräumigen Verlust an Meereis entscheidend zum beobachteten Anstieg des Meeresspiegels beigetragen hat. Innerhalb des heutigen Unsicherheitsbereichs stimmen sowohl Modelle wie auch Beobachtungen mit einem Ausbleiben einer wesentlichen Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs während des 20. Jahrhunderts überein. Es gibt keine erwiesenen Veränderungen in der gesamthaften Ausdehnung von Meereis zwischen 1978 und 2000. Zudem gibt es einander widersprechende Analysen und ungenügende Daten, um die Veränderungen der Intensität von tropischen und aussertropischen Zyklonen und lokaler Sturmaktivität in den mittleren Breiten auszuwerten. Einige der beobachteten Veränderungen sind regional, und bei einigen könnte es sich um die Folge interner Klimavariationen, natürlicher Antriebsfaktoren oder regionaler menschlicher Aktivitäten handeln, anstatt allein um den globalen menschlichen Einfluss.

**Beobachtete Veränderungen im regionalen Klima haben sich auf viele physische und biologische Systeme ausgewirkt, und es gibt vorläufige Hinweise darauf, dass auch soziale und wirtschaftliche Systeme beeinflusst werden.**



**Abbildung SPM-2:** Wenn simulierte Temperaturschwankungen der Erde (°C) mit Änderungen in Messwerten verglichen werden, können Erkenntnisse über die Ursachen der wichtigsten Veränderungen gewonnen werden. Ein Klimamodell kann zur Simulation von Temperaturveränderungen sowohl durch natürliche wie auch anthropogene Verursacher dienen. Das Band in (a) zeigt Simulationen, die nur natürliche Antriebsfaktoren berücksichtigen: Schwankungen der solaren Einstrahlung und vulkanische Aktivitäten. Das Band in (b) zeigt Simulationen, die anthropogene Antriebskräfte berücksichtigen: Treibhausgase und eine Schätzung bezüglich der Schwefel-aerosole. In (c) sind sowohl natürliche wie auch anthropogene Antriebsfaktoren berücksichtigt. Aus (b) ist ersichtlich, dass der Einbezug von anthropogenen Antriebskräften eine plausible Erklärung für einen wesentlichen Teil der beobachteten Temperaturveränderungen über das letzte Jahrhundert liefert. Die beste Übereinstimmung mit den beobachteten Messungen wird allerdings in (c) erreicht, wo sowohl natürliche wie auch anthropogene Faktoren mit einbezogen sind. Diese Resultate zeigen, dass die berücksichtigten Antriebsfaktoren ausreichen, um die beobachteten Veränderungen zu erklären, nicht aber, um die Möglichkeit auszuschließen, dass auch andere Faktoren mitgespielt haben können.



**Jüngste regionale Veränderungen im Klima, vor allem Temperaturerhöhungen, haben sich in vielen Teilen der Erde bereits auf hydrologische Systeme und auf terrestrische und marine Ökosysteme ausgewirkt (siehe Tabelle SPM-1).** Die beobachteten Veränderungen dieser Systeme<sup>1</sup> sind über verschiedene Lokalitäten und/oder Regionen hinweg schlüssig und stimmen in der Richtung mit den erwarteten Auswirkungen von regionalen Temperaturveränderungen überein. Die Wahrscheinlichkeit, dass die beobachteten Veränderungen allein durch Zufall in die erwartete Richtung gehen (ohne Angaben zum Ausmass), ist vernachlässigbar.

**Die wachsenden sozioökonomischen Kosten im Zusammenhang mit Wetterschäden und regionalen Klimaschwankungen legen nahe, dass die Anfälligkeit für Klimaänderungen ansteigt.** Vorläufige Hinweise legen nahe, dass manche soziale und wirtschaftliche Systeme von der kürzlichen Zunahme von Hochwassern und Dürren betroffen sind und die wirtschaftlichen Verluste bei katastrophalen Wetterereignissen steigen. Allerdings werden diese Systeme auch durch sozioökonomische Faktoren wie zum Beispiel durch demographische Verschiebungen und Landnutzungsänderungen beeinflusst, wodurch die Quantifizierung des Einflusses des Klimawandels (sowohl des natürlichen wie auch des anthropogenen) erschwert wird.

---

## FRAGE 3

Was ist bekannt über die regionalen und globalen Folgen auf Klima, Umwelt und Gesellschaft in den nächsten 20, 50 und 100 Jahren durch eine Spanne von Treibhausgasemissionen, die sich aus den im TAR benutzten Szenarien ergeben (Projektionen, die keinen Eingriff durch die Klimapolitik einbeziehen)?

Soweit als möglich sind zu beurteilen:

- Projizierte Änderungen der atmosphärischen Konzentrationen, des Klimas und des Meeresspiegels
  - Auswirkungen und ökonomische Kosten und Nutzen von Änderungen des Klimas und der Zusammensetzung der Atmosphäre auf Gesundheit, Vielfalt und Produktivität ökologischer Systeme und sozioökonomischer Sektoren (insbesondere Landwirtschaft und Wasser)
  - Bandbreite der Möglichkeiten zur Anpassung, einschliesslich Kosten, Nutzen und Herausforderungen
  - Fragen betreffend Entwicklung, Nachhaltigkeit und Gerechtigkeit, verbunden mit den Auswirkungen und der Anpassung auf regionaler und globaler Ebene.
- 

**Es wird projiziert, dass die Konzentrationen des Kohlendioxids, die mittlere globale Erdoberflächentemperatur und der Meeresspiegel unter allen Emissionsszenarien des IPCC im 21. Jahrhundert steigen<sup>2</sup>.**

---

<sup>1</sup> Es gibt 44 regionale Studien über mehr als 400 Pflanzen und Tiere, die über 20 bis 50 Jahre liefen. Die Studien besprechen vor allem Nordamerika, Europa und die südliche Polarregion. Es gibt 16 regionale Studien, die etwa 100 physische Prozesse aus den meisten Regionen der Welt behandeln und über 20 bis 150 Jahre hinweg liefen.

<sup>2</sup> Projektionen von Änderungen der Klimavariabilität, von Extremereignissen und abrupten/nicht-linearen Änderungen werden in Frage 4 behandelt.

**In den sechs illustrativen Emissionsszenarien des SRES bewegt sich die projizierte CO<sub>2</sub>-Konzentration für das Jahr 2100 zwischen 540 und 970 ppm, verglichen mit ungefähr 280 ppm in der vorindustriellen Epoche und etwa 368 ppm im Jahr 2000.** Die unterschiedlichen Werte zukünftiger Treibhausgase und Aerosole sind eine Folge der unterschiedlichen gesellschaftlichen Annahmen (demographische, soziale, ökonomische und technologische). Weitere Unsicherheiten, insbesondere betreffend der Fortdauer gegenwärtiger Abbauprozesse (Kohlenstoffsenken) und der Stärke der Klima-Rückkopplung auf die terrestrische Biosphäre, verursachen eine Streuung der Konzentration im Jahr 2100 von etwa -10 bis +30% um jedes Szenario. Deshalb beträgt der gesamte Streubereich 490 bis 1260 ppm (75 bis 350% über der (vorindustriellen) Konzentration im Jahr 1750). Für die Konzentrationen der wichtigsten Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase zeigt die Projektion bis zum Jahr 2100 beträchtliche Unterschiede zwischen den sechs illustrativen Szenarien des SRES (siehe Abbildung SPM-3).

**Unter Anwendung der SRES-Emissionsszenarien in einer Auswahl von Klimamodellen errechnete Projektionen ergeben für den Zeitraum von 1990 bis 2100 eine Erhöhung der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur von 1.4 bis 5.8°C. Dieser Wert ist etwa zwei bis zehn mal höher als der Zentralwert der beobachteten Erwärmung während des 20. Jahrhunderts, und die projizierte Erwärmungsrate ist laut Paläoklimadaten sehr wahrscheinlich beispiellos für mindestens die letzten 10'000 Jahre.** Diese projizierten Temperaturzunahmen sind höher als die Projektionen im zweiten Wissensstandsbericht (SAR), die bei etwa 1.0 bis 3.5°C lagen und auf sechs IS92-Szenarien basierten. Die höher projizierten Temperaturen und die grössere Bandbreite ergeben sich hauptsächlich aus den tieferen Projektionen für Schwefeldioxidemissionen (SO<sub>2</sub>) in den SRES-Szenarien im Vergleich zu den IS92-Szenarien. Für die Zeiträume 1990 bis 2025 und 1990 bis 2050 betragen die projizierten Zunahmen 0.4 bis 1.1°C beziehungsweise 0.8 bis 2.6°C. Bis 2100 ist die Bandbreite der Reaktion der Erdoberflächentemperatur über verschiedene Klimamodelle für das gleiche Emissionsszenario vergleichbar mit der Streuung über verschiedene SRES-Emissionsszenarien für ein einziges Klimamodell. Abbildung SPM-3 zeigt, dass die SRES-Szenarien mit den höchsten Emissionen die höchsten Projektionen für die Temperaturerhöhung ergeben. Nahezu alle Landgebiete werden sich sehr wahrscheinlich mehr erwärmen als im globalen Mittel, insbesondere im Winter in hohen nördlichen Breiten.

**Es wird projiziert, dass der weltweite durchschnittliche Jahresniederschlag während des 21. Jahrhunderts steigt, obwohl im regionalen Massstab typische Zu- bzw. Abnahmen von 5 bis 20% projiziert werden.** Es ist wahrscheinlich, dass der Niederschlag über den Regionen hoher Breiten sowohl im Sommer als auch im Winter zunehmen wird. Zunahmen werden auch über den mittleren nördlichen Breiten, dem tropischen Afrika und der Antarktis im Winter sowie in Süd- und Ostasien im Sommer projiziert. Australien, Mittelamerika und das südliche Afrika zeigen übereinstimmend Abnahmen beim winterlichen Niederschlag. Grössere Schwankungen des Niederschlags von Jahr zu Jahr sind über den meisten Gebieten sehr wahrscheinlich, wo eine Zunahme der durchschnittlichen Niederschlagsmenge projiziert wurde.

**Die Fortsetzung des weitverbreiteten Gletscherrückzugs während des 21. Jahrhunderts wird projiziert.** Es wird projiziert, dass Schneedecke, Permafrost und Meereisausdehnung der Nordhemisphäre weiter abnehmen. Der Antarktische Eisschild gewinnt wahrscheinlich an Masse, während der Grönländische Eisschild wahrscheinlich an Masse verlieren wird (siehe Frage 4).

**Laut Projektionen steigt der globale durchschnittliche Meeresspiegel zwischen den Jahren 1990 und 2100 für die ganze Spannweite der SRES-Szenarien um 0.09 bis 0.88 m an, allerdings mit bedeutenden regionalen Schwankungen.** Diese Erhöhung ist hauptsächlich auf die thermische Expansion der Meere und auf das Schmelzen der Gletscher

und Eiskappen zurückzuführen. Für die Zeiträume 1990 bis 2025 und 1990 bis 2050 betragen die projizierten Erhöhungen 0.03 bis 0.14 beziehungsweise 0.05 bis 0.32 m.

**Die projizierte Klimaänderung wird sowohl auf Umwelt- als auch auf sozioökonomische Systeme positive und negative Auswirkungen haben; je grösser die Veränderungen und Veränderungsraten sind, desto mehr überwiegen jedoch die negativen Auswirkungen.**

**Der Schweregrad negativer Auswirkungen wird bei grösseren kumulativen Treibhausgasemissionen und den damit verbundenen Veränderungen des Klimas grösser sein (*mittleres Vertrauen*).** Während bei kleinen Klimaänderungen für einige Regionen und Sektoren günstige Auswirkungen festgestellt werden können, wird erwartet, dass diese bei zunehmendem Ausmass der Klimaänderung abnehmen. Dagegen wird erwartet, dass viele bekannte negative Auswirkungen mit dem Grad der Klimaänderung steigen, sowohl in ihrem Ausmass wie auch im Schweregrad. Laut Schätzungen werden auf regionaler Ebene negative Auswirkungen in weiten Teilen der Erde vorherrschen, insbesondere in den Tropen und Subtropen.

**Insgesamt wird projiziert, dass die Klimaänderung eine stärkere Gefährdung der menschlichen Gesundheit mit sich bringt, vor allem für Bevölkerungsgruppen mit niedrigem Einkommen und hauptsächlich innerhalb tropischer/subtropischer Länder.** Die Klimaänderung kann sich direkt auf die menschliche Gesundheit auswirken (z.B. verminderter Kältestress in Ländern gemässigter Zonen, aber zunehmender Hitzestress sowie Todesopfer bei Überschwemmungen und Stürmen), und indirekt durch die Änderung der Verbreitung von Krankheitsträgern (z.B. Moskitos)<sup>3</sup> und wassergebundenen Krankheitserregern sowie der Änderung von Wasserqualität, Luftqualität und Nahrungsangebot bzw. -qualität (*mittleres bis hohes Vertrauen*). Die tatsächlichen Gesundheitsfolgen werden stark von lokalen Umweltfaktoren und den gesellschaftlichen Verhältnissen beeinflusst, sowie vom Umfang sozialer, institutioneller, technologischer und Verhaltensanpassungen im Hinblick auf die Reduktion der ganzen Palette von gesundheitlichen Bedrohungen.

**Die ökologische Produktivität und Biodiversität werden durch die Klimaänderung und den Meeresspiegelanstieg verändert. Dadurch erhöht sich die Gefahr des Aussterbens einiger gefährdeter Arten (*hohes bis mittleres Vertrauen*).** Es ist eine Zunahme einschneidender Beeinträchtigungen von Ökosystemen durch Faktoren wie Feuer, Dürre, Schädlingsbefall, Einwanderung von Arten, Stürme und Ausbleichen der Korallenriffe zu erwarten. Durch Klimaänderung verursachte Belastungen drohen substanziellen Schaden oder völligen Verlust einiger einzigartiger Systeme und das Aussterben einiger bedrohter Arten zu verursachen, wenn sie zu anderen Belastungen auf ökologische Systeme hinzukommen. Die Auswirkungen der steigenden CO<sub>2</sub>-Konzentrationen wird die Netto-Primärproduktivität der Pflanzen steigern, aber Klimaänderungen und damit verbundene Veränderungen von Störungsmustern können sowohl zu einer erhöhten als auch zu einer sinkenden Netto-Produktivität des Ökosystems führen (*mittleres Vertrauen*). Einige globale Modelle projizieren, dass die Netto-Aufnahme von Kohlenstoff durch terrestrische Ökosysteme während der ersten Hälfte des 21. Jahrhunderts zunehmen wird, dann aber stabil bleibt oder abnimmt.

**Getreidemodelle zeigen an, dass in einigen gemässigten Gebieten die potenziellen Erträge bei geringen Temperaturzunahmen zunehmen, bei grösseren Temperaturver-**

<sup>3</sup> In acht Studien wurden die Auswirkungen der Klimaänderung auf diese Krankheiten modelliert - fünf bezüglich Malaria und drei zu Dengue. In sieben davon wurde ein biologischer oder prozessbezogener Ansatz verfolgt und in einer ein empirisch-statistischer Ansatz.



## Sozioökonomische Szenarien



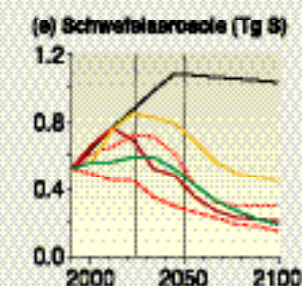
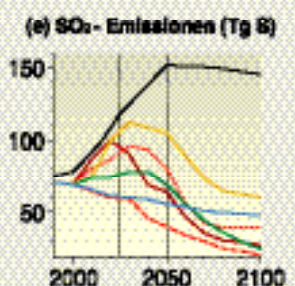
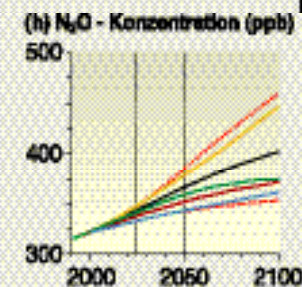
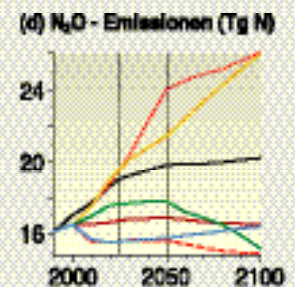
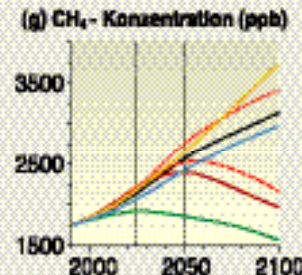
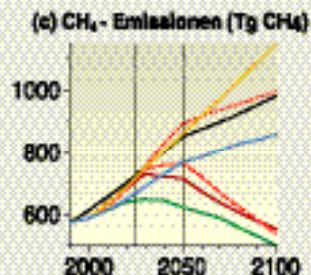
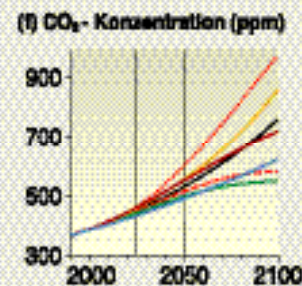
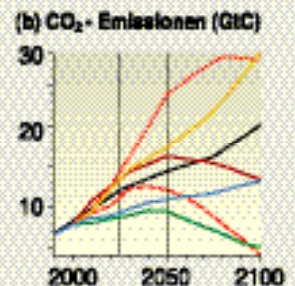
## Emissionen



## Konzentrationen



- Szenarien**
- A1B
  - A1T
  - A1Fi
  - A2
  - B1
  - B2
  - IS92a



## A1Fi, A1T und A1B

Die Modelgeschichte und Szenarienfamilie A1 beschreibt eine künftige Welt mit sehr raschem wirtschaftlichem Wachstum, einer Weltbevölkerung, die Mitte des Jahrhunderts zahlenmäßig ihren Höhepunkt erreicht und danach abnimmt, und der raschen Einführung von neuen und effizienteren Technologien. Die wichtigsten Grundannahmen sind die Annäherung der Regionen, der weltweite Aufbau von erforderlichem Know-How und zunehmende

kulturelle und soziale Interaktionen, mit einer erheblichen Verminderung der regionalen Differenzen im Pro-Kopf-Einkommen. Die Szenarienfamilie A1 entwickelt sich in drei Gruppen, die verschiedene Richtungen der technologischen Veränderung im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich durch ihren jeweiligen technologischen Schwerpunkt: intensive Nutzung fossiler Brennstoffe (A1Fi), nicht-fossiler

Energiequellen (A1T) oder Ausgeglichenheit über alle Energieträger hinweg (A1B) (ausgeglichen ist definiert als "nicht zu sehr auf eine einzelne Energiequelle fokussiert" aufgrund der Annahme, dass für alle Energieversorgungs- und Endverbraucher-technologien gleiche Verbesserungsraten angenommen werden können).



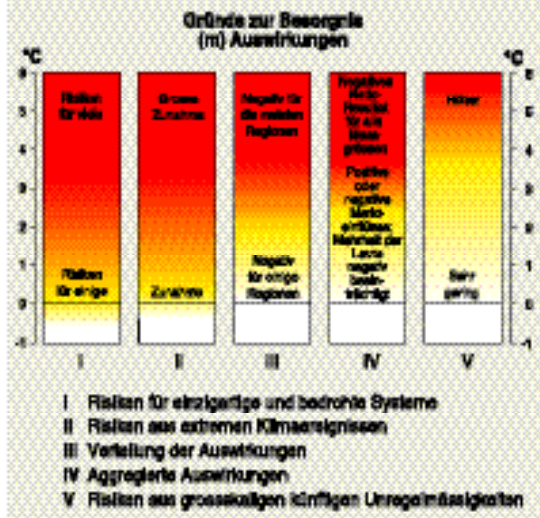
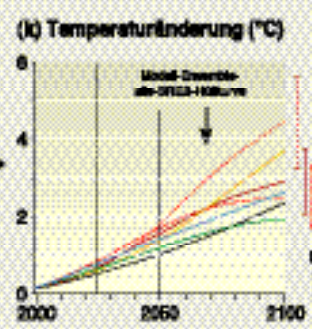
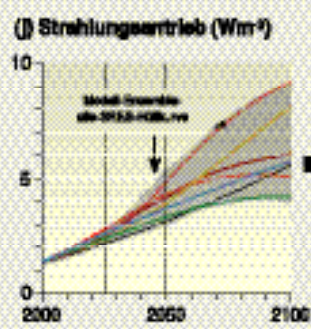
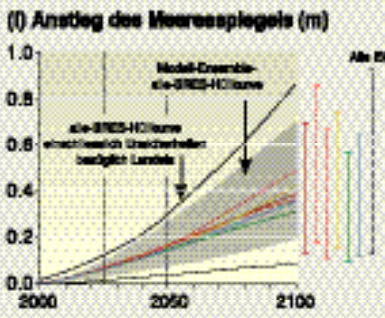
# Strahlungsantrieb

# Änderungen von Temperatur und Meeresspiegel

# Gründe zur Besorgnis



- Szenarien**
- A1B
  - A1T
  - A1FI
  - A2
  - B1
  - B2
  - IS92a



**A2**

Die Modellgeschichte und Szenarienfamilie A2 beschreibt eine sehr heterogene Welt. Die Grundannahmen sind Autarkie und die Bewahrung von lokalen Identitäten. Die Gebirgsränder der verschiedenen Regionen nähern sich nur langsam an, was zu einem kontinuierlichen Wachstum der Weltbevölkerung führt. Wirtschaftliches Wachstum ist vor allem regional orientiert, und das wirtschaftliche Pro-Kopf-Wachstum und der technologische Wandel verändern sich fragmentierter und langsamer als in anderen Szenarienfamilien.

**B1**

Die Modellgeschichte und Szenarienfamilie B1 beschreibt eine konvergierende Welt mit der gleichen globalen Bevölkerung wie im A1-Szenario, die ihren zahlenmäßigen Höhepunkt Mitte des Jahrhunderts erreicht und danach abnimmt, aber mit raschen Veränderungen in den wirtschaftlichen Strukturen hin zu einer Dienstleistungs- und Informationswirtschaft, mit deutlich geringerer Materialintensität und Einführung von emissionsarmen und ressourcenschonenden Technologien. Das Schwergewicht liegt auf globalen Lösungen in Richtung wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit, einschließlich verbesserter Gerechtigkeit, aber ohne zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen.

**B1**

Die Modellgeschichte und Szenarienfamilie B2 beschreibt eine Welt, in der das Schwergewicht auf lokalen Lösungen hin zu wirtschaftlicher, sozialer und ökologischer Nachhaltigkeit liegt. Es ist eine Welt mit einer kontinuierlich wachsenden Weltbevölkerung, die langsamer wächst als in A2, mit einer wirtschaftlichen Entwicklung auf mittlerem Niveau und weniger raschem und vielfältigem technologischen Wandel als in den B1- und A1-Szenarien. Während das Szenario auch hin zu Umweltschutz und sozialer Gerechtigkeit orientiert ist, legt sein Hauptgewicht auf den lokalen und regionalen Ebenen.

**Abbildung SPM-3:** Die verschiedenen gesellschaftlichen Annahmen, die den Szenarien des SRES zugrunde liegen, ergeben unterschiedliche Niveaus der zukünftigen Treibhausgas- und Aerosolemissionen. Diese Emissionen wiederum ändern die Konzentration dieser Gase und Aerosole in der Atmosphäre, was zu einer Änderung des Strahlungsantriebs im Klimasystem führt. Der Strahlungsantrieb aufgrund der SRES-Szenarien führt zu den projizierten Anstiegen von Temperatur und Meeresspiegel, die ihrerseits Folgewirkungen haben werden. Die SRES-Szenarien enthalten keine zusätzlichen Klimainitiativen, und es wurden keine Eintretenswahrscheinlichkeiten zugeordnet. Weil die SRES-Szenarien erst kurz vor der Erstellung des TAR verfügbar waren, werden hier für die Beurteilung der Auswirkungen Resultate von Klimamodellen benutzt, die tendenziell auf Gleichgewichts-Klimaänderungsszenarien (z.B. 2xCO<sub>2</sub>) basieren. Eine relativ kleine Anzahl von Berechnungen benutzt ein Übergangsszenario mit einer CO<sub>2</sub>-Zunahme von 1% pro Jahr bzw. die im SAR benutzten Szenarien (z.B. die Reihe IS92). Die Auswirkungen können ihrerseits gesellschaftliche Entwicklungswege beeinflussen, zum Beispiel durch Anpassung und Verminderung. Die hervorgehobenen Kästchen zuoberst in der Abbildung stellen dar, wie die verschiedenen Aspekte mit dem integrativen Beurteilungssystem zur Betrachtung der Klimaänderung zusammenhängen (siehe Abbildung SPM-1).



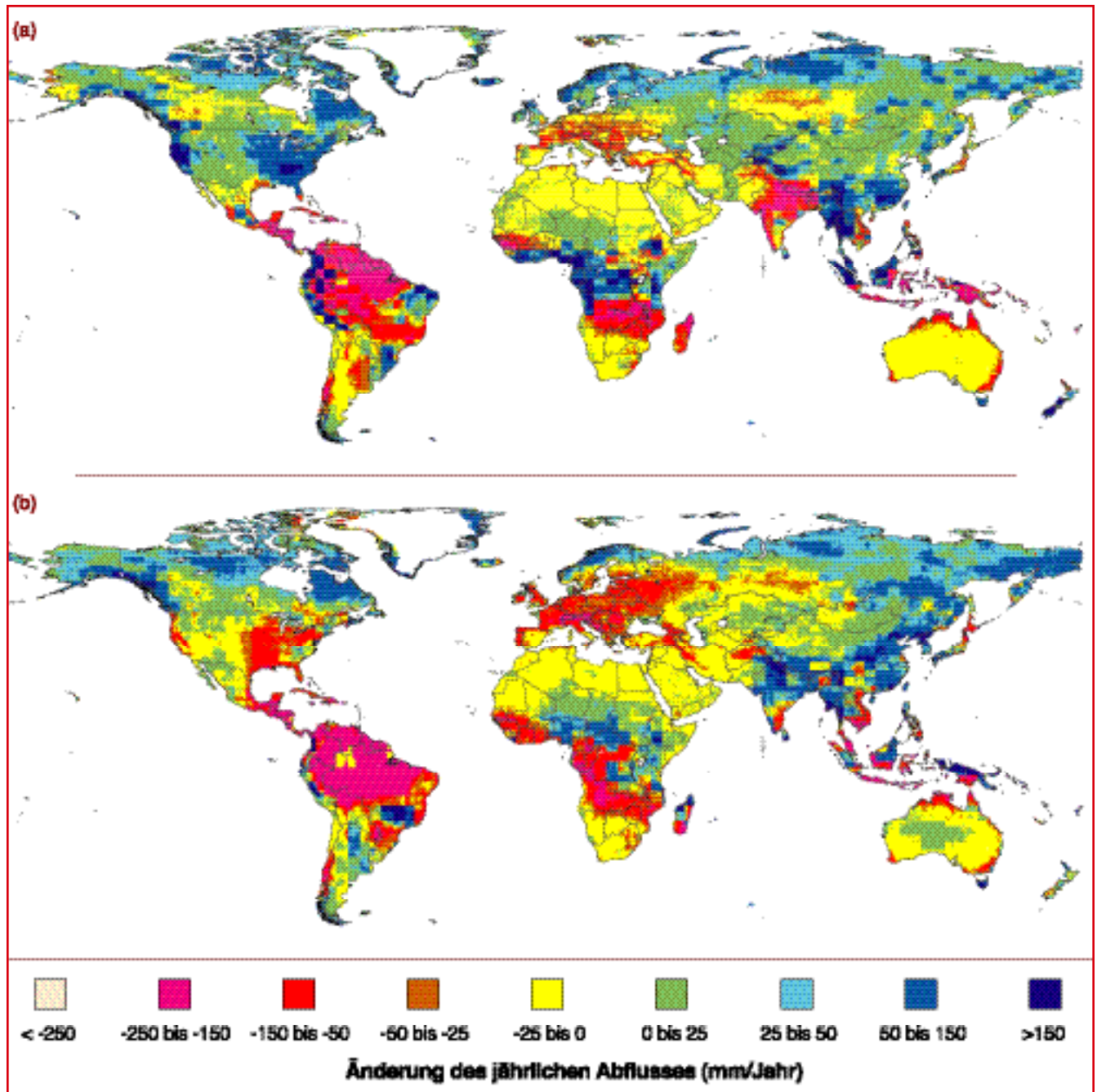
änderungen jedoch wieder abnehmen (*mittleres bis geringes Vertrauen*). Für die meisten tropischen und subtropischen Regionen wurde projiziert, dass die potenziellen Erträge mit den meisten projizierten Temperaturerhöhungen sinken (*mittleres Vertrauen*). In subtropischen und tropischen Trocken- bzw. regenbewässerten Systemen, wo die Niederschläge bedeutend zurückgehen, wären Ernteerträge sogar noch stärker betroffen. Diese Schätzungen beziehen einige Anpassungsmassnahmen von Landwirten und die günstigen Auswirkungen durch CO<sub>2</sub>-Düngung mit ein, nicht aber die Auswirkungen durch die projizierte Zunahme von Schädlingsbefall und Veränderungen von Klimaextremen. Über die Möglichkeiten von Viehzüchtern, ihre Herden an durch Klimaveränderung bedingten physiologischen Stress anzupassen, ist kaum etwas bekannt. Es wird projiziert, dass eine Erwärmung von wenigen °C oder mehr die Nahrungsmittelpreise weltweit erhöhen und in gefährdeten Bevölkerungsgruppen das Hungerrisiko erhöhen kann.

**Die Klimaänderung wird die Wasserknappheit in vielen wasserarmen Gebieten der Erde verschlimmern.** Die Nachfrage nach Wasser steigt im Allgemeinen aufgrund von Bevölkerungswachstum und wirtschaftlicher Entwicklung, sinkt jedoch in einigen Ländern wegen der steigenden Effizienz im Verbrauch. Es wird projiziert, dass die Klimaänderung die Verfügbarkeit von Wasser in vielen wasserarmen Gebieten der Erde erheblich vermindert (was sich in den Projektionen zum Abfluss widerspiegelt); in einigen anderen Gebieten wird sie jedoch erhöht (*mittleres Vertrauen*) (siehe Abbildung SPM-4). Durch die höheren Wassertemperaturen würde die Süswasserqualität im allgemeinen abnehmen (*hohes Vertrauen*), aber dies könnte in einigen Gebieten durch erhöhte Abflüsse aufgehoben werden.

**Laut Schätzungen sind die gesamten Auswirkungen auf den Marktsektor (gemessen als Änderungen des Bruttoinlandprodukts BIP) für viele Entwicklungsländer negativ; dies gilt für alle untersuchten globalen durchschnittlichen Temperaturzunahmen (*geringes Vertrauen*). Die Auswirkungen auf die entwickelten Länder sind laut Schätzungen bei wenigen °C Erwärmung uneinheitlich (*geringes Vertrauen*), und negativ bei einer Erwärmung über ein paar Grad hinaus (*mittleres bis geringes Vertrauen*).** Die Abschätzungen schliessen allgemein die Auswirkungen von Veränderungen in Klimaschwankungen und -extremen aus; sie können zudem die Auswirkungen verschiedener Klimaänderungsraten nicht erklären, berücksichtigen die Auswirkungen auf Güter und Dienstleistungen, die nicht auf Märkten gehandelt werden, nur teilweise, und betrachten Gewinne der einen als Kompensation für die Verluste von anderen.

**Bevölkerungsgruppen kleiner Inseln und/oder tief gelegener Küstengebiete sind speziell gefährdet, durch Meeresspiegelanstieg und Sturmfluten von ernsthaften sozialen und ökonomischen Auswirkungen betroffen zu werden.** Viele Siedlungen werden vermehrt von Küstenüberschwemmungen und -erosion bedroht sein, und Dutzende Millionen von Menschen, die auf Flussdeltas, in tief gelegenen Küstengebieten und auf kleinen Inseln leben, werden dem Risiko einer Verdrängung gegenüberstehen. Auch für Insel- und Küstenbevölkerung entscheidende Ressourcen wie Strände, Trinkwasser, Fischerei, Korallenriffe und -atolle sowie Lebensräume für Tier- und Pflanzenwelt wären gefährdet.

**Die Auswirkungen der Klimaänderung werden die Entwicklungsländer und die arme Bevölkerung in allen Ländern unverhältnismässig treffen; dadurch wird sich die Ungerechtigkeit beim Gesundheitszustand und beim Zugang zu angemessener Nahrung, sauberem Wasser und anderen Ressourcen verschärfen.** Die Bevölkerung von Entwicklungsländern ist allgemein relativ hohen Risiken ausgesetzt, von nachteiligen Auswirkungen einer Klimaänderung betroffen zu werden. Ausserdem erzeugen Armut und andere Faktoren in den meisten Entwicklungsländern Bedingungen, die zu einer niedrigen Anpassungskapazität führen.



**Abbildung SPM-4:** Die projizierten Änderungen des durchschnittlichen jährlichen Wasserabflusses bis zum Jahr 2050 (verglichen mit dem durchschnittlichen Abfluss von 1961-1990) folgen weitgehend den projizierten Veränderungen des Niederschlags. Abflussänderungen werden mit einem hydrologischen Modell berechnet, das als Input die Klimaprojektionen von zwei Versionen des Generellen Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmodells des Hadley-Center (GAOZM) für ein Szenario mit einem jährlichen Anstieg der effektiven Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre um 1% verwendet: (a) HadCM2-Ensemble-Mittel und (b) HadCM3. Die projizierten Abflusszunahmen in hohen Breiten und in Südostasien sowie Abflussabnahmen in Zentralasien, im Mittelmeerraum, im südlichen Afrika und in Australien sind innerhalb der Hadley-Center-Experimente sowie mit den Niederschlagsprojektionen anderer GAOZM-Rechnungen weitgehend konsistent. Für andere Regionen der Erde sind die Änderungen von Niederschlag und Abfluss szenario- und modellabhängig.

**Eine Anpassung kann potenziell die nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung vermindern und oft unmittelbar Sekundärnutzen hervorbringen; sie wird jedoch nicht alle Schäden verhindern.**

**Es wurden zahlreiche mögliche Optionen zur Anpassung an den Klimawandel identifiziert, die negative Auswirkungen vermindern und nutzbringende erweitern können; jedoch werden diese Optionen mit Kosten verbunden sein.** Die quantitative Auswertung der Nutzen und Kosten dieser Optionen, und wie sie sich je nach Regionen und Gruppe verändern, ist unvollständig.

**Eine grössere und schnellere Klimaänderung würde hinsichtlich einer Anpassung eine grössere Herausforderung und ein grösseres Schadensrisiko mit sich bringen als eine geringere und langsamere Veränderung.** Natürliche und menschliche Systeme haben Fähigkeiten entwickelt, Klimaschwankungen bis zu einem gewissen Ausmass zu bewältigen, innerhalb dessen die Gefahr von Schäden relativ gering und die Fähigkeit zur Erholung hoch ist. Trotzdem wächst mit Klimaveränderungen, die zu einer erhöhten Auftretshäufigkeit von Ereignissen führen, die ausserhalb des historischen Bereichs der von den Systemen bewältigten Variationen liegen, das Risiko von schweren Schäden, unvollkommener Wiederherstellung oder von einem Kollaps des Systems.

---

## FRAGE 4

Was ist bekannt über den Einfluss der steigenden atmosphärischen Konzentration der Treibhausgase und Aerosole und über den Einfluss der projizierten anthropogenen Klimaänderung auf regionaler und globaler Ebene in Bezug auf:

- a) die Häufigkeit und Stärke von Klimaschwankungen, einschliesslich täglicher, saisonaler, jährlicher und zehnjährlicher Schwankungen wie die El Niño-Southern-Oscillation-Zyklen und anderer?
- b) die Dauer, Position, Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen wie Hitzewellen, Dürren, Überschwemmungen, Starkregen, Lawinen, Stürme, Tornados und tropische Zyklonen?
- c) das Risiko von abrupten oder nicht-linearen Veränderungen wie zum Beispiel von Quellen und Senken von Treibhausgasen, der Ozeanzirkulation und der Verbreitung von Polareis und Permafrost? Falls bekannt, kann dieses Risiko quantifiziert werden?
- d) das Risiko von abrupten oder nicht-linearen Veränderungen in Ökosystemen?

---

**Es wird eine Zunahme der klimatischen Schwankungen und einiger Extremereignisse projiziert.**

**Modelle projizieren, dass die zunehmende atmosphärische Konzentration von Treibhausgasen eine Veränderung der täglichen, saisonalen, jährlichen und zehnjährlichen Schwankungen zur Folge haben wird.** In vielen Gegenden wird eine Abnahme des täglichen Temperaturschwankungsbereichs, im Winter eine Abnahme der täglichen Variabilität der bodennahen Lufttemperatur und im Sommer eine Zunahme der täglichen Variabilität über den Landmassen der Nordhemisphäre projiziert. Viele Modelle zeigen im Mittel El-Niño-ähnlichere Bedingungen im tropischen Pazifik. Es gibt keinen klaren Konsens bezüglich der Veränderungen der Häufigkeit oder Struktur von natürlicherweise

auftretenden Atmosphären-Ozean-Zirkulationsmustern wie zum Beispiel der Nordatlantischen Oszillation (NAO).

**Modelle projizieren, dass die steigende atmosphärische Konzentration von Treibhausgasen eine Änderung der Häufigkeit, Intensität und Dauer von Extremereignissen zur Folge haben werden, wie zum Beispiel mehr heisse Tage, Hitzewellen, Starkregen und weniger kalte Tage.** Viele dieser projizierten Änderungen würden in vielen Regionen zu einem steigenden Risiko von Überschwemmungen und Dürren sowie zu überwiegend nachteiligen Auswirkungen auf Ökosysteme, gesellschaftliche Sektoren und die menschliche Gesundheit führen (für Details siehe Tabelle SPM-2). Hochaufgelöste Modellstudien legen nahe, dass Windspitzen und Niederschlagsintensität von tropischen Zyklonen über einigen Gegenden wahrscheinlich zunehmen. Informationen darüber, wie sehr kleinskalige extreme Wetterphänomene (z.B. Gewitter, Tornados, Hagel, Hagelstürme und Blitze) sich verändern könnten, sind ungenügend.

**Die Wirkung der Treibhausgase im 21. Jahrhundert könnte in den kommenden Jahrzehnten bis Jahrtausenden weiträumige, hochwirksame, nicht-lineare und vielleicht abrupte Änderungen in physikalischen und biologischen Systemen in Gang setzen; die diesbezüglichen Wahrscheinlichkeiten weisen eine grosse Spannweite auf.**

**Einige der projizierten abrupten bzw. nicht-linearen Veränderungen in den physikalischen Systemen und in den natürlichen Quellen und Senken von Treibhausgasen könnten irreversibel sein, aber das Verständnis einigerzugrundeliegender Prozesse ist noch unvollständig.** Es wird angenommen, dass die Wahrscheinlichkeit der projizierten Veränderungen parallel zur Geschwindigkeit, Stärke und Dauer der Klimaänderung ansteigt. Einige Beispiele für solche Veränderungen sind:

- In Böden und in der Vegetation sind grosse klimabedingte Änderungen möglich, die ihrerseits durch die erhöhte Abgabe von Treibhausgasen durch Pflanzen und aus dem Boden eine weitere Klimaerwärmung und Änderungen von Oberflächeneigenschaften (z.B. Albedo) bewirken könnten.
- Die meisten Modellrechnungen zeigen eine Abschwächung der thermohalinen Zirkulation der Ozeane, was eine Reduktion des Wärmetransports in die hohen Breiten Europas zur Folge hat. Allerdings zeigt keine Modellrechnung einen abrupten Zusammenbruch bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Einige Modelle lassen jedoch vermuten, dass nach dem Jahr 2100 die thermohaline Zirkulation in einer der Hemisphären vollständig und möglicherweise irreversibel stillgelegt werden könnte, falls die Änderung des Strahlungsantriebs stark genug ist und lange genug einwirkt.
- Die Masse des antarktischen Eisschildes wird im 21. Jahrhundert wahrscheinlich zunehmen, aber nach einer anhaltenden Erwärmung könnte der Eisschild signifikant an Masse verlieren und einige Meter zum projizierten Anstieg des Meeresspiegels in den nächsten 1000 Jahren beitragen.
- Im Gegensatz zur antarktischen Eismasse wird der grönländische Eisschild im Verlauf des 21. Jahrhunderts wahrscheinlich an Masse verlieren und ein paar cm zum Meeresspiegelanstieg beitragen. Eisschilder werden über Tausende von Jahren, nachdem sich das Klima stabilisiert hat, weiter auf die Klimaänderung reagieren und zum Meeresspiegelanstieg beitragen. Klimamodelle weisen darauf hin, dass die lokale Erwärmung über Grönland wahrscheinlich ein bis dreimal so gross sein wird wie im globalen Durchschnitt. Eisschildmodelle zeigen, dass eine lokale Erwärmung von mehr als 3°C, falls über Jahrtausende anhaltend, praktisch das vollständige Abschmelzen des grönländischen Eisschildes und dadurch bedingt einen Meeresspiegelanstieg von ca. 7 m zur

**Tabelle SPM-2:** Beispiele von Klimavariabilität und extremen Klimaereignissen und Beispiele von deren Auswirkungen (AGII TAR Tabelle SPM-1)

<b>Projizierte Änderungen der extremen Klimaphänomene während des 21. Jahrhunderts und ihre Wahrscheinlichkeit</b>	<b>Repräsentative Beispiele von projizierten Auswirkungen<sup>a</sup> (alle mit hohem Vertrauen bezüglich des Auftretens in einigen Gebieten)</b>
Höhere Maximaltemperaturen; mehr heisse Tage und Hitzewellen über fast allen Landmassen ( <i>sehr wahrscheinlich</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verstärktes Auftreten von Sterbefällen und ernsthafter Krankheit bei älteren Altersgruppen und städtischen Armen</li> <li>• Verstärkter Hitzestress bei Vieh und Wildtieren</li> <li>• Verschiebung von Touristenzielen</li> <li>• Zunehmendes Risiko von Schäden für eine Anzahl von Nutzpflanzen</li> <li>• Zunehmender Bedarf an elektrischer Kühlung und reduzierte Energieversorgungssicherheit</li> </ul>
Höhere (steigende) Minimaltemperaturen; weniger kalte Tage, Frosttage und Kälteperioden <sup>b</sup> über fast allen Landmassen ( <i>sehr wahrscheinlich</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinkende kältebedingte Krankheits- und Sterberaten</li> <li>• Sinkendes Risiko von Schäden für eine Anzahl von Nutzpflanzen und steigendes Risiko für andere</li> <li>• Ausgedehntere Verbreitung und Aktivität von einigen Schädlingen und Krankheitsüberträgern</li> <li>• Reduzierter Heizenergiebedarf</li> </ul>
Intensivere Niederschlagsereignisse ( <i>sehr wahrscheinlich</i> über vielen Gebieten) <sup>b</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zunehmende Überschwemmungs-, Erdbeben-, Lawinen- und Murgangschäden</li> <li>• Zunehmende Bodenerosion</li> <li>• Zunehmender Überschwemmungsabfluss könnte die Wiederauffüllung einiger wasserführenden Schichten in Schwemmebenen vergrössern</li> <li>• Zunehmender Druck auf staatliche und private Überschwemmungs-Versicherungssysteme und Katastrophenhilfen</li> </ul>
Zunehmende Sommertrockenheit über den meisten innerkontinentalen Flächen in den mittleren Breiten, verbunden mit dem Risiko von Dürren ( <i>wahrscheinlich</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sinkende Ernteerträge</li> <li>• Zunehmende Schäden an Gebäudefundamenten aufgrund von Bodenkompaktierung</li> <li>• Sinkende Qualität und Quantität von Wasserressourcen</li> <li>• Steigendes Waldbrandrisiko</li> </ul>
Zunahme der maximalen tropischen zyklonalen Windgeschwindigkeiten, der mittleren und maximalen Niederschlagsintensitäten ( <i>wahrscheinlich</i> über einigen Gebieten)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigendes Risiko für menschliches Leben, Risiko von Epidemien von Infektionskrankheiten und viele andere Risiken</li> <li>• Zunehmende Küstenerosion und Schäden an Küstenbauwerken und -infrastrukturen</li> <li>• Zunehmende Schäden in Küstenökosystemen wie Korallenriffen und Mangroven</li> </ul>
Verstärkte Dürren und Überschwemmungen in Verbindung mit El Niño-Ereignissen in vielen verschiedenen Regionen ( <i>wahrscheinlich</i> ) (siehe auch unter Dürren und intensiven Niederschlagsereignissen)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abnehmende Produktivität in der Landwirtschaft und auf dem Weideland in dürre- und überschwemmungsanfälligen Regionen</li> <li>• Sinkendes Wasserkraftpotenzial in dürreanfälligen Regionen</li> </ul>
Zunehmende Niederschlagsschwankungen im asiatischen Sommermonsun ( <i>wahrscheinlich</i> )	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigende Überschwemmungs- und Dürreausmasse im gemässigten und tropischen Asien</li> </ul>
Zunehmende Intensität von Stürmen in mittleren Breiten (wenig Übereinstimmung zwischen bestehenden Modellen) <sup>b</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steigendes Risiko für menschliches Leben und Gesundheit</li> <li>• Zunehmende Eigentums- und Infrastrukturverluste</li> <li>• Zunehmende Schäden in Küstenökosystemen</li> </ul>
<p><sup>a</sup> Diese Auswirkungen können durch entsprechende Anpassungsmassnahmen gemildert werden.  <sup>b</sup> Änderungen in der regionalen Verteilung von Wirbelstürmen sind möglich, aber nicht etabliert.</p>	



Folge hätte. Eine lokale Erwärmung von 5.5°C, falls über 1000 Jahre anhaltend, hätte wahrscheinlich einen Beitrag von Grönland an den Meeresspiegelanstieg von ca. 3 m zur Folge.

- Eine kontinuierliche Erwärmung würde das Abschmelzen von Permafrost in polaren, subpolaren und Gebirgsregionen verstärken und dadurch grosse Geländeteile auf Senkungen und Erdrutsche anfällig machen. Diese wiederum beeinträchtigen Infrastruktur, Wasserläufe und Feuchtgebietsökosysteme.

**Klimaänderungen könnten das Risiko von abrupten und nicht-linearen Änderungen in vielen Ökosystemen erhöhen, was deren Funktion, Biodiversität und Produktivität beeinträchtigen könnte.** Je grösser die Stärke und Geschwindigkeit der Änderung ist, umso grösser wird das Risiko von nachteiligen Folgen. Einige Beispiele:

- Änderungen in Störungsmustern und Standortverschiebungen von klimatisch definierten geeigneten Habitaten könnten zum abrupten Zusammenbruch von terrestrischen und marinen Ökosystemen mit signifikanten Änderungen in Zusammensetzung und Funktion sowie zu erhöhtem Risiko von Artensterben führen.
- Ein anhaltender Anstieg der Wassertemperatur von lediglich 1°C kann allein oder zusammen mit irgendeiner anderen Belastung (z.B. starke Verschmutzung und Verschlammung) dazu führen, dass Korallen ihre Algen abstossen (Korallenbleichung) und einige Korallen eventuell absterben.
- Eine Temperaturerhöhung über einen Schwellenwert, der von Frucht und Sorte abhängt, kann die wichtigen Entwicklungsstadien von Nutzpflanzen (z.B. Sterilität von Reisähren, Verlust der Pollenentwicklung bei Mais, Beeinträchtigung der Wurzelknollenentwicklung bei Kartoffeln) und damit die Ernteerträge beeinträchtigen. Ertragseinbussen bei diesen Nutzpflanzen können beträchtlich sein, falls die Temperaturen kritische Schwellenwerte auch nur für kurze Perioden überschreiten.

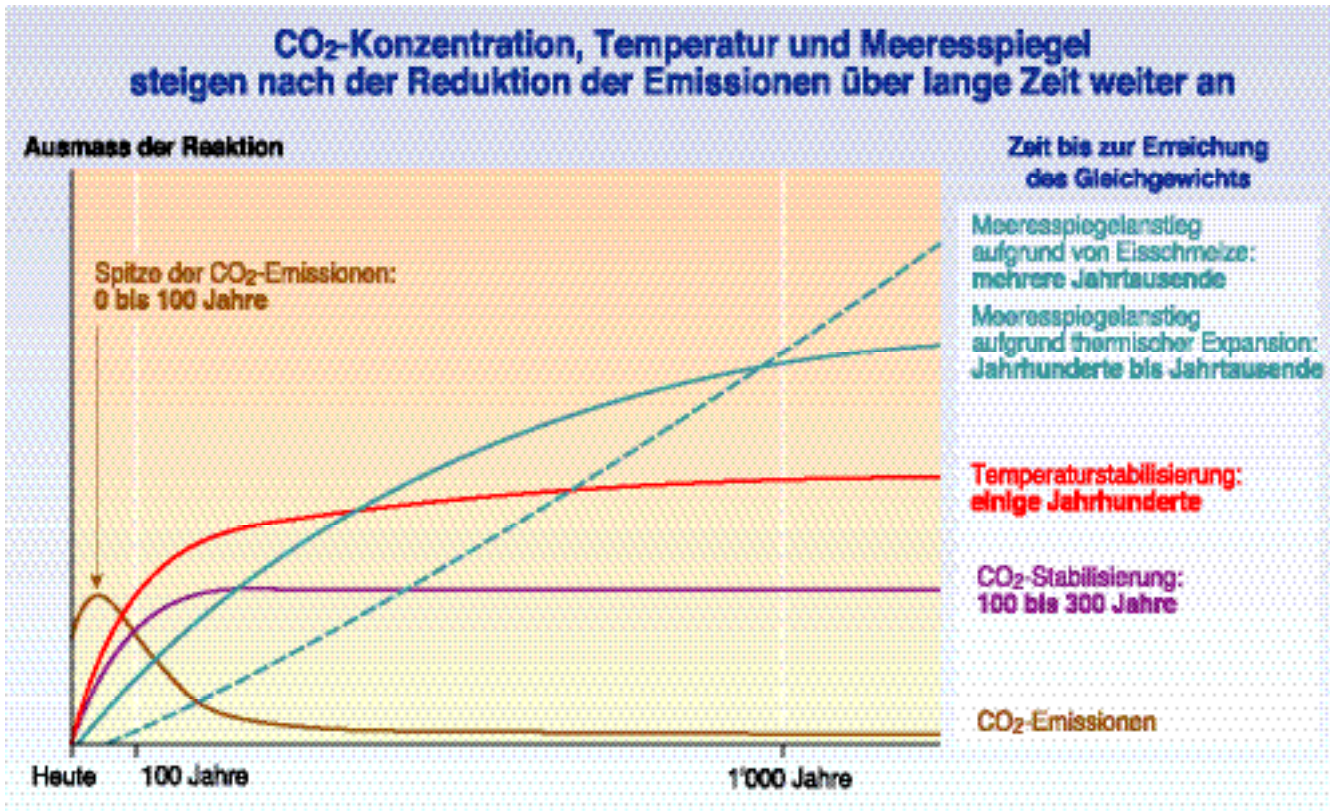
## FRAGE 5

Was ist über die Trägheit und über die Zeitskalen bekannt, die mit den Änderungen in klimatischen, ökologischen und gesellschaftlichen Systemen und deren Interaktionen verbunden sind?

**Trägheit ist eine verbreitete inhärente Eigenschaft der wechselwirkenden klimatischen, ökologischen und gesellschaftlichen Systeme. Deshalb treten einige Auswirkungen der anthropogenen Klimaänderung nur langsam in Erscheinung. Einige dieser Auswirkungen könnten irreversibel sein, sofern die Klimaänderung nicht sowohl in Bezug auf Geschwindigkeit als auch auf das Ausmass eingeschränkt wird, bevor entsprechende Schwellenwerte überschritten sind. Die Lage dieser Schwellenwerte ist manchmal nur ungenau bekannt.**

### Trägheit in Klimasystemen

Die Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ungefähr auf heutigem Stand führt nicht zur Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration, während die Stabilisierung der Emissionen von kurzlebigeren Treibhausgasen wie zum Beispiel CH<sub>4</sub> zu einer Stabilisierung von deren atmosphärischen Konzentrationen führt. Die Stabilisierung von CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf einem bestimmten Niveau erfordert eine Reduktion der globalen Netto-Emission von CO<sub>2</sub> auf einen Bruchteil der derzeitigen Emissionsmengen. Je tiefer das gewünschte



**Abbildung SPM-5:** Wenn die CO<sub>2</sub>-Emissionen reduziert und die atmosphärischen Konzentrationen stabilisiert worden sind, wird die bodennahe Lufttemperatur über ein Jahrhundert oder länger langsam weiter ansteigen. Die thermische Ausdehnung der Ozeane wird nach Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen noch lange weitergehen, und die Abschmelzung der Eisschilder wird über Jahrhunderte weiter zum Meeresspiegelanstieg beitragen. Diese Abbildung ist eine allgemeine Illustration für die Stabilisierung auf einem beliebigen Niveau zwischen 450 und 1000 ppm und weist deshalb auf der Wirkungsseite keine Achseneinheiten auf. Die Reaktionen auf die Stabilisierungskurven in diesem Bereich zeigen weitgehend ähnliche Zeitverläufe, aber die Auswirkungen nehmen bei höheren CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zu.

Stabilisierungsniveau, umso früher muss der Rückgang der globalen Netto-Emissionen von CO<sub>2</sub> beginnen (siehe Abbildung SPM-5).

Es wird projiziert, dass die bodennahe Lufttemperatur nach der Stabilisierung der atmosphärischen Konzentrationen von CO<sub>2</sub> und anderen Treibhausgasen über ein Jahrhundert oder länger um einige Zehntel Grad pro Jahrhundert und der Meeresspiegel über viele Jahrhunderte weiter ansteigt (siehe Abbildung SPM-5). Der langsame Transport von Wärme in die Ozeane und die langsame Reaktion der Eisschilder haben zur Folge, dass es lange dauert, bis ein neuer Gleichgewichtszustand erreicht wird.

Einige Änderungen im Klimasystem, die bei Betrachtung über das 21. Jahrhundert hinaus plausibel sind, wären effektiv irreversibel. So könnte zum Beispiel ein bedeutendes Abschmelzen der Eisschilder (siehe Frage 4) und grundlegende Änderungen in den Ozeanzirkulationsmustern (siehe Frage 4) über eine Periode von vielen Menschengenerationen nicht rückgängig gemacht werden. Der Schwellenwert für grundlegende Änderungen in der Ozeanzirkulation können bei einem tieferen Erwärmungsgrad erreicht werden, falls die Erwärmung eher schnell als allmählich verläuft.

## Trägheit in Ökosystemen

**Einige Ökosysteme zeigen die Auswirkungen der Klimaänderung rasch, andere langsamer.** Korallenausbleichung kann zum Beispiel in einer einzigen aussergewöhnlich warmen Saison auftreten, während langlebige Organismen wie Bäume vielleicht für Jahrzehnte in einem veränderten Klima ausharren können, aber nicht zur Erneuerung fähig sind. Ökosysteme können als Folge von unterschiedlichen Reaktionszeiten verschiedener Arten auseinandergerissen werden, wenn sie Klimaänderungen, einschliesslich veränderter Häufigkeiten von Extremereignissen, unterworfen werden.

**Einige Kohlenstoffkreislaufmodelle zeigen an, dass die globale terrestrische Nettoaufnahme von Kohlenstoff im 21. Jahrhundert ihren Höhepunkt erreicht und sich dann einpendelt oder zurückgeht.** Die aktuelle globale Nettoaufnahme von CO<sub>2</sub> durch terrestrische Ökosysteme ist teilweise das Resultat von Zeitverzögerungen zwischen erhöhtem Pflanzenwachstum und Pflanzentod und -zerfall. Das derzeitige erhöhte Pflanzenwachstum kommt teilweise aufgrund von Düngungseffekten durch erhöhte CO<sub>2</sub>- und Stickstoffdeposition sowie Änderungen von Klima und Landnutzungspraktiken zustande. Die CO<sub>2</sub>-Aufnahme wird zurückgehen, sobald die Wälder ihre Reife erreichen, Düngungseffekte gesättigt sind und die Verrottung das Wachstum aufholt. Die Klimaänderung wird die terrestrische Kohlenstoffaufnahme unter dem Strich global wahrscheinlich weiter senken. Obwohl die Erwärmung die CO<sub>2</sub>-Aufnahme in den Ozeanen reduziert, wird mit einer Aufrechterhaltung der ozeanischen CO<sub>2</sub>-Senke bei zunehmendem atmosphärischen CO<sub>2</sub> gerechnet, zumindest für das 21. Jahrhundert. Die Verlagerung von Kohlenstoff von der Oberfläche in den tiefen Ozean benötigt Jahrhunderte, und die Erreichung des dortigen Gleichgewichtszustandes mit den Sedimenten dauert Jahrtausende.

## Trägheit in Gesellschaftssystemen

**Die Trägheit in Gesellschaftssystemen ist, im Gegensatz zu Klima- und Ökosystemen, nicht fixiert; sie kann sich durch politische Vorgänge und durch individuelle Entscheidungen verändern.** Die Möglichkeiten zur Umsetzung einer Klimaänderungspolitik hängen vom Zusammenspiel zwischen sozialen und ökonomischen Strukturen und Werten, Institutionen, Technologien und bestehenden Infrastrukturen ab. Das kombinierte System entwickelt sich im Allgemeinen relativ langsam. Es kann unter Druck schnell reagieren, allerdings zum Teil zu hohen Kosten (z.B. wenn Investitionsgüter frühzeitig zurückgezogen werden). Falls die Änderung langsamer verläuft, können die Kosten kleiner sein, wegen technischer Fortschritte oder weil der Wert der Investitionsgüter voll amortisiert ist. Es gibt eine typische Zeitverschiebung von Jahren bis Jahrzehnten zwischen der Wahrnehmung der Notwendigkeit für eine Reaktion auf eine bedeutende Herausforderung, der Planung, Erforschung und Entwicklung einer Lösung und deren Umsetzung. Auf sachkundiger Beurteilung beruhende vorausschauende Massnahmen können die Chance verbessern, dass eine passende Technologie verfügbar ist, wenn sie gebraucht wird.

**Die Entwicklung und Einführung von neuen Technologien kann durch Technologietransfer und unterstützende finanzielle und forschungspolitische Massnahmen beschleunigt werden.** Der Ersatz von Technologien kann durch "Locked-in"-Systeme, die durch existierende Institutionen, Dienstleistungen, Infrastrukturen und verfügbare Ressourcen Markt Vorteile haben, gebremst werden. Der frühzeitige Einsatz von sich rasch verbessernden Technologien erlaubt Kostendämmung mit Hilfe von Erfahrungskurven.

## Politische Auswirkungen der Trägheit

**Trägheit und Unsicherheit in Klima-, Öko- und Gesellschaftssystemen setzen voraus, dass bei der Festsetzung von Strategien, Zielen und Zeitplänen Sicherheitsmargen berücksichtigt werden sollten, um bei den Störungen des Klimasystems gefährliche Niveaus zu vermeiden.** Angestrebte Stabilisierungsniveaus, z.B. von der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration, der Temperatur oder dem Meeresspiegel, können beeinträchtigt werden durch:

- Die Trägheit des Klimasystems, die eine Fortsetzung der Klimaänderung über die Periode der Minderungsmaßnahmen hinaus verursacht.
- Unsicherheiten bezüglich der Position von möglichen Schwellenwerten für irreversible Veränderungen sowie des Verhaltens des Systems in deren Umgebung.
- Die Zeitverschiebungen zwischen der Einführung von Abschwächungszielen und deren Umsetzung.

Auch wird die Anpassung durch die Zeitverschiebung beeinträchtigt, die bei der Identifikation von Auswirkungen der Klimaänderung, der Entwicklung von wirksamen Anpassungsstrategien und der Umsetzung der Anpassungsmaßnahmen entsteht.

**Die Trägheit in Klima-, Öko- und Gesellschaftssystemen macht Anpassungen unvermeidlich und in einigen Fällen bereits notwendig, und die Trägheit beeinflusst die optimale Mischung von Anpassungs- und Verminderungsstrategien.** Die Trägheit hat für Anpassungen andere Folgen als für Verminderungen: Anpassungen sind vorwiegend auf lokale Auswirkungen der Klimaänderung ausgerichtet, während Verminderung Auswirkungen auf das Klimasystem anspricht. Dies wirkt sich auf die Zusammensetzung der kostengünstigsten und gerechtesten Mischung von politischen Optionen aus. Sicherungsstrategien und schrittweise Entscheidungsfindung (iterative Handlung, Beurteilung und überarbeitete Handlung) können angemessene Reaktionen auf die Kombination von Trägheit und Unsicherheit sein. In Gegenwart von Trägheit sind durchdachte Handlungen zur Anpassung oder Abschwächung der Klimaänderung wirkungsvoller und können unter Umständen billiger sein, wenn sie eher früher als später vorgenommen werden.

**Die Verbreitung von Trägheit und die Möglichkeit der Irreversibilität in den interagierenden Klima-, Öko- und Gesellschaftssystemen sind wichtige Gründe, warum vorausschauende Anpassungen und Verminderungsmaßnahmen nützlich sind.** Eine Anzahl von Möglichkeiten zur Anwendung von Anpassungs- und Verminderungsoptionen können verloren gehen, wenn die Ausführung verschoben wird.

---

## FRAGE 6

- a) Auf welche Art und Weise bestimmt und beeinflusst die Einführung einer Reihe von Emissionsminderungsmaßnahmen die Geschwindigkeit, das Ausmass und die Auswirkungen der Klimaänderung, und wie wirkt sich dies auf die globale und regionale Wirtschaft aus, wenn historische und aktuelle Emissionen berücksichtigt werden?
- b) Was ist aus Sensitivitätsstudien über regionale und globale klimatische, umweltrelevante und gesellschaftliche Konsequenzen einer Stabilisierung der atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen (in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten) bekannt? Wie sehen dabei die Ergebnisse für verschiedene Konzentrationsniveaus aus – im Bereich vom heutigen Niveau bis zu einer Verdoppelung und mehr –

wenn die Auswirkungen von Aerosolen so weit als möglich einbezogen werden? Für jedes der Stabilisationsszenarien, die verschiedene Wege zu einer Stabilisierung beinhalten (die Auswahl entspricht den in Frage 3 behandelten Szenarien), wird die Bandbreite von Kosten und Nutzen ermittelt in Bezug auf:

- Projizierte Veränderungen der atmosphärischen Konzentrationen, des Klimas und des Meeresspiegels, einschliesslich Veränderungen in über 100 Jahren
- Auswirkungen und wirtschaftliche Kosten und Nutzen von Veränderungen im Klima und in der Zusammensetzung der Atmosphäre für die menschliche Gesundheit, für die Artenvielfalt und Produktivität von Ökosystemen und für den gesellschaftlichen Sektor (v.a. Landwirtschaft und Wasser)
- Die Bandbreite der Optionen für eine Anpassung, einschliesslich deren Kosten, Nutzen und Herausforderungen
- Die Bandbreite von Technologien, politischen Strategien und Praktiken, die eingesetzt werden können, um die einzelnen Stabilisationsniveaus zu erreichen, mit einer Evaluation der nationalen und globalen Kosten und Nutzen sowie mit einer Beurteilung darüber, wie diese Kosten und Nutzen qualitativ oder quantitativ mit dem durch Emissionsreduktionen vermiedenen Schaden an der Umwelt verglichen werden können
- Entwicklungs-, Nachhaltigkeits- und Gerechtigkeitsfragen verbunden mit Auswirkungen, Anpassung und Verminderung auf regionaler und globaler Ebene.

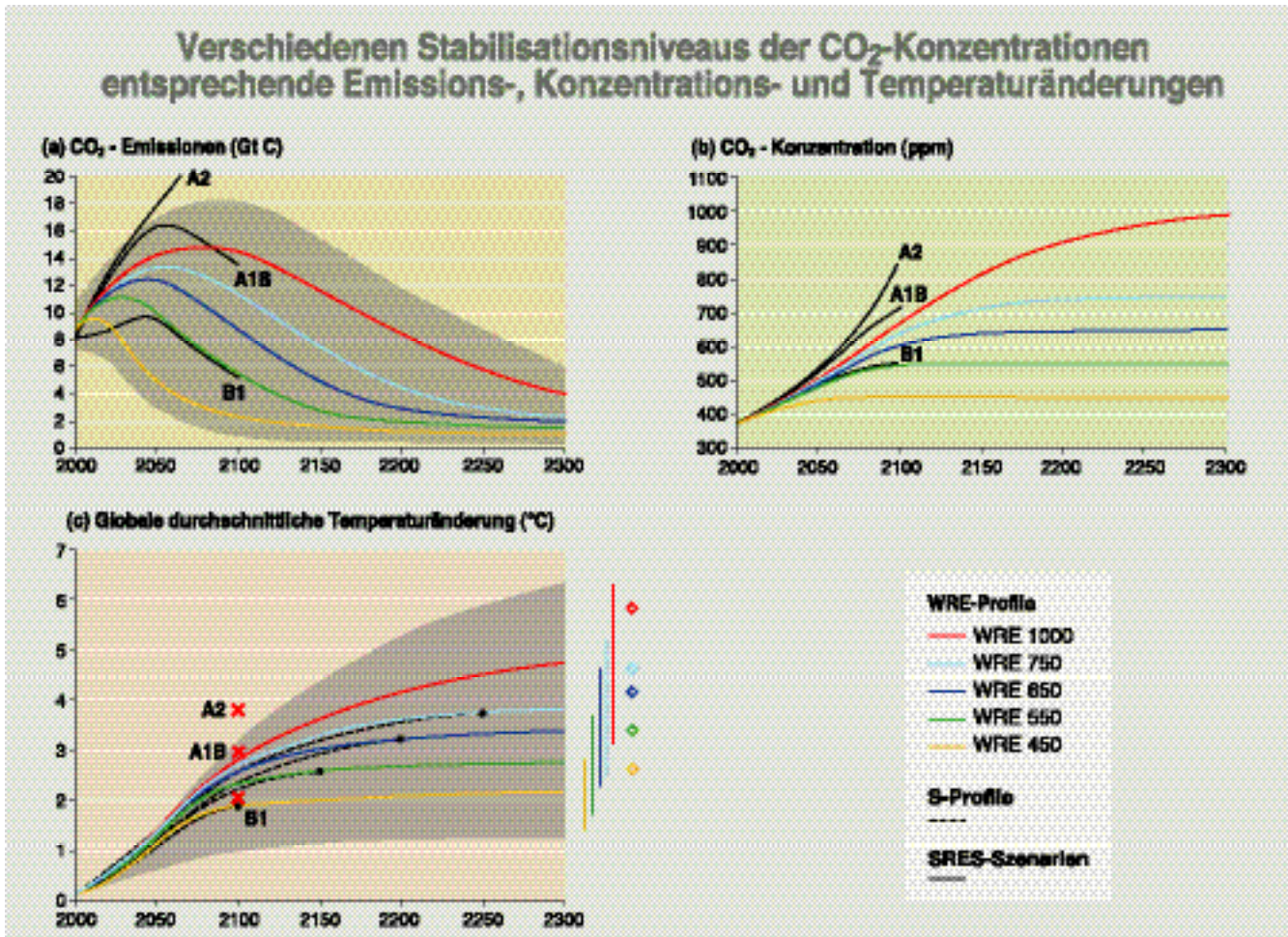
---

**Die projizierte Geschwindigkeit und das Ausmass der Erwärmung und des Meeresspiegelanstiegs können durch die Reduktion von Treibhausgasen vermindert werden.**

**Je grösser die Emissionsreduktionen sind und je früher sie eingeführt werden, desto kleiner und langsamer sind die projizierte Erwärmung und der projizierte Meeresspiegelanstieg.** Der künftige Klimawandel wird durch historische, aktuelle und künftige Emissionen bestimmt. Die Differenzen in den projizierten Veränderungen zwischen Szenarien mit und ohne Verminderung von Treibhausgasen sind in den ersten paar Jahrzehnten zwar klein, wachsen aber mit der Zeit, wenn die Verminderungsbemühungen anhalten.

**Eine Stabilisierung des Strahlungsantriebs erfordert eine Verminderung von Treibhausgasemissionen und von den Gasen, die deren Konzentration bestimmen.** Für das wichtigste Treibhausgas weisen Kohlenstoffkreislaufmodelle zum Beispiel darauf hin, dass eine Stabilisierung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf 450, 650 bzw. 1'000 ppm eine Senkung der globalen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen unter das Niveau von 1990 erfordern würde, und dies innerhalb einiger Jahrzehnte, bzw. innerhalb eines oder zweier Jahrhunderte. Danach müssten die Emissionen weiterhin konstant abnehmen (siehe Abb. SPM-6). Diese Modelle zeigen, dass die Emissionen in etwa 1 oder 2 Jahrzehnten (für ein Niveau von 450 ppm) bzw. in etwa einem Jahrhundert (bei 1'000 ppm) ihren Höhepunkt erreichen würden. Im Endeffekt müssten die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf einen sehr kleinen Bruchteil der heutigen Emissionen zurückgehen. Die Nutzen der verschiedenen Stabilisierungsniveaus werden später in Frage 6 behandelt, die Kosten in Frage 7.





**Abbildung SPM-6:** Eine Stabilisierung von CO<sub>2</sub>-Konzentrationen würde eine substantielle Senkung der Emissionen unter das heutige Niveau erfordern und würde die Erwärmungsrate verlangsamen.

- a) *CO<sub>2</sub>-Emissionen:* Die Zeitpfade von CO<sub>2</sub>-Emissionen, die zu einer Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre auf verschiedenen Niveaus führen würden, werden für die WRE (Wigley, Richards und Edmonds)-Stabilisierungssprofile mit Hilfe von Kohlenstoffkreislaufmodellen geschätzt. Der schattierte Bereich zeigt die Spannweite der Unsicherheiten auf.
- b) *CO<sub>2</sub>-Konzentrationen:* Die für die WRE-Profilie spezifizierten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind aufgeführt.
- c) *Veränderung der globalen Durchschnittstemperaturen:* Die Temperaturveränderungen für die WRE-Stabilisierungssprofile werden mittels eines einfachen Klimamodells geschätzt. Nach dem Zeitpunkt, an dem die Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration erreicht ist (bezeichnet durch schwarze Punkte), setzt sich der Erwärmungsprozess fort, allerdings mit einer stark verringerten Geschwindigkeit. Es wird angenommen, dass die Emission von anderen Gasen als CO<sub>2</sub> bis 2100 der SRES-A1B-Projektion folgen und dann konstant bleiben. Dieses Szenario wurde gewählt, weil es sich in der Mitte der durch die SRES-Szenarien abgedeckten Bandbreite befindet. Die gestrichelten Linien zeigen die für die S-Profilie projizierten Temperaturveränderungen [in (a) und (b) nicht aufgezeigt]. Der schattierte Bereich verbildlicht den Effekt der Bandbreite der Klimasensitivität über die fünf Stabilisierungsfälle hinweg. Die farbigen Balken auf der rechten Seite zeigen die Unsicherheit jedes Stabilisierungsfalles im Jahr 2300. Die Diamanten auf der rechten Seite zeigen das durchschnittliche Gleichgewicht (sehr langfristig) einer Erwärmung für jedes Stabilisierungsniveau. Zum Vergleich sind auch die CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Konzentrationen und die Temperaturveränderungen von drei weiteren SRES-Szenarien aufgeführt.

**Es gibt einen grossen Unsicherheitsbereich bezüglich des Ausmasses der Erwärmung, die sich aus irgend einer stabilisierten Treibhausgaskonzentration ergeben würde.** Diese Unsicherheit ergibt sich aus einem Unsicherheitsfaktor von 3 in der Sensitivität des Klimas bezüglich der Zunahme von Treibhausgasen<sup>4</sup>. Abb. SPM-7 zeigt die letztendlichen

Stabilisierungsniveaus und die entsprechende Bandbreite der Temperaturveränderungen, so wie sie schätzungsweise im Jahr 2100 realisiert sind bzw. nach Erreichung des Gleichgewichts.

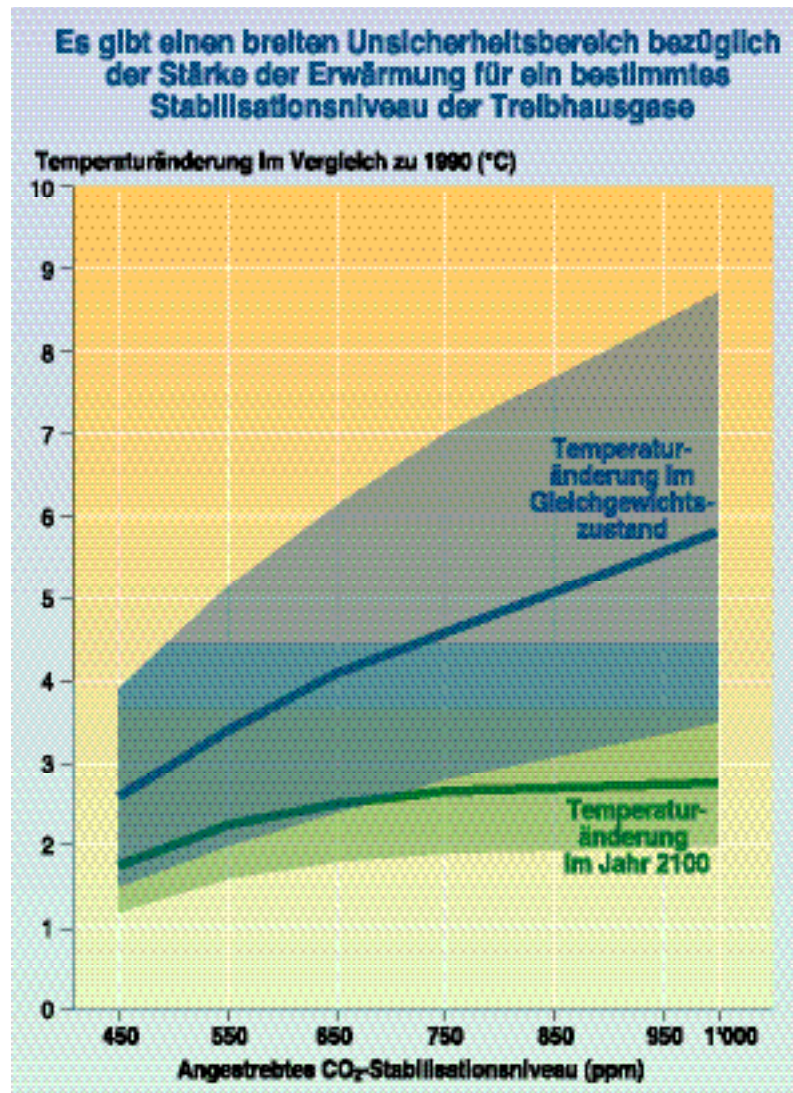
**Emissionsverminderungen, welche die atmosphärische Konzentration von CO<sub>2</sub> schliesslich auf einem Niveau unter 1'000 ppm stabilisieren würden (basierend auf den in Abbildung SPM-6 gezeigten Profilen), grenzen bis zum Jahr 2100 den Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf 3.5°C oder weniger ein – von der Annahme ausgehend, dass andere Gase als CO<sub>2</sub> bis zum Jahr 2100 der SRES-AB1-Projektion folgen und danach konstant bleiben.** Für Profile, die schliesslich zu einer Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf einem Niveau von 450 bis 1'000 ppm führen, wird geschätzt, dass die globale durchschnittliche Oberflächentemperatur bis zum Jahr 2100 um 1.2 bis 3.5°C steigen wird. Obschon also alle analysierten CO<sub>2</sub>-Stabilisationsprofile während des 21. Jahrhunderts einen Grossteil des oberen Bereichs der SRES-Erwärmungsprojektionen verhindern würden (1.4 bis 5.8°C bis zum Jahr 2100), sollte erwähnt werden, dass für die meisten Profile die CO<sub>2</sub>-Konzentration nach 2100 weiter steigen würde. Die Erhöhung der Gleichgewichtstemperatur wäre erst nach vielen Jahrhunderten abgeschlossen – sie variiert zwischen 1.5 bis 3.9°C über dem Niveau von 1990 für eine Stabilisierung auf 450 ppm und 3.5 bis 8.7°C über dem Niveau von 1990 für eine Stabilisierung auf 1'000 ppm<sup>5</sup>. Dazu kommt, dass grosse Unsicherheiten darüber bestehen, welches Stabilisierungsniveau der Treibhausgaskonzentration für eine Stabilisierung der Temperatur auf einem bestimmten Niveau benötigt wird (siehe Abbildung SPM-7). Das Niveau, auf dem die CO<sub>2</sub>-Konzentration für eine bestimmte Zieltemperatur stabilisiert werden soll, hängt auch von den Mengen der Nicht-CO<sub>2</sub>-Gase ab.

**Der Meeresspiegel und die Eisschilde würden noch Jahrhunderte nach einer Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen auf die Erwärmung reagieren.** Die projizierte Bandbreite des Meeresspiegelanstiegs aufgrund thermischer Expansion beträgt im Gleichgewichtszustand bei einer Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration vom vorindustriellen Niveau von 280 auf 560 ppm 0.5 bis 2 m und bei einer Zunahme der CO<sub>2</sub>-Konzentration von 280 auf 1'120 ppm 1 bis 4 m. Der beobachtete Anstieg im Verlaufe des 20. Jahrhunderts war 0.1 bis 0.2 m. Der projizierte Anstieg wäre grösser, wenn die Auswirkung steigender Konzentrationen anderer Treibhausgase mit einberechnet wird. Es gibt weitere Beiträge zum Meeresspiegelanstieg in der Zeitskala von Jahrhunderten bis Jahrtausenden. Die im TAR betrachteten Modelle projizieren einen Meeresspiegelanstieg von mehreren Metern aus polaren Eisschilden (siehe Frage 4) und Landeis, sogar bei einem Stabilisierungsniveau von 550 ppm CO<sub>2</sub>-Äquivalenten.

**Die Verminderung von Emissionen der Treibhausgase zur Stabilisierung von deren atmosphärischen Konzentrationen würde Schäden, die durch den Klimawandel entstehen, verzögern und verringern.**

<sup>4</sup> Als Mass für die Klimasensitivität wird oft die Reaktion der durchschnittlichen globalen Gleichgewichtstemperatur auf eine Verdoppelung der atmosphärischen Kohlenstoffdioxide verwendet. Die in Abbildungen SPM-6 und SPM-7 dargestellten Temperaturen sind von einem einfachen Modell abgeleitet, das so kalibriert wurde, dass es dieselben Resultate wie eine Reihe von komplexen Modellen liefert, die Klimasensitivitäten von 1.7 bis 4.2°C aufweisen. Diese Bandbreite ist mit der allgemein anerkannten Bandbreite von 1.5 bis 4.5°C vergleichbar.

<sup>5</sup> Für alle diese Szenarien gilt, dass die anderen Treibhausgase und die Aerosole bei niedriger Klimasensitivität mit 0.6°C und bei hoher Klimasensitivität mit 1.4°C zur Gleichgewichtserwärmung beitragen. Der damit einhergehende Zuwachs des Strahlungsantriebs entspricht jenem, der bei zusätzlichen 28% zu den endgültigen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auftritt.



**Abbildung SPM-7:** Eine Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen würde die Erwärmung abschwächen, allerdings in ungewissem Ausmass. Temperaturveränderungen im Vergleich zum Jahr 1990 (a) im Jahr 2100 und (b) im Gleichgewicht werden wie in Abbildung SPM-6 mittels eines einfachen Klimamodells für die WRE-Profile geschätzt. Die höchste und die niedrigste Schätzung für jedes Stabilisationsniveau gehen von einer Klimasensitivität von 1.7 respektive 4.2°C aus. Die Mittelnie ist ein Durchschnitt der höchsten und der niedrigsten Schätzungen.

**Handlungen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen (Verminderung) würden den Druck des Klimawandels auf menschliche und natürliche Systeme verringern.** Langsamere Anstiegsraten der durchschnittlichen globalen Temperatur und des Meeresspiegels würden mehr Zeit für eine Anpassung einräumen. Deshalb wird erwartet, dass Verminderungsstrategien die durch den Klimawandel entstehenden Schäden verzögern und verringern und so ökologischen und gesellschaftlichen Nutzen mit sich bringen. Verminderungsmassnahmen und die damit verbundenen Kosten sind in der Antwort auf Frage 7 diskutiert.



**Verminderungsmassnahmen zur Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgaskonzentrationen auf niedrigerem Niveau würden mehr Nutzen mit sich bringen, da weniger Schäden verursacht würden.** Eine Stabilisierung auf niedrigerem Niveau vermindert das Risiko, dass die Temperaturen Schwellenwerte für biophysische Systeme überschreiten, wo solche bestehen. Man schätzt zum Beispiel, dass eine Stabilisierung von CO<sub>2</sub> auf 450 ppm im Jahr 2100 einen Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur mit sich bringt, der 0.75 bis 1.25°C unter dem Temperaturanstieg bei einer Stabilisierung auf 1'000 ppm liegt (siehe Abbildung SPM-7). Im Gleichgewichtszustand beträgt der Unterschied etwa 2 bis 5°C. Die geografische Ausdehnung des Schadens und des Verlusts an natürlichen Systemen sowie die Zahl der betroffenen Systeme – all diese Grössen steigen mit dem Ausmass und der Rate des Klimawandels – sind bei einem niedrigeren Stabilisierungsniveau geringer. Entsprechend wird erwartet, dass bei einem niedrigeren Stabilisierungsniveau der Härtegrad der Auswirkungen klimatischer Extremereignisse niedriger ausfällt, dass weniger Regionen Einbussen im Marktsektor hinnehmen müssen, dass aggregierte globale Auswirkungen kleiner sind und dass das Risiko von grossräumigen Ereignissen mit schwerwiegenden Auswirkungen vermindert wird.

**Umfassende quantitative Schätzungen der Nutzen einer Stabilisierung der atmosphärischen Treibhausgase auf verschiedenen Niveaus liegen bis jetzt nicht vor.** Es wurden Fortschritte beim Verständnis des qualitativen Charakters der Auswirkungen des Klimawandels erzielt. Aufgrund von Unsicherheiten bezüglich der Klimasensitivität und der geografischen und saisonalen Muster der projizierten Veränderungen in Temperatur, Niederschlag und anderen Variablen und Phänomenen können für die einzelnen Emissions-szenarien die Auswirkungen eines Klimawandels nicht eindeutig ermittelt werden. Es bestehen auch Unsicherheiten in Bezug auf Schlüsselprozesse sowie Sensitivität und Anpassungsfähigkeit von Systemen an veränderte klimatische Bedingungen. Im Weiteren ist es nicht einfach, Auswirkungen wie zum Beispiel die Veränderungen der Zusammensetzung und Funktion von ökologischen Systemen, das Aussterben von Arten und Veränderungen in der menschlichen Gesundheit sowie Unterschiede in der Verteilung der Auswirkungen über verschiedene Populationen in monetären oder anderen geläufigen Einheiten auszudrücken. Wegen dieser Einschränkungen sind die Nutzen von verschiedenen Massnahmen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen – einschliesslich der Massnahmen, welche die Treibhausgaskonzentrationen auf ausgewählten Niveaus stabilisieren – unvollständig charakterisiert und können nicht direkt mit den Kosten einer Verminderung verglichen werden, um die wirtschaftlichen Netto-Auswirkungen einer Verminderung zu schätzen.

**Anpassung ist auf allen Ebenen eine notwendige Strategie, um Bemühungen zu einer Verminderung der Klimaänderung zu ergänzen. Zusammen können sie dazu beitragen, Ziele einer nachhaltigen Entwicklung zu erreichen.**

**In einer kosteneffektiven Strategie zur Verminderung der Risiken eines Klimawandels können Anpassungsstrategien die Verminderungsstrategien ergänzen.** Die Verminderung von Treibhausgasemissionen, sogar eine Stabilisierung ihrer Konzentrationen in der Atmosphäre auf einem niedrigen Niveau, wird den Klimawandel und den Meeresspiegelanstieg weder ganz verhindern noch deren Auswirkungen abwenden. Als Reaktion auf das sich verändernde Klima und auf ansteigende Meere werden viele Anpassungen vorgenommen werden – zum Teil haben sie bereits stattgefunden. Dazu kommt, dass die Entwicklung von geplanten Anpassungsstrategien, mit denen Risiken angesprochen und Gelegenheiten ausgenützt werden können, Verminderungsstrategien ergänzen und so dazu beitragen kann,

die Auswirkungen der Klimaänderung zu verringern. Anpassungen bringen allerdings auch Kosten mit sich und können nicht alle Schäden verhindern. Die Anpassungskosten können durch Verminderungsmassnahmen verringert werden, die diejenigen Klimaänderungen reduzieren und bremsen, denen Systeme sonst ausgesetzt wären.

**Es wird projiziert, dass sich die Folgen einer Klimaveränderung innerhalb und zwischen Ländern verschieden auswirken werden. Die Herausforderung Klimawandel wirft wichtige Fragen von Gerechtigkeit auf.** Verminderungs- und Anpassungsstrategien können, wenn sie richtig gestaltet sind, eine nachhaltige Entwicklung und eine Entwicklung in Richtung Gerechtigkeit sowohl innerhalb wie auch zwischen Ländern und zwischen Generationen begünstigen. Es wird erwartet, dass eine Reduktion der projizierten Zunahme von extremen Klimaereignissen allen Ländern zum Nutzen gereichen wird, besonders den Entwicklungsländern, die in Bezug auf den Klimawandel als verwundbarer erachtet werden als entwickelte Länder. Eine Verminderung des Klimawandels durch Handlungen der heutigen Generation würde auch das Risiko für künftige Generationen verringern.

---

## FRAGE 7

Was ist über das Potenzial, die Kosten und Nutzen und über den Zeitrahmen einer Reduktion von Treibhausgasemissionen bekannt?

- Was wären die wirtschaftlichen und sozialen Kosten und Nutzen von möglichen Politiken und Massnahmen und den Mechanismen des Kyoto-Protokolls, die in Betracht gezogen werden könnten, um regional und global auf den Klimawandel zu reagieren, und was wären die Auswirkungen dieser Strategien auf die Gerechtigkeit?
- Welche Portfolios von Handlungsmöglichkeiten aus Forschung und Entwicklung, Investition und anderen Strategien wären am effektivsten zur Verbesserung von Entwicklung und Einsatz von Technologien, die auf den Klimawandel ausgerichtet sind?
- Welche Art von wirtschaftlichen und anderen strategischen Handlungsmöglichkeiten könnten eventuell bestehende und potenzielle Hindernisse überwinden sowie den Technologietransfer und -einsatz im privaten und öffentlichen Sektor fördern, und welche Auswirkungen könnten diese Handlungsmöglichkeiten auf die projizierten Emissionen haben?
- Wie wirkt sich die zeitliche Planung der oben genannten Handlungsmöglichkeiten auf die damit einhergehenden wirtschaftlichen Kosten und Nutzen aus, und welche Folgen hat sie für die atmosphärischen Konzentrationen von Treibhausgasen im Verlaufe des nächsten Jahrhunderts und darüber hinaus?

---

**Es gibt viele Gelegenheiten, einschliesslich technologischer Optionen, um kurzfristig Emissionen zu reduzieren, aber es gibt Hindernisse bei deren Einsatz.**

**Seit dem SAR 1995 hat ein massgeblicher technischer Fortschritt stattgefunden, der für das Reduktionspotenzial von Treibhausgasemissionen von Bedeutung ist.** Der Prozess verlief schneller als erwartet. Mittels eines Portfolios von Technologien könnten Nettoerduktionen erzielt werden (z.B. effizientere Umwandlung in Produktion und Gebrauch von Energie, eine Verschiebung hin zu Technologien mit niedrigem oder keinem Treibhausgasausstoss, Bindung und Speicherung von Kohlenstoff, und verbesserte



Landnutzungs-, Landnutzungsänderungs- und Forstwirtschaftspraktiken). Die Fortschritte werden in verschiedensten Technologiebereichen auf verschiedenen Entwicklungsstufen erzielt, von der Markteinführung der Windturbine über die Verbesserung der Brennstoffzellentechnologie bis hin zur Demonstration von unterirdischer CO<sub>2</sub>-Lagerung.

**Die erfolgreiche Umsetzung von Optionen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen müsste technische, wirtschaftliche, politische, kulturelle, soziale, verhaltensbedingte und/oder institutionelle Hindernisse überwinden, die einer vollumfänglichen Ausnutzung der technischen, wirtschaftlichen und sozialen Chancen dieser Optionen im Wege stehen.** Die potenziellen Verminderungschancen und die Art der Hindernisse sind je nach Region und Sektor verschieden und verändern sich im Laufe der Zeit. Diese Unterschiede ergeben sich aus der grossen Variationsbreite von Verminderungskapazitäten. Die meisten Länder könnten von innovativen Finanzierungsstrategien, sozialem Lernen und Innovation, von institutionellen Reformen, von der Beseitigung von Handelshindernissen sowie von der Ausrottung der Armut profitieren. In industrialisierten Ländern liegen künftige Chancen zudem vor allem in der Beseitigung von sozialen und verhaltensbedingten Hindernissen; in Schwellenländern in Preisrationalisierungen und in Entwicklungsländern in Preisrationalisierungen, vermehrtem Zugang zu Daten und Informationen, in der Verfügbarkeit von fortgeschrittenen Technologien, in finanziellen Ressourcen sowie in der Ausbildung und dem Ausbau von Know-How. Für jedes Land könnten die Chancen aber auch in der Beseitigung irgendeiner Kombination von Hindernissen liegen.

**Nationale Reaktionen auf den Klimawandel können wirkungsvoller sein, wenn sie als Portfolio von strategischen Instrumenten zur Begrenzung oder Verminderung der Treibhausgasemissionen eingesetzt werden.** Das Portfolio kann entsprechend der nationalen Umstände Emissions-, Kohlenstoff-, bzw. Energiesteuern beinhalten, handelbare oder nicht handelbare Lizenzen, Landnutzungsstrategien, Einführung und/oder Beseitigung von Subventionen, Pfandsysteme, Technologie- oder Leistungsstandards, Auflagen an den Energiemix, Produkteverbote, freiwillige Selbstverpflichtungen, Staatsausgaben und -investitionen und Unterstützung für Forschung und Entwicklung.

### **Kostenschätzungen aus verschiedenen Modellen und Studien variieren aus zahlreichen Gründen.**

**Aus verschiedenen Gründen sind spezifische quantitative Schätzungen von Verminderungskosten von wesentlichen Unterschieden und Unsicherheiten geprägt. Kostenschätzungen variieren (a) aufgrund der in der Analyse verwendeten Methodologien<sup>6</sup> und (b) aufgrund von Faktoren und Annahmen, die der Analyse zugrunde liegen.** Der Einbezug mancher Faktoren führt zu niedrigeren, andere zu höheren Schätzungen. Der Einbezug von verschiedenen Treibhausgasen, Senken, herbeigeführtem technischem Wandel und Emissionshandel<sup>7</sup> kann die geschätzten Kosten senken. Zudem legen Studien nahe, dass manche Quellen von Treibhausgasemissionen mit keinen oder negativen Nettosozialkosten vermindert werden können, indem No-regret-Strategien ausge-

<sup>6</sup> Der SAR beschrieb zwei Kategorien von Ansätzen, um Kosten zu schätzen: Bottom-up-Ansätze, die auf der Auswertung von spezifischen Technologien und Sektoren aufbauen, und Top-down-Modelle, die von makro-ökonomischen Verbindungen ausgehen.

<sup>7</sup> Ein marktkonformer Ansatz, umweltbezogene Ziele zu erreichen. Er besteht darin, dass diejenigen Parteien, die ihre Treibhausgasemissionen unter das vorgeschriebene Niveau senken, die „überschüssigen“ Emissionen nutzen oder handeln können, um Emissionen aus einer anderen Quelle im In- oder Ausland auszugleichen. Hier wird der Begriff breit verwendet, um Handel von Emissionsbewilligungen und projektbezogene Zusammenarbeit mit einzuschliessen.

nutzt werden, zum Beispiel durch die Korrektur von Unvollkommenheiten des Marktes, durch den Einbezug von Sekundärnutzen und durch die effiziente Wiederverwendung von Steuereinnahmen. Internationale Zusammenarbeit, die eine kostenwirksame Emissionsreduktion erleichtert, kann die Verminderungskosten senken. Auf der anderen Seite können Einschränkungen im Gebrauch von inländischen und internationalen Handelsmechanismen, hohe Transaktionskosten, der Einbezug von Sekundärkosten und ineffiziente Massnahmen zur Wiederverwendung von Steuergeldern die geschätzten Kosten erhöhen, da sie für potenzielle kurzfristige wirtschaftliche Makroschocks verantwortlich sind. Da keine Analyse alle relevanten Faktoren, welche die Verminderungskosten beeinflussen, mit einbezieht, kann es sein, dass die geschätzten Kosten nicht die tatsächlichen Kosten der Umsetzung von Verminderungsmassnahmen widerspiegeln.

**Die im TAR untersuchten Studien präsentieren zahlreiche Möglichkeiten, um die Verminderungskosten zu senken.**

**Bottom-up-Studien weisen darauf hin, dass es zahlreiche Möglichkeiten für eine Verminderung zu niedrigen Kosten gibt.** Laut Bottom-up-Studien könnten im Jahr 2010 globale Emissionsverminderungen von 1.9 – 2.6 GtC<sub>äq</sub> (Gigatonnen Kohlenstoffäquivalent) pro Jahr<sup>8</sup> erreicht werden respektive 3.6 – 5.0 GtC<sub>äq</sub> im Jahr 2020. Die Hälfte dieser potenziellen Emissionsreduktionen könnten bis 2020 mit direkten Nutzen erreicht werden (gesparte Energie), welche die direkten Kosten übersteigen (Nettokapital, Betriebs- und Unterhaltskosten); die andere Hälfte könnte zu direkten Nettokosten von bis zu US\$100 pro t C<sub>äq</sub> (zu Preisen von 1998) erreicht werden. Diese Schätzungen der direkten Nettokosten wurden – übereinstimmend mit den Diskontsätzen im öffentlichen Sektor – mit Diskontsätzen von zwischen 5 und 12% berechnet. Interne Kapitalverzinsungen bei privaten Investoren variieren stark und sind oft signifikant höher, was sich auf die Adoptionsrate dieser Technologien durch Privatträger auswirkt. Zu diesen direkten Nettokosten wäre es je nach Emissionsszenario möglich, die globalen Emissionen zwischen 2010 und 2020 unter das Niveau von 2000 zu senken. Die Realisation solcher Verminderungen bringt zusätzliche Umsetzungskosten mit sich. Diese können in gewissen Fällen erheblich sein: Möglicherweise müssen politische Strategien unterstützt, Forschung und Entwicklung intensiviert, der Technologietransfer effizienter gestaltet und weitere Hindernisse überwunden werden. Die verschiedenen globalen, regionalen, nationalen und sektoralen Studien sowie die Studien auf Projektebene, die im TAR AGIII ausgewertet wurden, haben verschiedene Umfänge und verschiedene zugrundeliegende Annahmen. Es gibt nicht für alle Sektoren und Regionen Studien.

**Wälder, landwirtschaftliche Flächen und andere terrestrische Ökosysteme bieten ein erhebliches Kohlenstoffminderungspotenzial. Auch wenn dies nicht unbedingt dauerhaft ist, kann mit Konservierung und Speicherung von Kohlenstoff Zeit für die weitere Entwicklung und Umsetzung anderer Optionen gewonnen werden.** Eine biologische Verminderung kann mittels drei Strategien umgesetzt werden: (a) Erhaltung von bestehenden Kohlenstoffspeichern, (b) Bindung von Kohlenstoff durch Vergrösserung von Kohlenstoffspeichern<sup>9</sup> und (c) Ersatz durch nachhaltig produzierte biologische Produkte. Das geschätzte globale Potenzial von biologischen Verminderungsmöglichkeiten liegt im

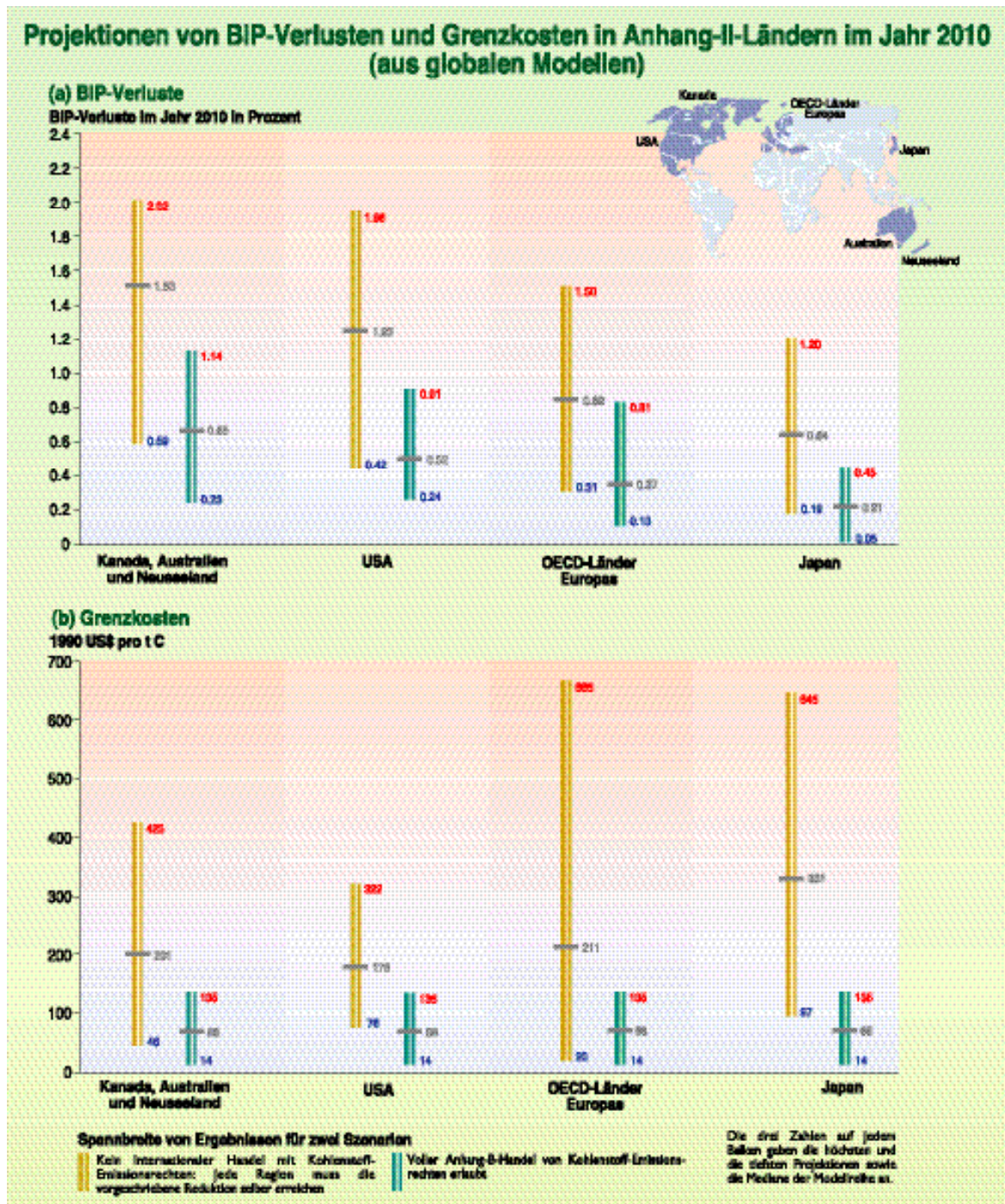
<sup>8</sup> Die Schätzungen der Emissionsreduktionen beziehen sich auf einen Referenztrend, der im Ausmass dem SRES-B2-Szenario ähnlich ist.

<sup>9</sup> Veränderte Landnutzung könnte die atmosphärische Konzentration von CO<sub>2</sub> beeinflussen. Wenn die gesamte Menge Kohlenstoff, die durch historische Veränderungen in der Landnutzung freigesetzt worden ist, im Laufe des Jahrhunderts wieder der terrestrischen Biosphäre zugeführt werden könnte (z.B. durch Aufforstung), könnte die CO<sub>2</sub>-Konzentration theoretisch um 40 bis 70 ppm reduziert werden.

Bereich von 100 GtC (kumulativ) bis 2050, dies entspricht etwa 10 bis 20% der möglichen Emissionen von fossilen Brennstoffen während dieser Periode – wobei diese Schätzung mit grossen Unsicherheiten verbunden ist. Die Ausschöpfung dieses Potenzials hängt sowohl von der Verfügbarkeit von Land und Wasser wie auch von der Geschwindigkeit der Einführung von Praktiken im Landmanagement ab. Das grösste biologische Potenzial für die Verminderung des atmosphärischen CO<sub>2</sub> befindet sich in den tropischen und subtropischen Regionen. Die bis heute bekannten Kostenschätzungen von biologischer Verminderung variieren signifikant zwischen US\$ 0.1/tC bis US\$ 20/tC in mehreren tropischen Ländern und von US\$ 20/tC bis US\$ 100/tC in nicht-tropischen Ländern. Die Methoden der Kostenanalysen und Kohlenstoffbuchhaltung waren bisher nicht vergleichbar. Überdies beinhalten die Kostenberechnungen in vielen Fällen, unter anderem, keine Kosten für Infrastruktur, keine angemessene Verzinsung, keine Kosten für Beobachtung, Datenkollektion und Umsetzung, keine Opportunitätskosten für Land und Unterhalt oder andere regelmässige Kosten. All diese Kosten wurden oft ausgegrenzt oder übersehen. Das untere Ende des Bereichs wird als zu tief liegend eingeschätzt, wobei sich aber das Verständnis für derartige Kostenberechnungen im Laufe der Zeit verbessert. Biologische Verminderungsmassnahmen können andere Treibhausgase als CO<sub>2</sub> reduzieren oder erhöhen.

**Für Anhang-B-Länder variieren die Kostenschätzungen zur Umsetzung des Kyoto-Protokolls je nach Studie und Region und hängen wesentlich davon ab, welche Annahmen über die Anwendung der Kyoto-Mechanismen getroffen werden und in welchen Wechselwirkungen diese mit inländischen Massnahmen stehen (siehe Abbildung SPM-8 für einen Vergleich von regionalen Anhang-II-Verminderungskosten).** In der grossen Mehrheit der globalen Studien, die diese Kosten untersuchen und vergleichen, werden internationale energiewirtschaftliche Modelle angewandt. Neun dieser Studien legen die folgenden Auswirkungen auf das BIP nahe: Ohne Emissionshandel unter den Anhang-B-Ländern zeigen die Studien für verschiedene Anhang-II-Regionen Reduktionen im projizierten BIP<sup>10</sup> von zwischen 0.2 bis 2% im Jahr 2010. Mit vollem Emissionshandel unter den Anhang-B-Ländern betragen die geschätzten Reduktionen im projizierten BIP zwischen 0.1 und 1.1%. Die oben zitierten globalen Modellstudien zeigen für die Erfüllung der Kyoto-Ziele nationale Grenzkosten von zwischen US\$20 und US\$600 pro t C ohne Emissionshandel, und eine Spannweite von etwa US\$15 bis US\$150 pro t C mit Emissionshandel zwischen Anhang-B-Ländern. Für die meisten Schwellenländer sind die Auswirkungen auf das BIP entweder vernachlässigbar oder betragen eine mehrprozentige Zunahme. Für einige Schwellenländer jedoch hat eine Umsetzung des Kyoto-Protokolls ähnliche Auswirkungen auf das BIP wie dies in den Anhang-II-Ländern der Fall ist. Zur Zeit dieser Studien wurden Senken oder andere Emissionen als CO<sub>2</sub>-Emissionen in den Modellen nicht berücksichtigt. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind der CDM (Clean Development Mechanism), Optionen mit negativen Kosten, Sekundärnutzen oder zielgerichtetes Recycling von Einnahmen. Der Einbezug all dieser Faktoren würde die geschätzten Kosten nach unten korrigieren. Auf der anderen Seite unterschätzen diese Modelle die Kosten, weil ihnen die Annahmen zugrunde liegen, dass ein voller Emissionshandel innerhalb und unter Anhang-B-Ländern ohne Transaktionskosten möglich ist, dass die Verminderungsmassnahmen perfekt greifen und dass sich die Volkswirtschaften zwischen

<sup>10</sup> Die berechneten BIP-Reduktionen stehen im Vergleich zum projizierten Referenz-BIP jedes Modells. Die Modelle werten nur CO<sub>2</sub>-Verminderungen aus. Im Gegensatz dazu schliessen die oben zitierten Schätzungen aus Bottom-up-Modellen alle Treibhausgase mit ein. Für die Angabe von Kosten können viele Masse angewendet werden. Wenn zum Beispiel für entwickelte Länder die geschätzten jährlichen Kosten für die Erreichung der Ziele des Kyoto-Protokolls unter der Annahme des vollen Anhang-B-Handels um 0.5% des BIP liegen, bedeutet dies 125 Milliarden US-Dollar (1000 Millionen) pro Jahr, oder 125 US-Dollar pro Person und Jahr im Jahr 2010 im Anhang II (SRES-Annahmen). Das entspricht einer Auswirkung auf wirtschaftliche Wachstumsraten von weniger als 0.1 Prozentpunkten über eine Dauer von zehn Jahren.



**Abbildung SPM-8:** Projektionen von BIP-Verlusten und Grenzkosten in Anhang-II-Ländern im Jahr 2010 in globalen Modellen:

**(a) BIP-Verluste und (b) Grenzkosten.** Die Reduktionen beziehen sich auf das projizierte BIP des Jahres 2010, im Vergleich zum Referenz-BIP des Modells. Diese Schätzungen basieren auf Ergebnissen von neuen Modellerteams, die an der Studie "Energy Modeling Forum" teilgenommen haben. Die in der Abbildung wiedergegebenen Projektionen sind für die vier Anhang-II-Regionen. Die Modelle haben zwei Szenarien untersucht. Im ersten erreicht jede Region die vorgeschriebene Verminderung nur mit inländischem Handel mit Kohlenstoffemissionen. Im zweiten ist Anhang-B-Handel erlaubt, d.h. die Grenzkosten sind für alle Regionen gleich. Für jeden Fall oder jede Region werden das Maximum, das Minimum und die Mediane für die geschätzten Grenzkosten aller Modelle aufgezeigt.



1990 und 2000 langsam darauf einrichten, sich den Zielen des Kyoto-Protokolls nähern zu müssen. Die Kostenreduktionen der Kyoto-Mechanismen hängen von den Details der Umsetzung ab, einschliesslich der Vereinbarkeit von nationalen und internationalen Mechanismen, Einschränkungen und Transaktionskosten.

**Beschränkungen von Emissionen in Anhang-I-Ländern haben gut etablierte – wenn auch unterschiedliche – Spillover-Effekte<sup>11</sup> auf nicht-Anhang-I-Länder.** Die Analysen zeigen eine Reduktion des projizierten BIP und Reduktionen der projizierten Öleinnahmen für Öl exportierende nicht-Anhang-II-Länder. Die Studie mit den niedrigsten Kosten zeigt für das Jahr 2010 Reduktionen von 0.2% des projizierten BIP ohne Handel mit Emissionen und weniger als 0.05% des projizierten BIP mit Anhang-B-Emissionshandel<sup>12</sup>. Die Studie mit den höchsten Kostenangaben geht für das Jahr 2010 ohne Emissionshandel von einer 25-prozentigen Reduktion vom projizierten Öleinkommen aus, und mit einer Reduktion von 13% des projizierten Öleinkommens mit Anhang-B-Emissionshandel. Diese Studien berücksichtigen ausser dem Anhang-B-Emissionshandel keine Strategien und Massnahmen, welche die Auswirkungen auf Öl exportierende nicht-Anhang-I-Länder abschwächen könnten. Die Auswirkungen auf diese Länder können durch die Aufhebung von Subventionen für fossile Brennstoffe, durch die Restrukturierung von Energiesteuern nach Kohlenstoffgehalt, durch den vermehrten Gebrauch von Erdgas und durch eine Diversifizierung der Volkswirtschaften von Öl exportierenden nicht-Anhang-I-Ländern weiter reduziert werden. Andere nicht-Anhang-I-Länder können durch ein Nachlassen der Nachfrage nach ihren Exportprodukten in den OECD-Ländern nachteilig beeinflusst werden; weitere Nachteile können durch den Anstieg der Preise von kohlenstoffintensiven und anderen Importgütern entstehen. Diese Länder können von niedrigeren Brennstoffpreisen, von den gestiegenen Exporten kohlenstoffintensiver Produkte und vom Transfer umweltfreundlicher Technologien und Know-How profitieren. Die mögliche Verlagerung von gewissen kohlenstoffintensiven Industrien in nicht-Anhang-I-Länder und die weiteren Auswirkungen auf Handelsflüsse aufgrund der sich verändernden Preise kann zu einer Verlagerung (Kohlenstoffleck)<sup>13</sup> vom Ausmass zwischen 5 und 20% führen.

### Die Weiterentwicklung und die Verbreitung von Technologien sind wichtige Komponenten einer kostenwirksamen Stabilisierung.

**Entwicklung und Transfer von umweltfreundlichen Technologien könnten bei der Eindämmung der Kosten für eine Stabilisierung der Treibhausgase eine entscheidende Rolle spielen.** Der Technologietransfer zwischen Ländern und Regionen könnte die Auswahl an Handlungsmöglichkeiten auf regionalem Niveau vergrössern. Die Mengen-Kosten-Regressionen sowie Lernprozesse werden die Kosten der Einführung der neuen Technologien senken. Mit vernünftigen Wirtschaftsstrategien und regulierenden Rahmenbedingungen, mit Transparenz und politischer Stabilität könnten Regierungen ein Umfeld für Technologietransfer im privaten und im öffentlichen Sektor schaffen. Ein angemessener Einsatz von Arbeitskräften und von organisatorischen Kapazitäten sind bei jedem Schritt entscheidend, um die Qualität des Technologietransfers zu verbessern und deren Fluss zu

<sup>11</sup> Diese Spillover-Effekte beinhalten nur wirtschaftliche Auswirkungen, nicht aber umweltrelevante.

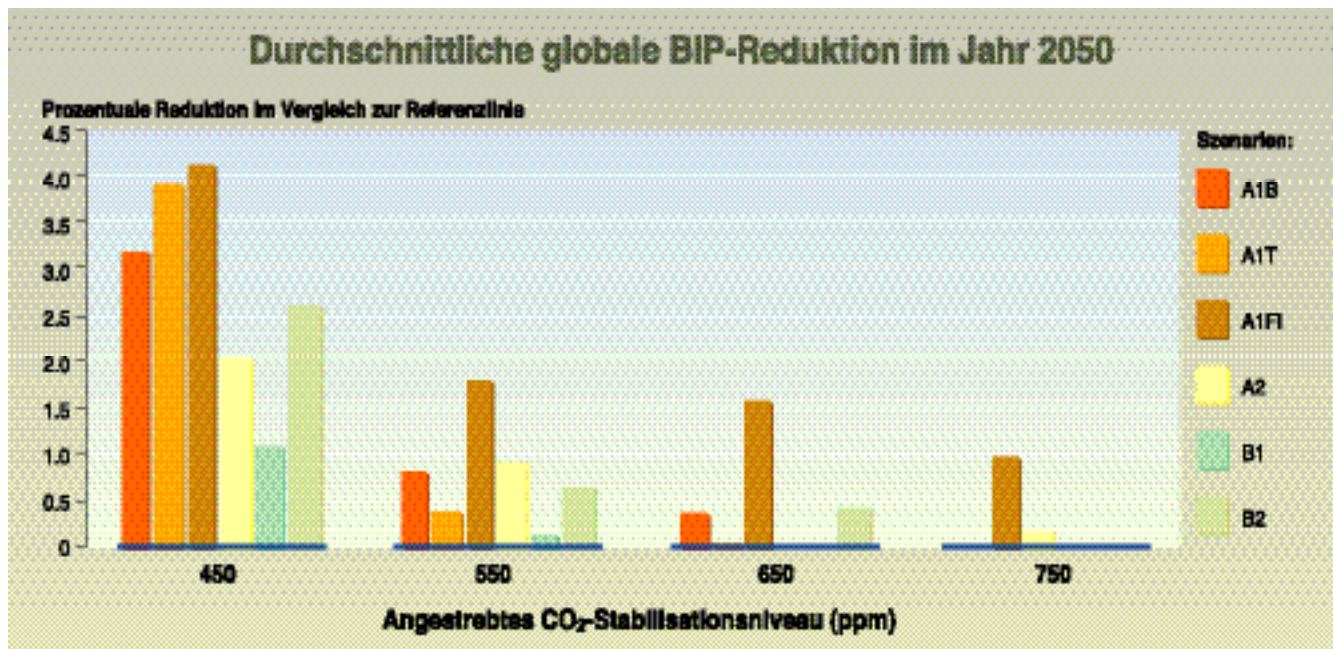
<sup>12</sup> Diese geschätzten Kosten können als Differenzen in den BIP-Wachstumsraten zwischen 2000 und 2010 ausgedrückt werden. Ohne Emissionshandel wird die BIP-Wachstumsrate um 0.02 Prozentpunkte pro Jahr vermindert; mit Anhang-B-Emissionshandel wird die Wachstumsrate weniger als 0.005 Prozentpunkte pro Jahr reduziert.

<sup>13</sup> Als Kohlenstoffleck ist hier der Anstieg von Emissionen in nicht-Anhang-B-Ländern aufgrund von Emissionsminderungen in Anhang-B-Ländern bezeichnet, ausgedrückt in Prozent der Anhang-B-Reduktionen.

erhöhen. Zudem ist für einen möglichst effektiven Technologietransfer wesentlich, dass der Schwerpunkt auf Produkten und Techniken mit mehreren Sekundärnutzen liegt, die den lokalen Entwicklungsbedürfnissen oder -prioritäten entsprechen. Ebenfalls wesentlich ist die Vernetzung von privaten und öffentlichen Interessensgruppen.

**Niedrigere Emissionsszenarien erfordern verschiedene Entwicklungsverläufe von Energieressourcen und eine verstärkte Energieforschung und -entwicklung, um eine Beschleunigung der Entwicklung und Anwendung von fortgeschrittenen umweltfreundlichen Energietechnologien zu erwirken.** Es steht praktisch fest, dass CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe im 21. Jahrhundert den Haupteinfluss auf den Trend der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen darstellen werden. Daten zu Energiequellen, die im TAR ausgewertet wurden, setzen möglicherweise eine Veränderung im Energiemix und die Einführung neuer Energiequellen im 21. Jahrhundert voraus. Die Wahl des Energiemix und die damit verbundenen Technologien und Investitionen – entweder eher in Richtung der Ausbeutung unkonventioneller Öl- und Gasressourcen oder in Richtung nicht-fossiler Energiequellen oder fossiler Energietechnologie mit Kohlenstoffbindung und -speicherung – werden bestimmen, ob, in welchem Ausmass und zu welchen Kosten die Treibhausgaskonzentrationen stabilisiert werden können.

**Sowohl der Weg zur Stabilisierung wie auch das Stabilisierungsniveau selber sind Hauptdeterminanten für die Verminderungskosten<sup>14</sup>.**



**Abbildung SPM-9:** Verhältnis zwischen dem relativen Rückgang des BIP aufgrund von Abschwächungsstrategien, den SRES-Szenarien und dem Stabilisierungsniveau. Der Rückgang des BIP vergrößert sich tendenziell mit der Strenge des Stabilisierungsniveaus, aber die Kosten reagieren sehr empfindlich auf die Wahl des Referenzszenarios. Diese projizierten Verminderungskosten beziehen die potenziellen Nutzen von verhindertem Klimawandel nicht mit ein.

<sup>14</sup> Siehe Frage 6 für eine Diskussion der Auswirkungen des Klimawandels.

**Der Weg zur Erlangung eines bestimmten Stabilisierungsziels wirkt sich auf die Verminderungskosten aus (siehe Abbildung SPM-9).** Ein gradueller Übergang vom heutigen globalen Energiesystem hin zu einer weniger kohlenstoffintensiven Wirtschaft minimiert die Kosten einer vorzeitigen Ausserbetriebnahme des bestehenden Kapitalstocks. Ein solcher Übergang bietet auch Zeit für die Entwicklung von Technologien und verhindert eine zu frühzeitige Festlegung auf frühe Versionen von sich schnell entwickelnden emissionsarmen Technologien. Andererseits würde schnelleres kurzfristiges Handeln die Flexibilität auf dem Weg zur Stabilisierung erhöhen und würde ökologische und menschliche Risiken und Kosten vermindern, die mit den projizierten Klimaveränderungen verbunden sind. Ein schnelles Handeln würde auch den rascheren Einsatz bereits bestehender emissionsarmer Technologien stimulieren und würde erhebliche kurzfristige Anreize für künftige technologische Veränderungen bieten.

**Studien zeigen, dass die Kosten zur Stabilisierung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre steigen, je tiefer das Stabilisierungsniveau angelegt ist. Verschiedene Referenzentwicklungen können einen starken Einfluss auf die absoluten Kosten haben (siehe Abbildung SPM-9).** Während die Kosten nur leicht steigen, wenn das Stabilisierungsniveau von 750 ppmv auf 550 ppmv gesenkt wird, ist der Kostenanstieg bei einer Reduktion von 550 ppmv zu 450 ppmv grösser, ausser wenn die Emissionen im Referenzszenario bereits sehr niedrig sind. Obwohl die Modellprojektionen darauf hinweisen, dass das langfristige globale Wachstum des BIP von Verminderungsstrategien zur Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen nicht signifikant beeinträchtigt wird, zeigen die Projektionen die grösseren Variationen, die während kürzeren Zeitperioden oder in gewissen Sektoren oder Regionen auftreten, nicht auf. Die Resultate beinhalten auch die Speicherung von CO<sub>2</sub> nicht und machen keine Aussagen zu möglichen Auswirkungen von ehrgeizigeren Emissionszielen als Anreiz für technologischen Wandel. Zudem nimmt mit der Erweiterung des Zeithorizonts die Unsicherheit zu.

---

## FRAGE 8

Was ist bekannt über die Wechselwirkungen zwischen den projizierten, vom Menschen verursachten Klimaveränderungen und anderen Umweltfragen (z.B. Luftverschmutzung in städtischen Regionen, regionale Ablagerung von Säuren, Verlust von Biodiversität, Schwund von stratosphärischem Ozon sowie Wüstenbildung und Landdegradation)?

Was ist bekannt über die umweltrelevanten, sozialen und wirtschaftlichen Kosten, Nutzen und Auswirkungen dieser Wechselwirkungen, damit klimabezogene Strategien auf gerechte Art und Weise in breit angelegte Strategien für eine nachhaltige Entwicklung auf lokaler, regionaler und globaler Ebene integriert werden können?

---

**Lokale, regionale und globale Umweltfragen sind untrennbar miteinander verbunden und beeinflussen eine nachhaltige Entwicklung. Dieser Umstand birgt die Chance, im Umweltbereich durch Synergien eine wirksamere Gesamtstrategie zu entwickeln, in der die Nutzen und die kostensenkenden Auswirkungen von Handlungsoptionen greifen und die menschlichen Bedürfnisse nachhaltiger gedeckt werden können.**

Oft bringt die Befriedigung menschlicher Bedürfnisse Umweltschäden mit sich, was wiederum die Erfüllung heutiger und künftiger Bedürfnisse gefährdet. Landwirtschaftliche Erträge können zum Beispiel mittels stickstoffhaltigen Düngemitteln und Bewässerung oder durch die Umwandlung von natürlichem Weideland und Wald zu

Ackerland erhöht werden. Allerdings können diese Veränderungen durch Emission von Treibhausgasen und Landdegeneration (aufgrund von Erosion und Versalzung der Böden) das Klima der Erde beeinflussen, und die Umwandlung und Fragmentierung von natürlichen Ökosystemen kann zu einem Rückgang der Biodiversität und der Kohlenstoffbindung beitragen. Die landwirtschaftliche Produktivität ihrerseits kann vor allem in den Tropen und Subtropen wieder durch Klimaveränderungen beeinträchtigt werden, und ein Rückgang der Biodiversität und Veränderungen auf genetischer oder Artenebene sowie Landdegradation durch Verlust von Bodenfruchtbarkeit können sich ebenfalls negativ auf die Produktivität auswirken. Viele dieser Veränderungen beeinträchtigen die Sicherung der Ernährung und betreffen die arme Bevölkerung in überdurchschnittlicher Masse.

**Die Hauptfaktoren, die beim vom Menschen verursachten Klimawandel eine Rolle spielen, gleichen den Faktoren der meisten umweltrelevanten und gesellschaftlichen Fragen: wirtschaftliches Wachstum, umfassender technologischer Wandel, Muster im Lebensstil sowie demographische Verschiebungen (Grösse der Bevölkerung, Altersstruktur und Migration). Mögliche Folgen davon sind:**

- Erhöhte Nachfrage nach natürlichen Ressourcen und Energie.
- Unvollkommenheiten des Marktes, einschliesslich: Subventionen, die zu ineffizientem Verbrauch von Ressourcen führen und die Durchdringung des Marktes durch umweltfreundliche Technologien behindern; die fehlende Anerkennung des wahren Werts natürlicher Ressourcen; fehlendes Bewusstsein des globalen Werts natürlicher Ressourcen auf lokaler Ebene; die fehlende Internalisierung externer Kosten von Umweltschäden in den Marktpreis einer Ressource.
- Begrenzte Verfügbarkeit von Technologien und eingeschränkter Technologietransfer, ineffizienter Einsatz von Technologien und unangemessene Investitionen in die Erforschung und Entwicklung von Zukunftstechnologien.
- Das Fehlen eines angemessenen Managements von natürlichen Ressourcen und Energie.

**Der Klimawandel beeinflusst Umweltfragen wie zum Beispiel den Rückgang der Biodiversität, die Wüstenbildung, den Ozonschwund in der Stratosphäre, die Verfügbarkeit von Trinkwasser und die Luftqualität – viele von diesen Problembereichen wirken sich ihrerseits wieder auf den Klimawandel aus.** Zum Beispiel deuten die Projektionen darauf hin, dass sich mit der Klimaveränderung die lokale und regionale Luftverschmutzung verschlimmert und die Wiederherstellung der stratosphärischen Ozonschicht verzögert. Zudem könnte der Klimawandel sich auf Produktivität und Struktur von terrestrischen und aquatischen Ökosystemen auswirken, mit einem potenziellen Verlust von genetischer Vielfalt und Biodiversität; auch könnte sich die Landdegeneration beschleunigen, und Probleme mit Trinkwassermenge und -qualität könnten sich in vielen Gebieten verschärfen. Umgekehrt würden lokale und regionale Luftverschmutzung, der Schwund stratosphärischen Ozons, Veränderungen in Ökosystemen und Landdegeneration das Klima der Erde beeinflussen, da bei diesen Prozessen die Quellen und Senken von Treibhausgasen, der Strahlungshaushalt der Atmosphäre und die Oberflächenalbedo verändert werden.

**Die Verbindungen zwischen lokalen, regionalen und globalen Umweltfragen und deren Rolle in der Befriedigung menschlicher Bedürfnisse bieten die Chance, bei der Entwicklung von Handlungsstrategien und bei der Verminderung der Anfälligkeit für Auswirkungen des Klimawandels Synergien auszunutzen, auch wenn sich in manchen Fällen die Effekte wieder aufheben.** Mehrere Ziele im Umwelt- und Entwicklungsbereich können durch die Einführung einer breiten Palette von Technologien und politischen Strategien und Massnahmen gleichzeitig erreicht werden, wenn darin die untrennbaren Verbindungen zwischen Umweltproblemen und menschlichen Bedürfnissen explizit anerkannt werden. Um den Energiebedarf zu decken und gleichzeitig die lokale und regionale Luftverschmutzung und den globalen Klimawandel kostenwirksam zu vermindern, braucht



es eine interdisziplinäre Beurteilung darüber, wo Synergien möglich sind und wo sich die gewünschten Effekte wieder aufheben. Dies ist nötig, damit der Energiebedarf auf möglichst wirtschaftliche, umweltfreundliche und sozial nachhaltige Weise gedeckt werden kann. Treibhausgasemissionen sowie lokale und regionale Luftschadstoffe könnten wie folgt reduziert werden: durch eine effizientere Energienutzung, durch eine Erhöhung des Anteils an Brennstoffen mit niedrigem Kohlenstoffgehalt, durch fortgeschrittene Technologien (z.B. hocheffiziente Kombikraftwerke, Brennstoffzellen und Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen) und Technologien mit erneuerbarer Energie (z.B. vermehrter Gebrauch von umweltfreundlichen Biobrennstoffen, Wasserkraft, Solar-, Wind- und Wellenkraft). Zudem kann der Anstieg der Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre auch durch eine Vergrößerung der Kohlenstoffbindung vermindert werden, zum Beispiel durch (Wieder)aufforstung, verlangsamte Rodung und durch besseres Management von Wald, Weideland, Feuchtgebieten und Ackergebieten, was sich auch positiv auf die Biodiversität, die Nahrungsmittelproduktion und auf die Land- und Wasserressourcen auswirken kann. Wenn die Anfälligkeit auf Auswirkungen der Klimaveränderungen vermindert wird, wird gleichzeitig oft die Anfälligkeit auf andere Umweltbelastungen reduziert, und umgekehrt. In manchen Fällen halten sich die Effekte allerdings die Waage – zum Beispiel können monokulturelle Plantagen manchmal die lokale Biodiversität vermindern.

**Die Kapazitäten von Ländern, sich anzupassen und zur Verminderung beizutragen, lässt sich vergrößern, wenn die Klimapolitik in die nationale Entwicklungspolitik (Wirtschafts-, Sozial- und breitere Umweltpolitik) integriert wird.** Bezüglich des Klimawandels gibt es Handlungsoptionen zur Abschwächung und zur Anpassung, die Sekundärnutzen mit sich bringen – diese decken menschliche Bedürfnisse, verbessern die Gesundheit und bringen andere umweltbezogene Nutzen. Länder mit begrenzten wirtschaftlichen Ressourcen und einem niedrigen Technologieniveau sind durch den Klimawandel und andere Umweltprobleme oft stark gefährdet.

**Zwischen den Umweltfragen, die in den multilateralen Umweltabkommen behandelt werden, gibt es viele Wechselwirkungen – so können in deren Umsetzung Synergien genutzt werden.** Globale Umweltprobleme werden in einer Reihe von individuellen Konventionen und – auch regionalen – Abkommen behandelt. Sie können unter anderem Fragen von gemeinsamem Interesse ansprechen oder ähnliche Auflagen zur Erreichung von allgemeinen Zielen beinhalten, zum Beispiel Umsetzungspläne, Sammeln und Verarbeiten von Daten, Stärkung von menschlichen und infrastrukturellen Kapazitäten und Auflagen zur Berichterstattung. Obschon verschieden, sind zum Beispiel die Wiener Konvention zum Schutz der Ozonschicht und die UNFCCC wissenschaftlich miteinander verbunden, weil viele Komponenten, die für den Ozonschwund verantwortlich sind, gleichzeitig auch Treibhausgase sind und weil einige der Ersatzstoffe für die heute verbotenen ozonerstörenden Substanzen Treibhausgase sind.

## FRAGE 9

Was sind die stabilsten Ergebnisse und die Hauptunsicherheiten in Bezug auf die Ursachen der Klimaänderung und in Bezug auf die Modellprojektionen von:

- zukünftigen Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen?
- zukünftigen Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen?
- zukünftigen Änderungen des regionalen und globalen Klimas?
- regionalen und globalen Auswirkungen der Klimaänderung?
- Kosten und Nutzen von Verminderungs- und Anpassungsoptionen?

In diesem Bericht ist ein *stabiles Ergebnis* zur Klimaänderung definiert als eines, das unter einer Vielfalt von Vorgehensweisen, Methoden, Modellen und Annahmen beständig ist und von dem man erwartet, dass es durch Unsicherheiten kaum beeinträchtigt wird. *Hauptunsicherheiten* sind in diesem Zusammenhang solche, die, falls reduziert, zu neuen und stabilen Ergebnissen in Bezug auf die Fragen in diesem Bericht führen können. In den Beispielen in Tabelle SPM-3 sind viele der stabilen Ergebnisse mit der *Existenz* einer Klimareaktion auf menschliche Aktivitäten und dem Vorzeichen dieser Reaktion verbunden. Viele der Hauptunsicherheiten betreffen die *Quantifizierung* der Stärke und des zeitlichen Ablaufs der Reaktion. Nach der Darstellung der Ursachen der Klimaänderung behandelt die Tabelle die in Abbildung SPM-1 aufgezeigten Problemkreise. In Abbildung SPM-10 sind einige der wichtigsten stabilen Ergebnisse bezüglich Klimaänderung dargestellt. Tabelle SPM-3 enthält Beispiele und ist nicht eine vollständige Liste.

Im TAR wurden in vielen für das Verständnis der Klimaänderung und der menschlichen Reaktion darauf wichtigen Wissensbereichen wesentliche Fortschritte erzielt. Trotzdem verbleiben wichtige Bereiche, wo weitere Arbeit nötig ist, insbesondere:

- die Erkennung und Zuordnung von Klimaänderungen
- das Verständnis und die Voraussage von regionalen Änderungen des Klimas und von Klimaextremen
- die Quantifizierung von Klimaänderungsauswirkungen auf globaler, regionaler und lokaler Ebene
- die Analyse von Anpassungs- und Verminderungsaktivitäten
- die Integration aller Aspekte der Klimaänderungsproblematik in Strategien für die nachhaltige Entwicklung
- umfassende und integrale Untersuchungen, um die Beurteilung, was die "gefährliche anthropogene Störung des Klimasystems" ausmacht, zu unterstützen.

**Tabelle SPM-3: Stabile Ergebnisse und Hauptunsicherheiten<sup>a</sup>**

Stabile Ergebnisse		Hauptunsicherheiten
<p>Beobachtungen zeigen, dass sich die Erdoberfläche erwärmt. Global gesehen sind die 90er-Jahre sehr wahrscheinlich das wärmste Jahrzehnt der instrumentellen Messperiode (Abb. SPM10b).</p> <p>Die atmosphärischen Konzentrationen der wichtigsten anthropogenen Treibhausgase [CO<sub>2</sub> (Abb. SPM-10a), CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O und troposphärisches O<sub>3</sub>] sind seit 1750 erheblich gestiegen.</p> <p>Einige Treibhausgase haben lange Lebenszeiten (z.B. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O und PFCs).</p> <p>Der grösste Teil der in den letzten 50 Jahren beobachteten Erwärmung ist wahrscheinlich auf die durch menschliche Aktivitäten bedingte Erhöhung der Treibhausgaskonzentrationen zurückzuführen.</p>	<p><b>Klimaänderung und Ursachen</b></p>	<p>Stärke und Ausprägung der natürlichen Klimaschwankungen.</p> <p>Klimabeeinflussung aufgrund natürlicher Faktoren und der anthropogenen Aerosole (insbesondere indirekte Wirkungen).</p> <p>Verknüpfung von regionalen Trends mit der menschverursachten Klimaänderung.</p>
<p>Die CO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind im 21. Jahrhundert praktisch sicher hauptsächlich aufgrund der Emission aus fossilen Brennstoffen angestiegen (Abb. SPM-10a).</p> <p>Voraussetzung für die Stabilisierung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration bei 450, 650 bzw. 1000 ppm wäre die Senkung der globalen anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen unter das Niveau von 1990 innerhalb weniger Jahrzehnte, eines Jahrhunderts bzw. etwa zweier Jahrhunderte und danach ein stetiger Rückgang auf einen Bruchteil der derzeitigen Emissionen. Die Emissionen würden in 1 bis 2 Jahrzehnten (450 ppm) bzw. ungefähr 100 Jahren (1000 ppm) ihr höchstes Niveau erreichen.</p> <p>In den meisten SRES-Szenarien sind die SO<sub>2</sub>-Emissionen (Vorläufer für Sulfat-Aerosole) im Jahr 2100 tiefer als im Jahr 2000.</p>	<p><b>Zukünftige Emissionen und Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen, basierend auf Modellen und Projektionen SRES- und Stabilisations-Szenarien</b></p>	<p>Dem breiten Streubereich<sup>b</sup> der den SRES-Emissionen zugrundeliegende Annahmen, die mit dem Wirtschaftswachstum, dem technologischen Fortschritt, dem Bevölkerungswachstum und den Regierungsstrukturen verbunden sind (führen zu den grössten Unsicherheiten in den Projektionen). Unzureichende Emissionsszenarien für Ozon- und Aerosol-Vorläufersubstanzen.</p> <p>Faktoren bei der Modellierung des Kohlenstoffkreislaufs inklusive den Auswirkungen von Klimarückkopplungen<sup>b</sup>.</p>
<p>Die mittlere globale Erdoberflächentemperatur steigt im 21. Jahrhundert mit Raten, die für die letzten 10'000 Jahre sehr wahrscheinlich beispiellos sind (Abb. SPM-10b).</p> <p>Fast alle Landmassen werden sich stärker als der globale Durchschnitt erwärmen, mit mehr heissen Tagen und Hitzewellen sowie weniger kalten Tagen und Kältewellen.</p> <p>Anstieg des Meeresspiegels im 21. Jahrhundert, der in den folgenden Jahrhunderten weitergehen wird.</p> <p>Intensivierung des hydrologischen Kreislaufes. Anstieg der mittleren globalen Niederschläge und sehr wahrscheinlich mehr intensive Niederschlagsereignisse über vielen Gebieten. (Fortsetzung &gt;&gt;&gt;)</p>	<p><b>Zukünftige Änderungen des globalen und regionalen Klimas, basierend auf Modellprojektionen mit den SRES-Szenarien</b></p>	<p>Verlässlichkeit von lokalen und regionalen Details in den Projektionen der Klimaänderung, insbesondere von Klimaextremen.</p> <p>Einschätzung und Vorhersage der Reaktion von ökologischen, sozialen (z.B. Auswirkung von vektor- und wasserübertragenen Krankheiten) und ökonomischen Systemen auf die kombinierten Effekte der Klimaänderung und andere Beeinträchtigungen wie Landnutzungsänderung, lokale Verschmutzung etc.</p> <p>Identifikation, Quantifizierung und Bewertung von von mit der Klimaänderung verbundenen Schäden.</p>

**Tabelle SPM-3: Stabile Ergebnisse und Hauptunsicherheiten<sup>a</sup> – Fortsetzung**

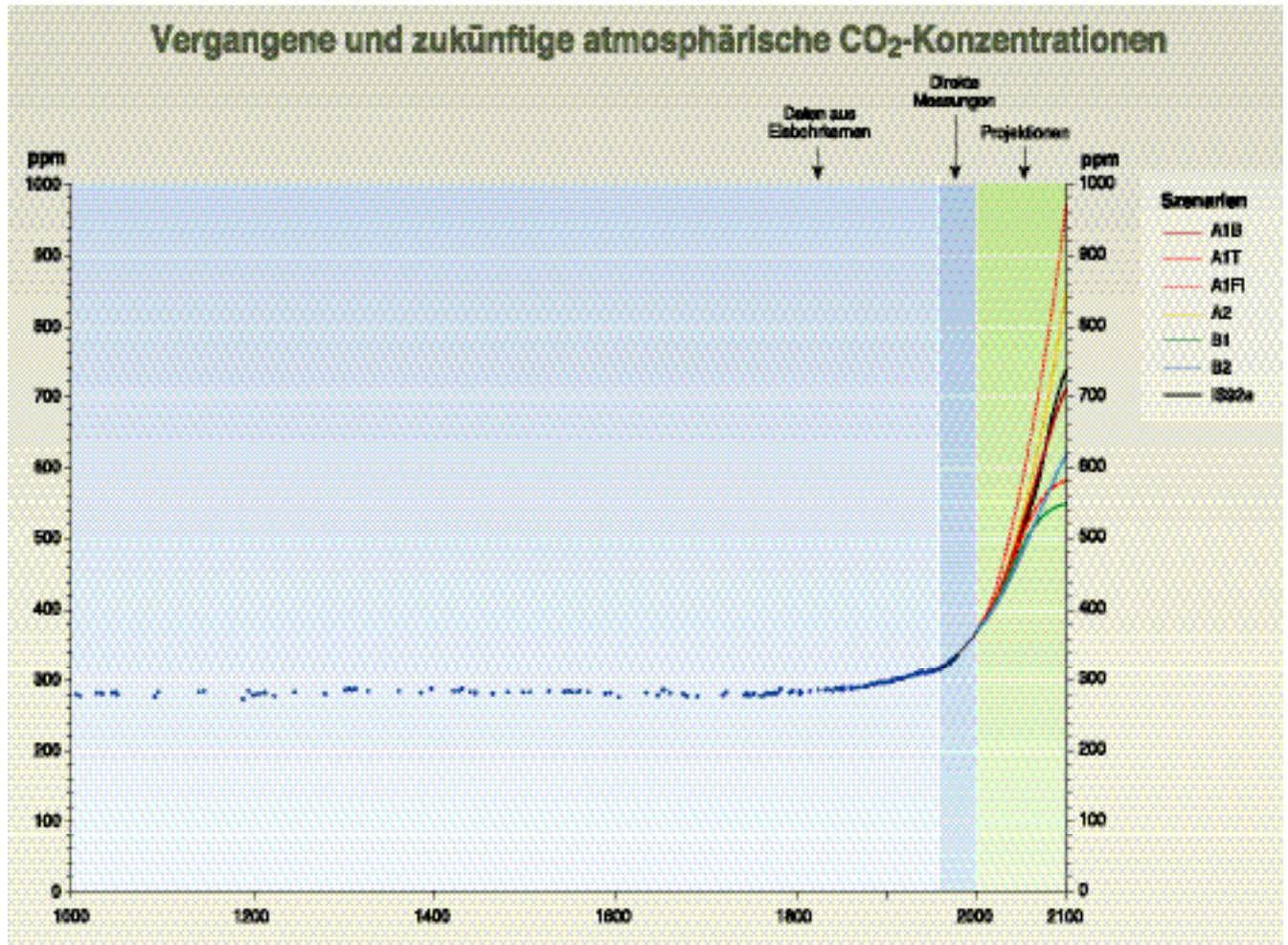
Stabile Ergebnisse		Hauptunsicherheiten
<p>Viele physikalische Systeme sind anfällig für Klimaänderungen (z.B. werden die Auswirkungen der Sturmfluten in Küstengebieten durch den Meeresspiegelanstieg verschlimmert, und Gletscher und Permafrost werden weiterhin zurückgehen).</p>		
<p>Massnahmen zur Reduktion der Treibhausgasemissionen (Verminderung) würde den Druck der Klimaänderung auf natürliche und gesellschaftliche Systeme vermindern.</p> <p>Verminderung verursacht Kosten, die zwischen Regionen und Sektoren variieren. Es existieren zahlreiche technologische und andere Möglichkeiten für die Senkung dieser Kosten. Auch effizienter Emissionshandel vermindert diese Kosten für die am Handel Beteiligten.</p> <p>Emissionseinschränkungen für Annex-I-Länder haben gut bekannte, wenn auch unterschiedliche "Spill-over"-Effekte auf Nicht-Annex-I-Länder.</p> <p>Nationale Verminderungsreaktionen auf die Klimaänderung können wirksamer sein, wenn sie als Portfolio von Strategien zur Begrenzung oder Reduktion der Netto-Emission von Treibhausgasen eingesetzt werden.</p> <p>Anpassungen haben das Potenzial, die nachteiligen Auswirkungen der Klimaänderung zu vermindern, und können häufig unmittelbare Zusatznutzen hervorbringen, werden aber nicht alle Schäden verhindern.</p> <p>Anpassungen können die Verminderung in einer kostengünstigen Strategie zur Reduktion der Klimarisiken ergänzen; gemeinsam können sie zu den Zielen der nachhaltigen Entwicklung beitragen.</p> <p>Die Trägheit in den wechselwirkenden Klima-, Öko- und Gesellschaftssystemen ist ein Hauptgrund, weshalb vorausschauende Anpassungs- und Verminderungsmassnahmen nützlich sind.</p>	<p><b>Kosten und Nutzen von Verminderungs- und Anpassungsoptionen</b></p>	<p>Das Verständnis der Wechselwirkungen zwischen der Klimaänderung und anderen Umweltproblemen und den damit verbundenen gesellschaftlichen Auswirkungen.</p> <p>Der zukünftige Energiepreis und die Kosten für die Verfügbarkeit von Niedrigemissions-Technologien.</p> <p>Die Identifikation von Mitteln zum Abbau von die den Einsatz von Niedrigemissions-Technologien behindern, sowie die Abschätzung der Kosten für die Überwindung von solchen Barrieren.</p> <p>Die Quantifizierung von Kosten nicht geplanter und unerwarteter Verminderungsmassnahmen mit überraschenden kurzfristigen Effekten.</p> <p>Die Quantifizierung von Abschätzungen für Verminderungskosten mit unterschiedlichen Ansätzen (z.B. Bottom-up versus Top-down), inklusive Zusatznutzen, technologischen Änderungen und Auswirkungen auf Sektoren und Regionen.</p> <p>Die Quantifizierung von Anpassungskosten.</p>

<sup>a</sup> In diesem Bericht ist ein *stabiles Ergebnis* zur Klimaänderung definiert als ein Ergebnis, das unter einer Vielfalt von Vorgehensweisen, Methoden, Modellen und Annahmen beständig ist und von dem man erwartet, dass es durch Unsicherheiten kaum beeinträchtigt wird. *Hauptunsicherheiten* sind in diesem Zusammenhang solche, die, falls reduziert, zu neuen und stabilen Ergebnissen in Bezug auf die Fragen in diesem Bericht führen können. Die Tabelle enthält Beispiele und ist nicht eine vollständige Liste.

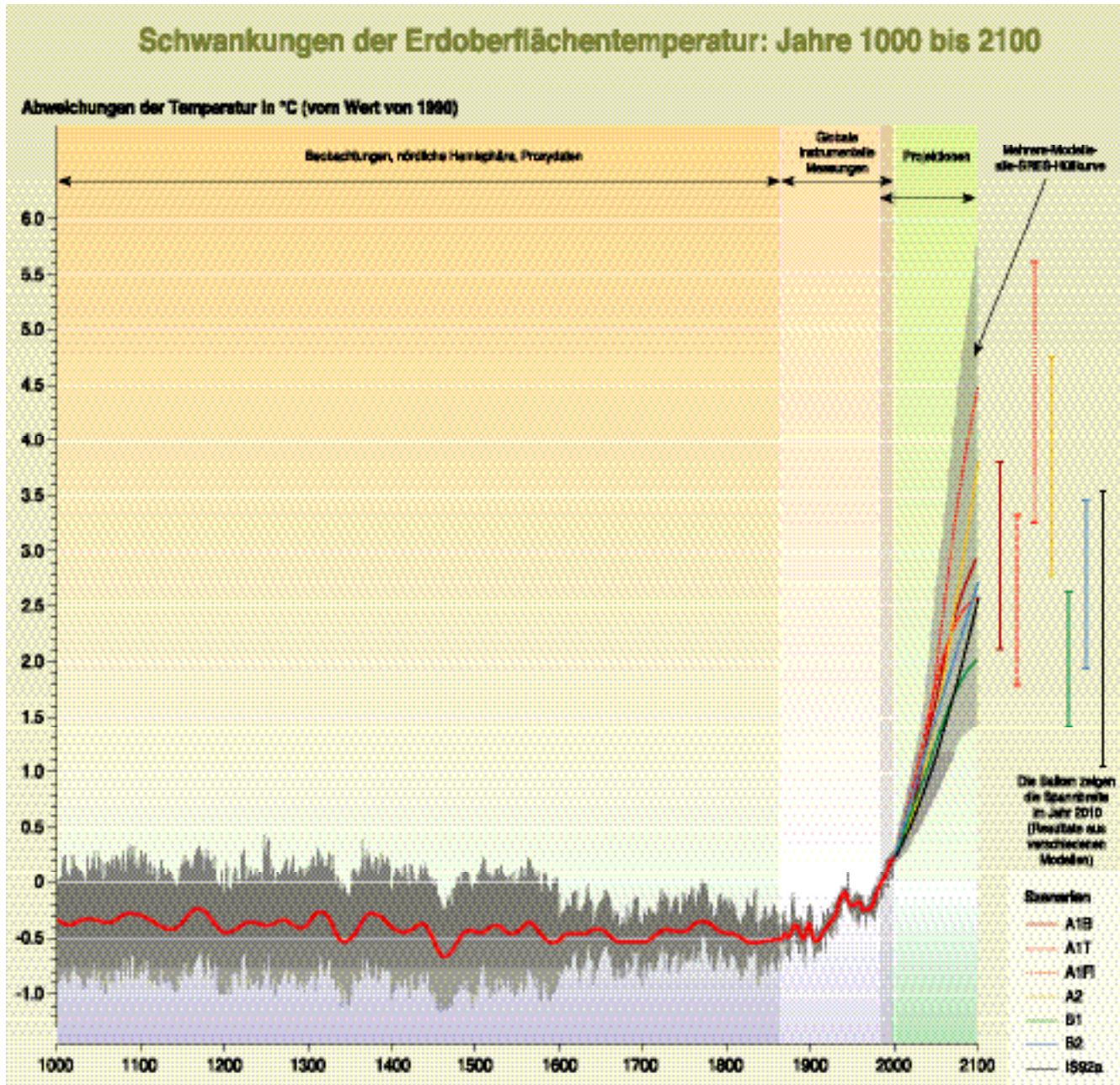
<sup>b</sup> Die Berücksichtigung der oben aufgeführten Unsicherheiten führt zu einer Variationsbreite der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen im Jahr 2100 zwischen 490 und 1260 ppm.

<sup>c</sup> Die Berücksichtigung der genannten Unsicherheiten führt zu einer Variationsbreite des Anstiegs der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur von 1990 – 2100 von 1.4 bis 5.8°C (Abb. SPM-10b) und des mittleren globalen Anstiegs des Meeresspiegels von 0.09 bis 0.88 m.





**Abbildung SPM-10a:** Die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration vom Jahr 1000 bis zum Jahr 2000 aus Eisbohrkerndaten und aus direkten atmosphärischen Messungen der letzten paar Jahrzehnte. Projektionen der CO<sub>2</sub>-Konzentration für die Periode 2000 bis 2100 basieren auf den 6 illustrativen SRES-Szenarien und IS92a (als Vergleich mit dem SAR).



**Abbildung 10b: Schwankungen der Erdoberflächentemperatur: Die Jahre von 1000 bis 2100.** Vom Jahr 1000 bis zum Jahr 1860 werden die Schwankungen der mittleren Erdoberflächentemperatur der Nordhemisphäre gezeigt (entsprechende Daten aus der Südhemisphäre fehlen), die aus Proxydaten (Baumringe, Korallen, Eisbohrkerne und historische Aufzeichnungen) rekonstruiert worden sind. Die Linie zeigt das 50-Jahr-Mittel, der graue Bereich das 95%-Vertrauensintervall der jährlichen Daten. Für die Jahre 1860 bis 2000 sind die Schwankungen der global und jährlich gemittelten Oberflächentemperaturen aus den Instrumentenmessungen dargestellt; die Linie zeigt das 10-Jahres-Mittel. Die Projektionen für die Jahre 2000 bis 2100 der global gemittelten Erdoberflächentemperatur werden für die 6 illustrativen SRES-Szenarien und IS92a gezeigt, basierend auf einem Modell mit mittlerer Klimasensitivität. Die mit "mehrere-Modelle-alle-SRES-Hüllkurve" bezeichnete graue Region zeigt den Streubereich der Resultate aus der ganzen Palette der 35 SRES-Szenarien inklusive demjenigen der verschiedenen Modelle mit unterschiedlicher Klimasensitivität. Die Temperaturskala geht vom Wert aus dem Jahr 1990 aus; die Skala ist von derjenigen in Abbildung SPM-2 verschieden.