

Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger

## **Klimawandel 2001: Die wissenschaftliche Basis**

Anerkannt durch die IPCC Arbeitsgruppe I in Shanghai, 17. bis 20. Januar 2001

Der dritte Bericht der Arbeitsgruppe I des Zwischenstaatlichen Ausschusses über Klimaänderungen (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) baut auf früheren Berichten auf und schließt neue Forschungsergebnisse der letzten fünf Jahre ein<sup>1</sup>. Viele hundert Wissenschaftler<sup>2</sup> verschiedener Länder waren an Entwurf und Überprüfung beteiligt.

Diese Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (*SPM*), die im Januar 2001 in Shanghai von IPCC-Mitgliedstaaten<sup>3</sup> anerkannt wurde, zeigt den aktuellen Kenntnisstand bezüglich des Klimasystems auf und liefert Prognosen über mögliche zukünftige Entwicklungen und deren Unsicherheitsfaktoren. Weitere Einzelheiten können der Langfassung entnommen werden (Quellenangaben enthalten Querverweise zu den Kapiteln der Langfassung).

## **Eine wachsende Zahl wissenschaftlicher Beobachtungen ergibt das Gesamtbild einer sich erwärmenden Welt und anderer Klimaveränderungen**

Seit Erscheinen des zweiten IPCC-Berichts (*Second Assessment Report*)<sup>4</sup> haben zusätzliche Daten neuer Studien (zum aktuellen und früheren Klima), verbesserte Datenanalysen, eine strengere Überprüfung sowie Vergleiche von Daten unterschiedlicher Quellen zu einem besseren Verständnis von Klimaveränderungen geführt.

### **Die mittlere globale Oberflächentemperatur ist im 20. Jahrhundert um ungefähr 0,6°C gestiegen**

- Die mittlere globale Oberflächentemperatur (durchschnittliche Lufttemperatur über Land- und Wasseroberfläche) ist seit 1861 gestiegen. Im 20. Jahrhundert lag der Anstieg bei  $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ <sup>5,6</sup> (Grafik 1a). Dieser Wert liegt ungefähr  $0,15^{\circ}\text{C}$  höher als der im SAR geschätzte Wert für die Zeit bis 1994. Dies ist auf die recht hohen Temperaturen der Jahre zwischen 1995 und 2000 sowie auf verbesserte Auswertungsmethoden zurückzuführen. Diese Zahlen berücksichtigen diverse Anpassungen, wie z.B. die Auswirkungen städtischer Wärmeinseln. Die Aufzeichnung zeigt zahlreiche Schwankungen: So fand z.B. die Erwärmung vor allem im 20. Jahrhundert statt - in zwei Zeiträumen: 1910 bis 1945 und 1976 bis 2000.
- Insgesamt ist es *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass innerhalb des durch Messungen erfassten Zeitraums die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts das wärmste Jahrzehnt und 1998 das wärmste Jahr seit 1861 waren.

<sup>1</sup> *Klimaänderungen* (im Sinne der IPCC-Nutzung) bezieht sich auf jegliche Klimaänderungen, die sich mit der Zeit ergeben haben - seien sie auf natürliche Schwankungen oder menschliche Aktivitäten zurückzuführen. Dieser Wortgebrauch unterscheidet sich von jenem im *Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen*. Hier bezieht sich der Begriff *Klimaänderung* auf Veränderungen des Klimas, die direkt oder indirekt auf (die Zusammensetzung der Atmosphäre verändernde) menschliche Aktivitäten zurückgehen. In diesem Zusammenhang sind diese Veränderungen additiv zu den natürlichen Klimaschwankungen in einem Vergleichszeitraum zu sehen.

<sup>2</sup> Insgesamt 122 koordinierende Autoren und Hauptautoren, 516 beitragende Autoren, 21 Lektoren und 337 Fachlektoren.

<sup>3</sup> Delegationen von 99 IPCC-Mitgliedsländern nahmen an der achten Tagung der Arbeitsgruppe I in Shanghai vom 17. bis 20. Januar 2001 teil.

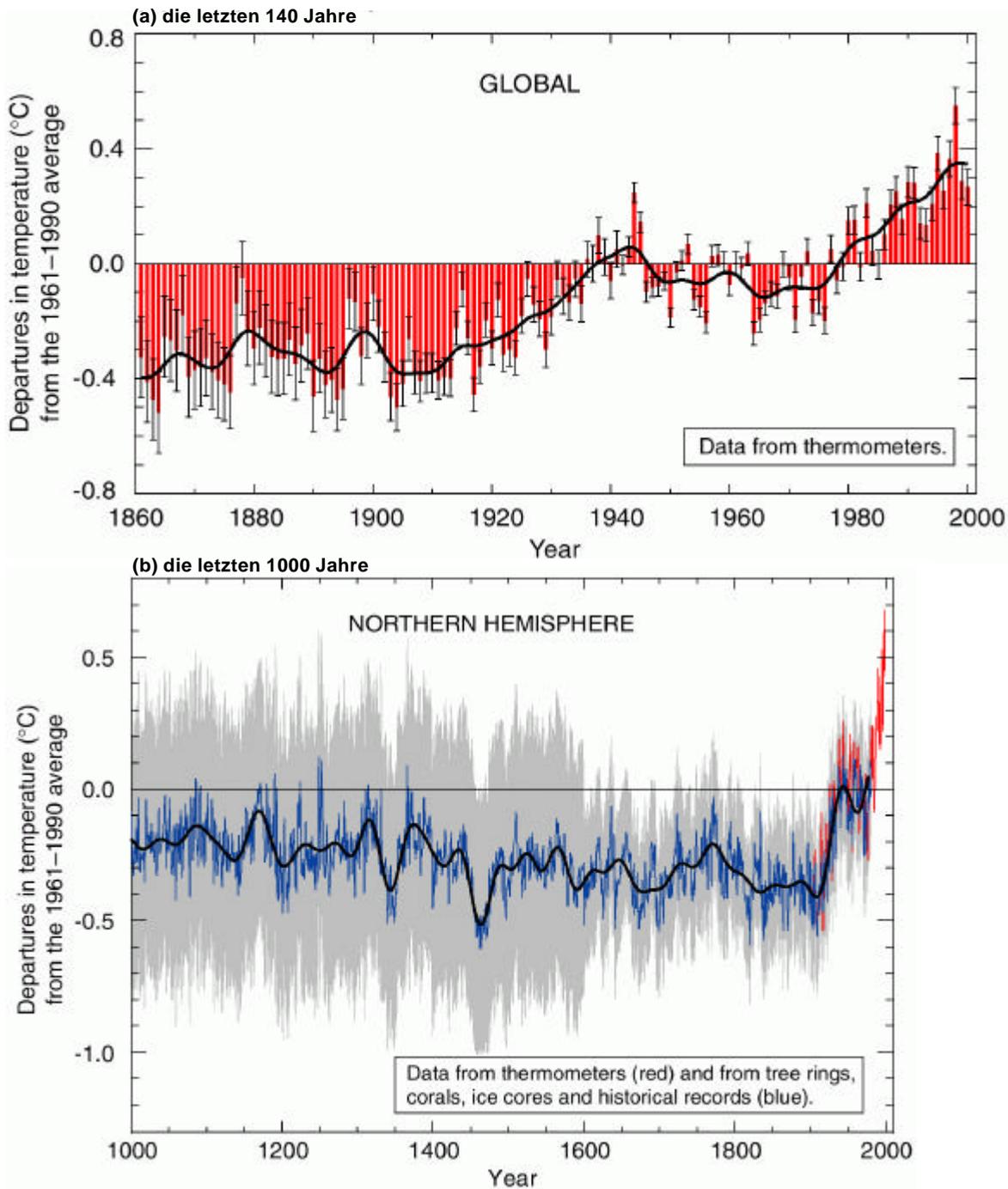
<sup>4</sup> Der zweite IPCC-Bericht wird in dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger als *SAR* bezeichnet

<sup>5</sup> Im Allgemeinen werden durchschnittliche Temperaturentwicklungen zur nächsten  $0,05^{\circ}\text{C}$  pro Zeiteinheit gerundet, wobei die Zeiträume oft durch die Datenverfügbarkeit eingeschränkt sind.

<sup>6</sup> Im Allgemeinen wird ein statistisches Signifikanzniveau von 5% benutzt und ein Vertrauensniveau von 95%

<sup>7</sup> In dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger und in der *Technischen Zusammenfassung* wurden die folgenden Wörter zur Angabe von Aussagewahrscheinlichkeiten benutzt: *praktisch sicher* (mehr als 99% sicher, dass ein Ergebnis stimmt); *sehr wahrscheinlich* (90% bis 99% sicher); *wahrscheinlich* (66% bis 90% sicher); *mittlere Wahrscheinlichkeit* (33% bis 66% sicher); *unwahrscheinlich* (10% bis 33% sicher), *sehr unwahrscheinlich* (1% bis 10% sicher); *ausgesprochen unsicher* (weniger als 1% sicher). Mehr Einzelheiten hierzu in den verschiedenen Kapiteln.

**Grafik 1: Variation der Oberflächentemperatur der Erde über:**



**Grafik 1: Die Variation der Oberflächentemperatur der Erde über (a) die letzten 140 Jahre und (b) die letzten 1000 Jahre**

(a) Die Oberflächentemperatur der Erde wird Jahr für Jahr (rote Balken) und annäherungsweise Dekade für Dekade dargestellt (schwarze Linie: eine gefilterte Jahreskurve, die Fluktuationen unterhalb der Größenordnung von annähernd dekadischen Zeiträumen unterdrückt). Es gibt Unsicherheiten in den jährlichen Daten (die dünnen schwarzen Balken stellen den 95%-Konfidenzbereich dar), verursacht durch Datenlücken, zufällige Instrumentenfehler, Unsicherheiten bei der Korrektur von Daten der ozeanischen Oberflächentemperatur und der Temperatur über Landflächen (Anpassungen an die Urbanisierung). Sowohl über die letzten 140 Jahre als auch über die letzten 1000 Jahre besagt die beste Schätzung, dass die globale durchschnittliche Oberflächentemperatur um  $0,6^{\circ}\text{C} \pm 0,2^{\circ}\text{C}$  gestiegen ist. (b) Zusätzlich wurde die Variation der Jahreswerte (blaue Kurve) und des 50-Jahres-Durchschnitts (schwarze Kurve) der durchschnittlichen Oberflächentemperaturen der nördlichen Hemisphäre für die letzten 1000 Jahre aus Proxy-Daten rekonstruiert, die gegen Thermometerdaten kalibriert wurden (s. die Liste der wichtigsten Proxy-Daten im Diagramm). Der 95%-Konfidenzbereich der Jahreswerte wird durch den grauen Bereich dargestellt. Diese Unsicherheiten wachsen mit zunehmendem Abstand von der Gegenwart und sind infolge der Verwendung relativ karger Proxy-Daten immer sehr viel größer als bei den Instrumentenaufzeichnungen. Nichtsdestoweniger ist die Rate und die Dauer der Erwärmung des 20. Jahrhunderts sehr viel größer als in irgendeinem der vorangehenden neun Jahrhunderte. In ähnlicher Weise ist es *wahrscheinlich*, dass die 1990er Jahre das wärmste Jahrzehnt, 1998 das wärmste Jahr des Millenniums war. [Basiert auf (a) Kapitel 2, Grafik 2.7c und (b) Kapitel 2, Grafik 2.20]

- Neue Analysen von Proxy-Daten<sup>8</sup> für die nördliche Hemisphäre weisen darauf hin, dass der Temperaturanstieg im 20. Jahrhundert *wahrscheinlich*<sup>7</sup> der stärkste in einem Jahrhundert der letzten tausend Jahre war. Es ist auch *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass in der nördlichen Hemisphäre die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts das wärmste Jahrzehnt und 1998 das wärmste Jahr der letzten tausend Jahre waren (Grafik 1b). Weil weniger Daten zur Verfügung stehen, ist über die Jahresdurchschnittstemperaturen von vor mehr als tausend Jahren - wie über die auf der Südhemisphäre vorherrschenden Bedingungen vor 1861 - weniger bekannt.
- Zwischen 1950 und 1993 stiegen die nächtlichen Tiefsttemperaturen in der Luft über Land um durchschnittlich 0,2°C pro Jahrzehnt an. Dieser Anstieg ist etwa doppelt so hoch wie der Anstieg der Höchsttemperaturen der Luft am Tage (0,1°C pro Jahrzehnt). Das hat die frostfreie Periode in vielen Regionen mittlerer und höherer Breiten verlängert. Der Anstieg der Meeresoberflächentemperatur über diesen Zeitraum entspricht ungefähr der Hälfte des mittleren Landoberflächentemperaturanstiegs (Luft).

### **Die Temperaturen sind in den letzten vier Jahrzehnten in den unteren acht Kilometern der Atmosphäre gestiegen**

- Seit den späten 50er Jahren des 20. Jahrhunderts (von da an waren adäquate Messungen durch Wetterballons möglich) steigt die durchschnittliche globale Temperatur in den unteren acht Kilometern der Atmosphäre - ebenso wie die durchschnittliche globale Oberflächentemperatur - um 0,1°C pro Jahrzehnt.
- Seit Beginn der Satellitenmessungen 1979 zeigen sowohl Satelliten- als auch Wetterballonmessungen, dass sich die globale Durchschnittstemperatur in den unteren acht Kilometern der Atmosphäre um  $+0,05^{\circ}\text{C} \pm 0,10^{\circ}\text{C}$  pro Jahrzehnt verändert hat. Die globale Oberflächendurchschnittstemperatur zeigt einen signifikanten Anstieg um  $0,15^{\circ}\text{C} \pm 0,05^{\circ}\text{C}$ . Der Unterschied in der Erwärmungsrate ist statistisch signifikant. Er ist vor allem in den Tropen und Subtropen zu verzeichnen.
- Die unteren acht Kilometer der Atmosphäre und die Oberfläche werden von Faktoren (z.B. stratosphärische Ozonverminderung, atmosphärische Aerosole, El Niño-Phänomen) beeinflusst. Folglich ist es unter physikalischen Gesichtspunkten gut möglich, dass es über eine kurze Zeit (z.B. 20 Jahre) Unterschiede in den Temperaturentwicklungen geben könnte. Zusätzlich kann ein Teil der Unterschiede durch die bei der räumlichen Zuordnung verwendeten Methoden erklärt werden; vollständig sind diese Unterschiede jedoch noch nicht geklärt.

### **Schneebedeckung und Eisausdehnung sind zurückgegangen**

- Satellitendaten ergeben, dass die von Schnee bedeckte Fläche *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup> seit den späten 60er Jahren des 20. Jahrhunderts um 10% zurückgegangen ist. Bodengestützte Beobachtungen zeigen, dass die Dauer der jährlichen Eisbedeckung von Seen und Flüssen im Verlauf des 20. Jahrhunderts in den mittleren und höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup> um rund zwei Wochen abgenommen hat.
- In nichtpolaren Regionen ist im Verlauf des 20. Jahrhunderts ein weit verbreitetes Zurückweichen der Berggletscher zu verzeichnen.
- In der nördlichen Hemisphäre ist die Ausdehnung vom Frühjahr- und Sommermeereis seit den 50er

<sup>8</sup> Daten verschiedener Quellen, aus denen man näherungsweise und indirekt auf die Zahlenwerte meteorologischer u.a. Größen in der Vergangenheit schließen kann.

Jahren des 20. Jahrhunderts um etwa 10% bis 15% zurückgegangen. Es ist *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass die Dicke der Eisschicht in der Arktis vom Spätsommer bis Frühherbst in den letzten Jahrzehnten um 40% abgenommen hat; im Winter ist der Rückgang des arktischen Meereises deutlich geringer.

**Die durchschnittliche Höhe des Meeresspiegels ist weltweit gestiegen und der Wärmegehalt der Ozeane hat zugenommen**

- Gezeitenmessungen ergeben, dass die weltweite durchschnittliche Höhe des Meeresspiegels im 20. Jahrhundert zwischen 0,1 und 0,2 Metern gestiegen ist.
- Der globale Wärmegehalt der Ozeane ist seit den späten 50er Jahren des 20. Jahrhunderts - dem Zeitraum, für den entsprechende Beobachtungen der Ozeantemperaturen unterhalb der Oberfläche vorliegen - angestiegen.

**Veränderungen haben sich auch bezüglich anderer wichtiger Klimaaspekte vollzogen**

- Auf den Kontinenten der mittleren und höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre haben Niederschläge mit jedem Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup> um 0,5% bis 1% zugenommen. Es ist *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass über den tropischen Landmassen (10°N bis 10°S) Regenfälle um 0,2% bis 0,3% (pro Dekade) zugenommen haben - während der letzten Jahrzehnte sind die Anstiege in den Tropen nicht evident. Es ist auch *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass Regenfälle über einem Großteil der subtropischen Landmassen der nördlichen Hemisphäre (10°N bis 30°N) im 20. Jahrhundert um rund 0,3% pro Jahrzehnt abgenommen haben. Im Gegensatz zur nördlichen Hemisphäre sind in der südlichen Hemisphäre keine vergleichbaren systematischen Veränderungen von Mittelwerten über mehrere Breitengrade festgestellt worden. Niederschlagsentwicklungen über den Ozeanen können aufgrund mangelnder Daten nicht ermittelt werden.
- In den mittleren und höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre ist *wahrscheinlich*<sup>7</sup> die Häufigkeit heftiger Niederschläge in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts um 2% bis 4% angestiegen. Die Zunahme heftiger Niederschläge kann zahlreiche Ursachen haben, z.B. Veränderungen im Feuchtegehalt der Luft oder in der Aktivität von Wirbelstürmen / großskaligen Stürmen.
- Über den Landflächen mittlerer und höherer Breiten hat die Wolkendeckung *wahrscheinlich*<sup>7</sup> um 2% zugenommen. In den meisten Gebieten besteht ein Zusammenhang zwischen dieser Entwicklung und der beobachteten Abnahme der täglichen Temperaturschwankungen.
- Seit 1950 ist die Häufigkeit extrem niedriger Temperaturen *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup> zurückgegangen, mit einer geringeren Zunahme der Häufigkeit extrem hoher Temperaturen.
- Seit den 70er Jahren des 20. Jahrhunderts sind Wärmeperioden, die auf das El Niño-Phänomen zurückgehen (El Niño-Southern-Oscillation - ENSO; das Phänomen wirkt sich beständig auf regionale Variationen in Niederschlag und Temperatur in großen Teilen der Tropen, Subtropen und einigen Gebieten mittlerer Breiten aus), häufiger, anhaltender und intensiver geworden (verglichen mit den vorangegangenen 100 Jahren).
- Über das 20. Jahrhundert (1900 bis 1995) gab es weltweit nur einen relativ geringen Zuwachs an Landflächen, die von schweren Dürren oder Überschwemmungen betroffen waren. In vielen Regionen werden diese Veränderungen von Klimaschwankungen dominiert, die auf Zeitskalen von einem bis mehreren Jahrzehnten verlaufen - wie z.B. die Verschiebung beim ENSO-Phänomen hin zu einer größeren Zahl von warmen Ereignissen.

- In einigen Regionen, wie in Teilen von Asien und Afrika, ist in den letzten Jahrzehnten eine Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Dürren zu beobachten.

### ***Einige wichtige klimatische Aspekte haben anscheinend keine Veränderung erfahren***

- Einige wenige Gebiete der Erde haben sich in den letzten Jahrzehnten nicht erwärmt, hauptsächlich einige Gebiete der Ozeane auf der südlichen Hemisphäre und Teile der Antarktis.
- Seit 1978, dem Zeitraum verlässlicher Satellitenmessungen, haben sich bezüglich des antarktischen Meereises keine nennenswerten Veränderungen ergeben.
- Globale Veränderungen in der Stärke und Häufigkeit tropischer und außertropischer Stürme hängen mit Klimaschwankungen zusammen, die auf der Zeitskala von Jahren bis einigen Jahrzehnten ablaufen, wobei sich im 20. Jahrhundert keine nennenswerten Entwicklungen nachweisen lassen. Widersprüchliche Analysen stehen abschließenden Schlussfolgerungen bezüglich Veränderungen der Sturmtätigkeit - insbesondere in den außertropischen Gebieten - entgegen.
- Keine systematischen Veränderungen in der Häufigkeit von Tornados, Gewittertagen oder Hagelereignissen wurden in den begrenzten Untersuchungsgebieten festgestellt.

### **Menschliche Aktivitäten verändern die Atmosphäre durch die Emission von Treibhausgasen und Aerosolen weiterhin dergestalt, dass sie das Klima beeinflussen**

Klimaveränderungen ergeben sich zum einen infolge von internen Schwankungen im Klimasystem selbst, zum anderen durch externe Faktoren (natürliche und vom Menschen verursachte). Die Einflüsse verschiedener externer Faktoren auf das Klima können durch das Konzept des Strahlungsantriebs<sup>9</sup> miteinander verglichen werden. Ein positiver Strahlungsantrieb wie der, der durch eine zunehmende Treibhausgaskonzentration entsteht, führt tendenziell zu einer Erwärmung der Oberfläche. Ein negativer Strahlungsantrieb, der durch die Zunahme bestimmter Aerosole (mikroskopische Partikel in der Luft) hervorgerufen werden kann, kühlt tendenziell die Oberfläche ab. Natürliche Faktoren, wie veränderte Sonnenaktivität oder Vulkanausbrüche, können ebenfalls einen Strahlungsantrieb hervorrufen. Um zu einem Verständnis vergangener Klimaveränderungen im Kontext natürlicher Schwankungen zu gelangen und um die möglichen Klimaveränderungen der Zukunft hochrechnen zu können, müssen diese klimabestimmenden Einflüsse und die Veränderungen, die sie im Verlauf der Zeit durchmachen, beschrieben werden. Grafik 3 zeigt den aktuell angenommenen Strahlungsantrieb, der sich aus einer erhöhten Konzentration bestimmter atmosphärischer Bestandteile und anderer Mechanismen ergibt.

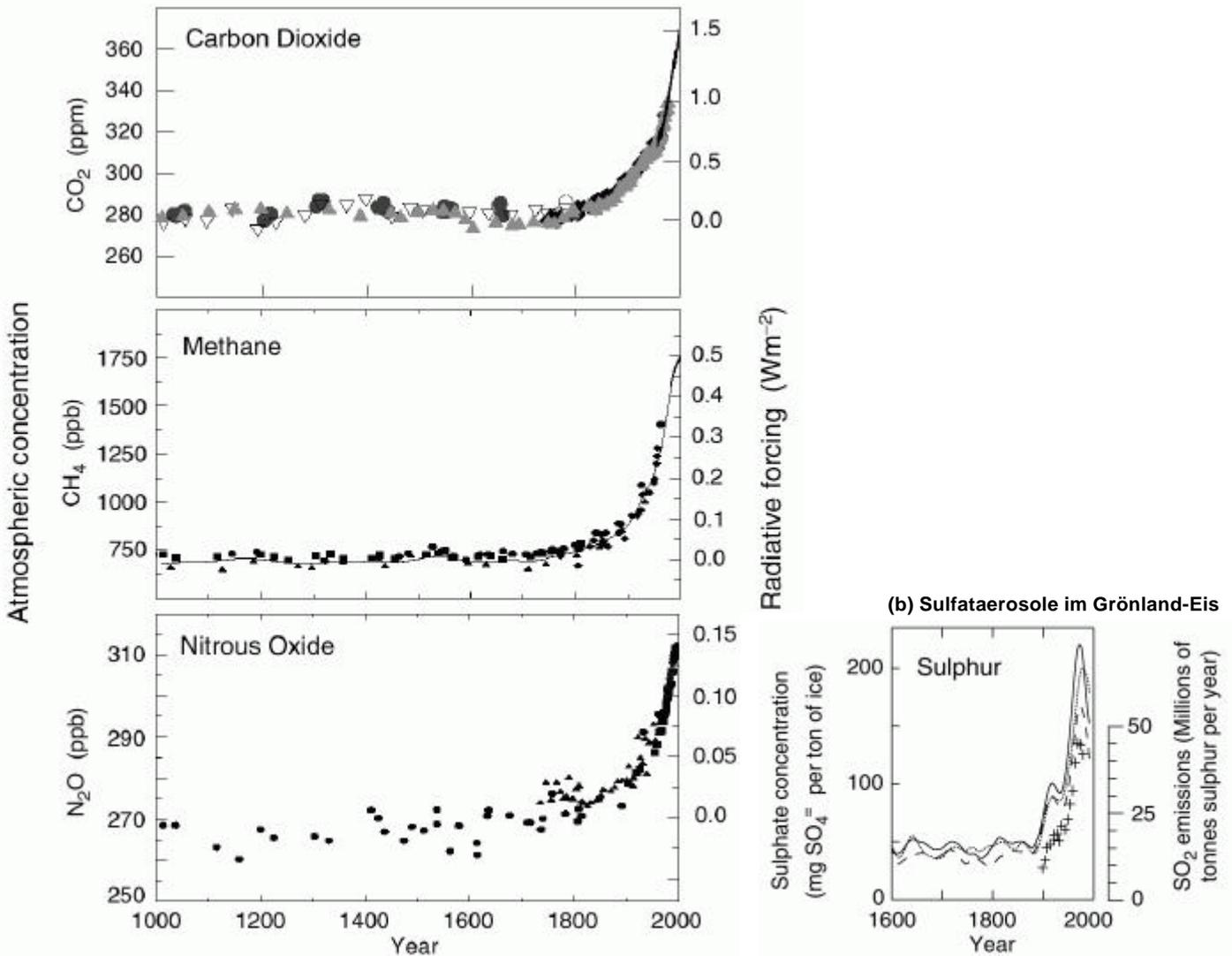
### ***Die Konzentrationen von Treibhausgasen in der Atmosphäre und ihr Strahlungsantrieb sind infolge menschlicher Aktivitäten fortlaufend angestiegen***

- Die Konzentration von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) in der Atmosphäre ist seit 1750 um 31% gestiegen. Der gegenwärtige CO<sub>2</sub>-Gehalt wurde in den vergangenen 420.000 Jahren nicht überschritten und *wahrscheinlich*<sup>7</sup> auch nicht in den vergangenen 20 Millionen Jahren. Die aktuelle Zuwachsrate ist in den vergangenen 20.000 Jahren nie erreicht worden.

<sup>9</sup> Der *Strahlungsantrieb* ist eine Größe, die angibt, welchen Einfluss ein Faktor auf das Gleichgewicht einfallender und ausstrahlender Energie innerhalb des Systems aus Atmosphäre und Erde ausübt. Außerdem ist es ein Indikator, der die Bedeutung eines Faktors als potentieller Klimaveränderungsmechanismus anzeigt. Er wird in Watt pro Quadratmeter (Wm<sup>2</sup>) angegeben

**Grafik 2: Indikatoren menschlichen Einflusses im Industriezeitalter**

(a) Globale atmosphärische Konzentrationen von drei gleichmäßig verteilten Treibhausgasen



**Grafik 2: Daten zu Veränderungen der Atmosphärenzusammensetzung über lange Zeiträume bilden den Kontext für die Bestimmung des Einflusses anthropogener Emissionen**

(a) zeigt die Veränderung der atmosphärischen Konzentration von Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>), und Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) im Verlauf der letzten 1000 Jahre. Die Eiskern- und Firndaten verschiedener Messstellen in der Antarktis und in Grönland (durch unterschiedliche Symbole dargestellt) werden ergänzt durch Daten aus direkten atmosphärischen Proben vergangener Dekaden (dargestellt bei CO<sub>2</sub> durch die Linie und bei CH<sub>4</sub> in die Kurve einbezogen, die den globalen Durchschnitt für CH<sub>4</sub> zeigt). Der geschätzte positive Strahlungsantrieb auf das Klimasystem durch diese Gase wird auf der Skala am rechten Diagrammrand dargestellt. Da die atmosphärische Lebensdauer dieser Gase eine Dekade oder mehr beträgt, sind sie gleichmäßig verteilt; ihre Konzentrationswerte reflektieren Emissionen von Quellen weltweit. Alle drei Datensätze zeigen Auswirkungen der umfangreichen und wachsenden Zunahme anthropogener Emissionen im Industriezeitalter. (b) illustriert die Einflüsse industrieller Emissionen auf die atmosphärischen Sulfatkonzentrationen, welche einen negativen Strahlungsantrieb hervorrufen. Gezeigt wird der zeitliche Verlauf der Konzentration von Sulfat - nicht in der Atmosphäre, sondern in Eiskernen aus Grönland (dargestellt durch Linien, wobei die episodischen Auswirkungen von Vulkanausbrüchen getilgt wurden). Solche Daten zeigen die lokale Ablagerung von Sulfataerosolen am Messort an und spiegeln Emissionen von Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) in mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre wider. Zwar sind diese Aufzeichnungen stärker regional begrenzt als die Messwerte der global verteilten Treibhausgase, dennoch demonstrieren sie die umfangreiche Zunahme anthropogener SO<sub>2</sub>-Emissionen im Industriezeitalter. Die Pluszeichen stellen die relevanten geschätzten Werte für die regionalen SO<sub>2</sub>-Emissionen dar (Skala am rechten Diagrammrand). [Basiert auf (a) Kapitel 3, Grafik 3.2b (CO<sub>2</sub>); Kapitel 4, Grafik 4.1a und b (CH<sub>4</sub>) und Kapitel 4, Grafik 4.2 (N<sub>2</sub>O) und (b) Kapitel 5, Grafik 5.4a.]

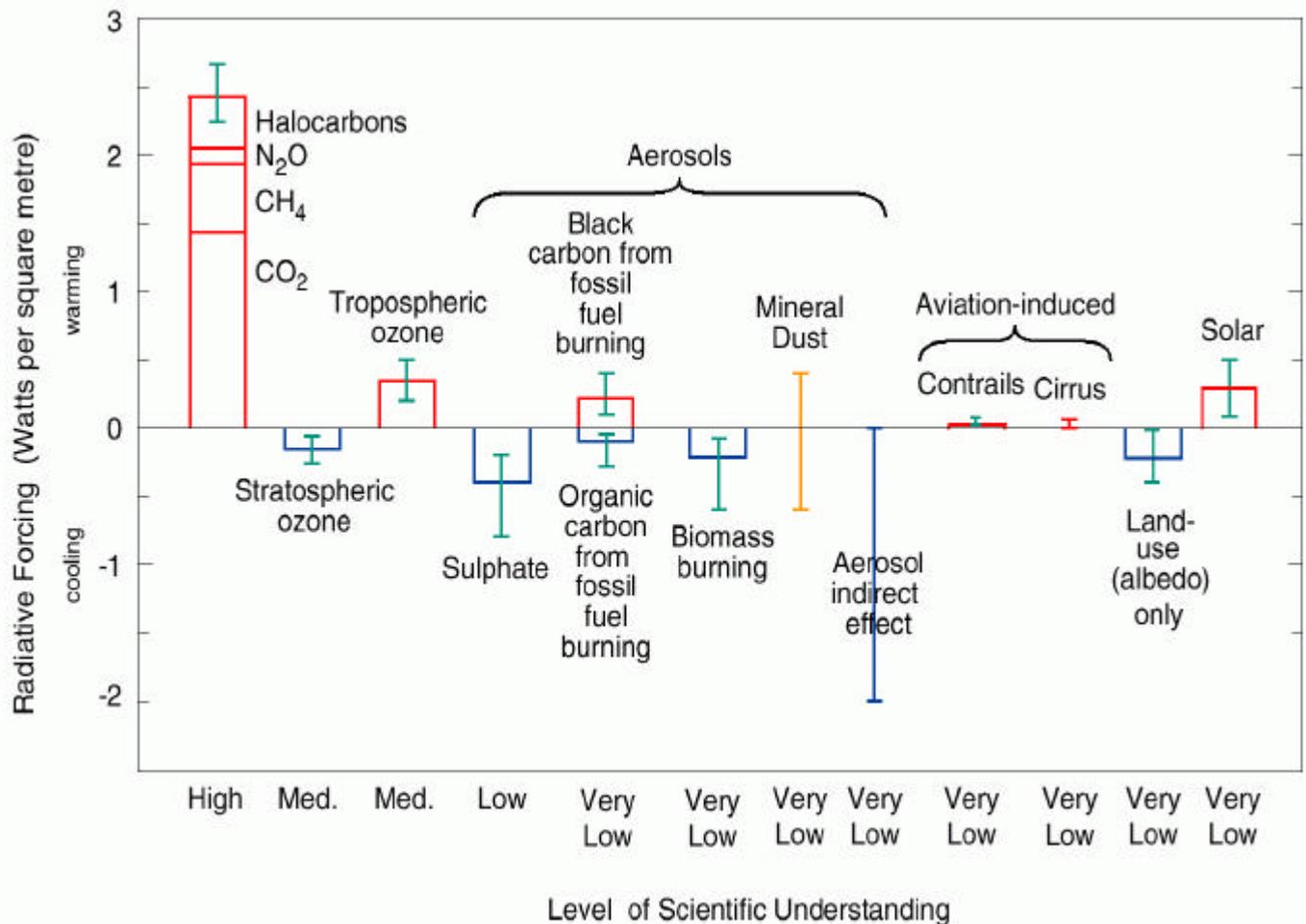
- Ungefähr drei Viertel der CO<sub>2</sub>-Emissionen, die in den vergangenen 20 Jahren durch menschliche Aktivitäten in die Atmosphäre gelangten, gehen auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe zurück. Der Rest ist hauptsächlich auf Landnutzungsänderungen, insbesondere auf das Abholzen von Wäldern zurückzuführen.

- Aktuell nehmen Ozeane und Landmassen zusammen ungefähr die Hälfte der vom Menschen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Über Land lag die Aufnahme anthropogenen CO<sub>2</sub> *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup> über der Abgabe von CO<sub>2</sub> durch die Abholzungen während der 90er Jahre des 20. Jahrhunderts.
- Die Zuwachsrate der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre lag in den letzten beiden Jahrzehnten bei ungefähr 1,5 ppm<sup>10</sup> (0,4%). In den 90er Jahren des 20. Jahrhunderts betrug der von Jahr zu Jahr zu verzeichnende Zuwachs zwischen 0,9 ppm (0,2%) und 2,8 ppm (0,8%). Ein großer Teil dieser Schwankungen wird durch Auswirkungen natürlicher Klimaschwankungen (z.B. El Niño-Ereignisse) auf die Kohlendioxidaufnahme und -abgabe durch Landmassen und Ozeane verursacht.
- Die atmosphärische Konzentration von Methan (CH<sub>4</sub>) ist seit 1750 um 1060 ppb (151%) gestiegen und erhöht sich weiterhin. Die jetzige Methankonzentration wurde in den vergangenen 420.000 Jahren nicht überschritten. Verglichen mit den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts verlangsamte sich der jährliche Zuwachs der Methankonzentration in den 90er Jahren und unterlag größeren Schwankungen. Etwas mehr als die Hälfte der jetzigen Methanemissionen sind vom Menschen verursacht (z.B. der Gebrauch fossiler Brennstoffe, intensive Rinderhaltung, Reisanbau und Mülldeponien). In der letzten Zeit wurden außerdem Emissionen von Kohlenmonoxid (CO) als Ursache der wachsenden Methankonzentration identifiziert.
- Die Konzentration von Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) in der Atmosphäre ist seit 1750 um 46 ppb (17%) gestiegen und erhöht sich weiterhin. Die aktuelle N<sub>2</sub>O-Konzentration wurde in den letzten tausend Jahren nicht überschritten. Ungefähr ein Drittel der heutigen N<sub>2</sub>O-Emissionen gehen auf menschliche Aktivitäten zurück (z.B. Ackerbau, Viehhaltung und chemische Industrie).
- Seit 1995 ist die atmosphärische Konzentration vieler halogener Kohlenwasserstoffe, die Ozon (O<sub>3</sub>) abbauen und gleichzeitig Treibhausgase sind (z.B. CFCl<sub>3</sub> und CF<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub>), entweder langsamer angestiegen oder zurückgegangen, was auf die Emissionssenkungen auf der Grundlage des Montreal Protokolls und seiner Zusätze zurückgeht. Ihre Ersatzstoffe (z.B. CHF<sub>2</sub>Cl und CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F) und einige andere synthetische Verbindungen (z.B. perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKWs) und Schwefelhexafluorid (SF<sub>6</sub>) sind ebenfalls Treibhausgase - ihre Konzentrationen steigen aktuell.
- Der durch den Anstieg gleichmäßig verteilter Treibhausgase zwischen 1750 und 2000 entstandene Strahlungsantrieb wird auf 2.43 Wm<sup>-2</sup> geschätzt: 1.46 Wm<sup>-2</sup> durch CO<sub>2</sub>; 0.48 Wm<sup>-2</sup> durch CH<sub>4</sub>; 0.34 Wm<sup>-2</sup> durch halogenierte Kohlenwasserstoffe und 0.15 Wm<sup>-2</sup> durch N<sub>2</sub>O. (s. Grafik 3, wo auch Unsicherheiten dargestellt sind.)
- Der beobachtete Abbau der stratosphärischen Ozonschicht hat zwischen 1979 und 2000 vermutlich einen negativen Strahlungsantrieb verursacht (-0.15 Wm<sup>-2</sup>). Werden die jetzigen Vereinbarungen bezüglich halogener Kohlenwasserstoffe voll eingehalten, wird der positive Antrieb der halogenierten Kohlenwasserstoffe zurückgehen. In dem Maße, in dem sich die Ozonschicht im Verlauf des 21. Jahrhunderts erholt, wird auch der Grad des negativen Antriebs zurückgehen, der durch den Abbau stratosphärischen Ozons entsteht.

<sup>10</sup> ppm (parts per million) oder ppb (parts per billion, 1 billion = 1,000 million) bezeichnet das Verhältnis von Treibhausgasmolekülen zur Gesamtzahl der Moleküle in trockener Luft. Beispiel: 300 ppm heißt 300 Moleküle eines Treibhausgases pro 1 Million Moleküle trockener Luft

- Es ist anzunehmen, dass die Gesamtmenge an O<sub>3</sub> in der Troposphäre seit 1750 um 36% gestiegen ist, hauptsächlich durch anthropogene Emissionen von diversen ozonbildenden Gasen. Dies entspricht einem positiven Strahlungsantrieb von 0.35 Wm<sup>2</sup>. Der Antrieb von Ozon variiert räumlich beträchtlich und reagiert sehr viel schneller auf Emissionsveränderungen als die langlebigen Treibhausgase wie CO<sub>2</sub>.

**Grafik 3: Der mittlere globale Strahlungsantrieb auf das Klimasystem für das Jahr 2000 (bezogen auf 1750)**



**Grafik 3: Viele externe Faktoren bewirken Klimaänderungen**

Diese Strahlungsantriebe werden durch Änderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre, durch Veränderungen der Oberflächenreflexion infolge von Landnutzung und durch Variationen bei der Sonnenaktivität bewirkt. Außer bei der solaren Variation ist jeder dieser Faktoren mit menschlichen Aktivitäten verknüpft. Die rechteckigen Balken stellen Schätzungen der Beiträge dieser Einflüsse dar – einige haben Erwärmung zum Ergebnis, andere Abkühlung. Einflüsse, die auf episodische vulkanische Ereignisse zurückzuführen sind und zu einem negativen Antrieb von lediglich einigen Jahren Dauer führen, werden nicht dargestellt. Der dargestellte indirekte Effekt von Aerosolen besteht in ihrem Einfluss auf die Größe und Anzahl von Wolkentropfen. Ein zweiter indirekter Effekt von Aerosolen auf Wolken (ihre Auswirkungen auf die Lebensdauer der Wolken), der ebenfalls zu einem negativen Antrieb führt, wird nicht dargestellt. Die Auswirkungen der Luftfahrt auf Treibhausgase sind in den einzelnen Balken berücksichtigt. Die vertikalen Linien bei den rechteckigen Balken zeigen eine Bandbreite der Schätzungen, die auf der Streuung der veröffentlichten Werte für die Faktoren und des physikalischen Verständnisses beruht. Für einige der Faktoren ist die Sicherheit sehr viel größer als für andere. Vertikale Linien ohne rechteckige Balken stehen für Faktoren, für die aufgrund großer Unsicherheiten keine guten Schätzungen gegeben werden können. Das Gesamtverständnis der einzelnen Faktoren variiert beträchtlich. Einige der positiven Strahlungsantriebsursachen sind gleichmäßig verteilt, wie zum Beispiel CO<sub>2</sub>, wodurch sie die *globale* Wärmebalance stören. Andere stellen aufgrund ihrer räumlichen Verteilung Störungen mit stärker regionalen Signalen dar, wie zum Beispiel Aerosole. Aus diesem Grund – und auch aus anderen Gründen – kann nicht erwartet werden, dass eine einfache Summe aus den positiven und negativen Balken das Nettoergebnis der Wirkung auf das Klimasystem ergibt. Simulationen (s. z.B. Grafik 5) weisen darauf hin, dass der geschätzte Nettoeffekt dieser Störungen in einer Erwärmung des globalen Klimas seit 1750 besteht. [Basiert auf Kapitel 6, Grafik 6.6]

***Anthropogene Aerosole sind kurzlebig und haben meist einen negativen Strahlungsantrieb***

- Die Hauptquellen anthropogener Aerosole sind fossile Brennstoffe und die Verbrennung von Biomasse. Diese Quellen stehen auch in Zusammenhang mit der Verschlechterung der Luftqualität und saurem Regen.
- Seit dem SAR wurden bedeutende Fortschritte in der Beschreibung des direkten Strahlungsantriebes verschiedener Aerosole erzielt. Der direkte Strahlungsantrieb wird auf  $-0.4 \text{ Wm}^{-2}$  bei Sulfaten geschätzt, auf  $-0.2 \text{ Wm}^{-2}$  bei Aerosolen, die bei der Verbrennung von Biomasse entstehen, auf  $-0.1 \text{ Wm}^{-2}$  bei organischem Kohlenstoff, der bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht, und auf  $+0.2 \text{ Wm}^{-2}$  bei Ruß, der ebenso bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entsteht. Der direkte Effekt der Gesamtheit aller Aerosole und seine zeitliche Entwicklung lässt sich mit sehr viel weniger Sicherheit quantifizieren als jener der oben aufgeführten Gase. Aerosole unterliegen außerdem starken regionalen Schwankungen und reagieren schnell auf Emissionsveränderungen.
- Aerosole haben neben einem direkten Strahlungsantrieb einen indirekten Effekt durch ihre Wirkung auf Wolken. Es gibt jetzt mehr Indizien für diesen indirekten negativen Effekt, wenngleich dessen Größe noch sehr unsicher ist.

***Natürliche Faktoren haben im vergangenen Jahrhundert wenig zum Strahlungsantrieb beigetragen***

- Der durch Änderungen der Sonnenaktivität verursachte Strahlungsantrieb wird für den Zeitraum ab 1750 bei ungefähr  $+0.3 \text{ Wm}^{-2}$  angesiedelt, wobei diese Änderungen hauptsächlich in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts stattfanden. Seit den späten 70er Jahren des 20. Jahrhunderts haben Satellitenmessungen kleine Schwankungen beobachtet, die auf den Elftjahreszyklus der Sonne zurückgehen. Verschiedene Mechanismen wurden vorgeschlagen, die eine Verstärkung des solaren Effekts erklären können, aber diese sind derzeit zu wenig durch eine fundierte theoretische Grundlage und Beobachtungen abgesichert.
- Durch Vulkanausbrüche freigesetzte stratosphärische Aerosole haben zu einem negativen Antrieb geführt. Einige große Vulkanausbrüche fanden zwischen 1880 und 1920 und zwischen 1960 und 1991 statt.
- Die Summe der Änderungen im Strahlungsantrieb der beiden wesentlichen natürlichen Faktoren (Schwankungen der Sonnenaktivität und vulkanische Aerosole) wird für die letzten zwei - möglicherweise die letzten vier - Jahrzehnte negativ geschätzt.

**Das Vertrauen in die Vorhersagen des zukünftigen Klimas durch Klimamodelle ist gewachsen**

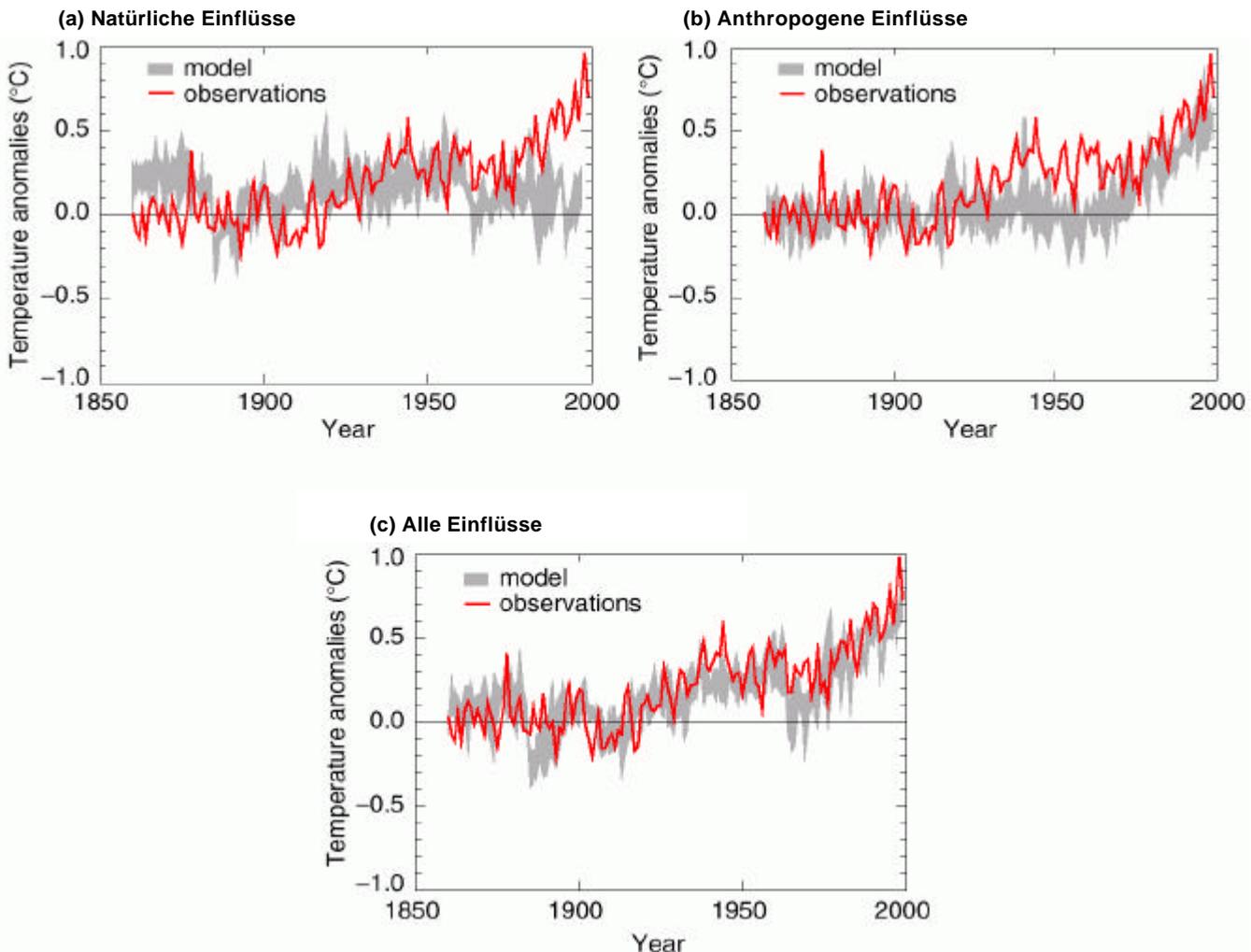
Komplexe physikalische Klimamodelle werden benötigt um Rückkopplungen und regionale Merkmale genau abschätzen zu können. Solche Modelle können noch nicht alle Aspekte des Klimas simulieren (z.B. können sie noch nicht die seit 1979 beobachtete Entwicklung bezüglich des Temperaturunterschieds zwischen Oberfläche und Troposphäre vollständig aufzeigen). Besondere Unsicherheiten bestehen im Hinblick auf die Interaktionen von Wolken mit Strahlung und Aerosolen. Da sich die Leistungsfähigkeit dieser Modelle über eine Bandbreite räumlicher und zeitlicher Skalen erwiesen hat, ist dennoch das Vertrauen in ihre Fähigkeit, brauchbare Vorhersagen des zukünftigen Klimas zu liefern, gewachsen.

- Das Verständnis von Klimaprozessen und deren Einbeziehung in Klimamodelle hat sich verbessert, auch hinsichtlich der Einbeziehung von Wasserdampf, Meereisdynamik und des Wärmetransports in Ozeanen.
- Einige neue Modelle liefern zufriedenstellende Simulationen des aktuellen Klimas ohne nichtphysikalische Korrekturen der Wärme- und Wasserflüsse an der Grenzschicht zwischen Ozean und Atmosphäre, wie sie in früheren Modellen benutzt wurden.
- Simulationen, die Schätzungen des natürlichen und anthropogenen Antriebs einschließen, reproduzieren die über das 20. Jahrhundert beobachteten großskaligen Änderungen der Oberflächentemperatur (s. Grafik 4). Einige zusätzliche Prozesse und Antriebe sind jedoch möglicherweise nicht in die Modelle eingeflossen. Trotzdem kann die großskalige Übereinstimmung zwischen Modellen und Beobachtungen eine unabhängige Überprüfung der projizierten Erwärmungsraten über die kommenden Jahrzehnte bei einem gegebenen Szenario sicherstellen.
- Folgende Aspekte der Modellsimulation haben sich verbessert: El Niño-Phänomen, Monsun, Nordatlantische Oszillation, Klima ausgewählter Zeitspannen der Vergangenheit.

**Es gibt neue und stärkere Indizien dafür, dass die über die letzten 50 Jahre zu verzeichnende Erwärmung hauptsächlich auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist**

Der SAR kam zu folgendem Schluss: « Die Abwägung der Erkenntnisse legt einen erkennbaren menschlichen Einfluss auf das globale Klima nahe ». Dieser Bericht wies auch darauf hin, dass sich das vom Menschen verursachte Signal vor dem Hintergrund der natürlichen Klimavariabilität abzeichnet. Seit dem SAR sind Unsicherheiten erfolgreich verringert worden, insbesondere bezüglich der Unterscheidung und Quantifizierung des Ausmaßes von Reaktionen auf unterschiedliche externe Einflüsse. Obwohl viele der im SAR benannten Unsicherheitsquellen bis zu einem bestimmten Grade noch bestehen, stützen neue Indizien und ein verbessertes Verständnis eine aktualisierte Schlussfolgerung.

- Temperaturen können genauer und über längere Zeiträume erfasst werden; es erfolgte eine Neueinschätzung der Klimavariabilität durch neue Modelle. Derzeitigen Modellen zufolge ist es *sehr unwahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass die in den vergangenen 100 Jahren verzeichnete Erwärmung allein auf natürliche Klimaschwankungen zurückgeht. Rekonstruktionen von Klimadaten der letzten 1000 Jahre weisen auch darauf hin, dass diese Erwärmung ungewöhnlich war und dass ein rein natürlicher Ursprung *unwahrscheinlich*<sup>7</sup> ist.
- Es liegen neue Einschätzungen bezüglich der Auswirkungen des natürlichen und anthropogenen Antriebs auf das Klima vor; neue Techniken wurden angewandt um diese Auswirkungen zu erkennen. Studien, die den menschlichen Einfluss auf das Klima untersuchen, weisen übereinstimmend darauf hin, dass ein anthropogenes Signal im Klimaverlauf der letzten 30 bis 50 Jahre erkennbar ist.
- Simulationen von Klimareaktionen auf natürliche Antriebe allein (z.B. Klimareaktionen auf Sonnenaktivität und Vulkanausbrüche) erklären die Erwärmung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nicht (s. z.B. Grafik 2a). Diese Simulationen weisen allerdings darauf hin, dass der natürliche Antrieb zur beobachteten Erwärmung (in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts) beigetragen haben könnte.

**Grafik 4: Simulierte jährliche globale mittlere Oberflächentemperaturen**

**Grafik 4: Durch die Simulationen der Temperaturvariationen der Erde und durch den Vergleich der daraus hervorgehenden Ergebnisse mit tatsächlich gemessenen Veränderungen können Einsichten in die Ursachen gewonnen werden, welche den größeren Veränderungen zugrunde liegen**

Ein Klimamodell kann benutzt werden um die Temperaturänderungen zu simulieren, die durch natürliche und durch anthropogene Einflüsse verursacht werden. Die Simulationen, die durch das Band in (a) dargestellt werden, wurden ausschließlich mit natürlichen Einflüssen durchgeführt: solare Variation und Vulkanaktivität. Die Simulationen die durch das Band in (b) dargestellt werden, wurden mit anthropogenen Einflüssen durchgeführt: Treibhausgase und ein Schätzwert für Sulfataerosole; das Band in (c) zeigt Simulationen, bei denen sowohl natürliche als auch anthropogene Einflüsse berücksichtigt wurden. Aus (b) ist ersichtlich, dass die Berücksichtigung anthropogener Einflüsse eine plausible Erklärung für einen erheblichen Teil der beobachteten Temperaturänderungen im Verlauf des letzten Jahrhunderts liefert; die beste Übereinstimmung mit den beobachteten Daten ergibt sich jedoch aus (c), wenn sowohl natürliche als auch anthropogene Einflüsse berücksichtigt werden. Diese Ergebnisse zeigen, dass die einbezogenen Einflüsse zur Erklärung der beobachteten Veränderungen ausreichen; sie schließen jedoch nicht die Möglichkeit aus, dass andere Einflüsse ebenfalls zu den Veränderungen beigetragen haben. Die Bänder der hier präsentierten Modellergebnisse stehen für vier Durchläufe mit demselben Modell. Ergebnisse, die jenen in (b) ähnlich sind, werden auch von anderen Modellen mit anthropogenen Einflüssen erbracht. [Basiert auf Kapitel 12, Grafik 12.7]

- Die in den letzten 50 Jahren verzeichnete Erwärmung infolge anthropogener Treibhausgase kann nachgewiesen werden - trotz Unsicherheiten bezüglich des anthropogenen Sulfataerosols und des natürlichen Antriebs (Vulkane oder Sonnenaktivität). Der auf anthropogene Sulfataerosole zurückgehende Antrieb ist – obwohl unsicher – negativ über diesen Zeitraum und kann daher nicht für die Erwärmung verantwortlich sein. Veränderungen im natürlichen Antrieb sind in diesem Zeitraum zumeist negativ einzuschätzen; es ist *unwahrscheinlich*, dass sie Ursache der Erwärmung sind.

- Studien, die durch Modelle simulierte Veränderungen mit Beobachtungen vergleichen um so den Anteil verschiedener Antriebe an der Klimaänderung abzuschätzen, können jetzt Unsicherheiten bezüglich des Ausmaßes der simulierten Klimareaktion auf den externen Antrieb berücksichtigen - insbesondere solche, die aus den Unsicherheiten bezüglich der Sensitivität des Klimas erwachsen.
- Die meisten Studien ergeben, dass die für die letzten 50 Jahre allein aufgrund der wachsenden Treibhausgaskonzentrationen angenommene Erwärmung in Zuwachs und Ausmaß mit der beobachteten Erwärmung vergleichbar ist oder diese übertrifft. Außerdem stimmen die meisten (auf Klimamodellen basierenden) Einschätzungen, die sowohl Treibhausgase als auch Sulfataerosole einbeziehen, mit den Beobachtungen dieses Zeitraums überein.
- Die beste Übereinstimmung zwischen Modellsimulationen und Beobachtungen (über die letzten 140 Jahre) wurde erzielt, wenn alle vorangegangenen erwähnten (anthropogenen und natürlichen) Antriebe kombiniert werden (s. Grafik 4c). Diese Ergebnisse belegen, dass die einbezogenen Einflüsse ausreichen um die beobachteten Veränderungen zu erklären, schließen aber die Beteiligung anderer Einflüsse nicht aus.

Im Licht neuer Erkenntnisse und unter Berücksichtigung der verbleibenden Unsicherheiten beruht der Großteil der über die letzten 50 Jahre beobachteten Erwärmung *wahrscheinlich*<sup>7</sup> auf dem Anstieg der Treibhausgaskonzentration.

Außerdem ist es *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass die im 20. Jahrhundert aufgetretene Erwärmung signifikant zum beobachteten Anstieg des Meeresspiegels beigetragen hat: durch die thermische Ausdehnung der Ozeane und den weit verbreiteten Landeisrückgang. Unter Vorbehalt gegenwärtiger Unsicherheiten ergeben sowohl Beobachtungen als auch Klimamodelle keine wesentliche Beschleunigung des Meeresspiegelanstiegs im 20. Jahrhundert.

### **Menschliche Einflüsse werden die Zusammensetzung der Atmosphäre weiterhin verändern**

Auf der Basis von Emissionsszenarien aus dem IPCC *Special Report on Emission Scenarios (SRES)* (s. Grafik 5) wurden Modelle zur Projektion der Konzentrationen von Treibhausgasen und Aerosolen in der Atmosphäre - und damit des zukünftigen Klimas - herangezogen. Diese Szenarien wurden entwickelt um die IS92er-Szenarienserie zu aktualisieren, auf die sich der SAR bezieht. In einigen Fällen werden sie hier zum Vergleich herangezogen.

#### *Treibhausgase*

- Es ist *praktisch sicher*<sup>7</sup>, dass die bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe entstehenden CO<sub>2</sub>-Emissionen im 21. Jahrhundert den dominanten Einfluss auf die Entwicklung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ausüben werden.
- Ebenso wie die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre ansteigt, werden Ozeane und Landmassen einen sinkenden Anteil anthropogener CO<sub>2</sub>-Emissionen aufnehmen: Der Nettoeffekt von Rückkopplungen von Land und Ozean auf das Klima, wie er von Modellen angedeutet wird, bedeutet einen Anstieg projizierter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in der Atmosphäre infolge der Verringerung der CO<sub>2</sub>-Aufnahme durch Ozeane und Landmassen.
- Kohlenstoffkreislaufmodelle projizieren für 2100 CO<sub>2</sub>-Konzentrationen zwischen 540 und 970 ppm unter Verwendung der SRES-Beispielszenarien (90% bis 250% über der Konzentration von 280 ppm im Jahr 1750 (s. Grafik 5b)). Diese Projektionen schließen Rückkopplungen von Land und

Ozean auf das Klima ein. Unsicherheiten, insbesondere bezüglich des Ausmaßes der Rückkopplung der terrestrischen Biosphäre auf das Klima, verursachen eine Variation von ungefähr –10% bis +30% in jedem Szenario. Die gesamte Bandbreite liegt zwischen 490 und 1260 ppm (75% bis 350% über der Konzentration des Jahres 1750).

- Landnutzungsänderungen könnten die CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre beeinflussen. Wenn, hypothetisch, alle freigesetzten Kohlenstoffe, die auf historische Landnutzungsänderungen zurückgehen, der terrestrischen Biosphäre im Verlauf des Jahrhunderts wieder zugeführt werden könnten (z.B. durch Wiederaufforstung), würde die CO<sub>2</sub>-Konzentration um 40 bis 70 ppm verringert.
- Modellberechnungen der Konzentrationen aller Treibhausgase ohne CO<sub>2</sub> bis 2100 variieren erheblich innerhalb der SRES-Beispielszenarien: Für Methan (CH<sub>4</sub>) ergibt sich eine Veränderung von -190 bis +1970 ppb (gegenwärtige Konzentration: 1760 ppb), Distickstoffoxid (N<sub>2</sub>O) verzeichnet eine Veränderung von +38 bis +144 ppb (gegenwärtige Konzentration: 316 ppb), das gesamte troposphärische Ozon (O<sub>3</sub>) verzeichnet eine Veränderung von –12% bis +62%; eine große Bandbreite ergibt sich auch bezüglich der Veränderung der Konzentrationen von H-FCKW (teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe), FKW (perfluorierte Kohlenwasserstoffe) und SF<sub>6</sub> (Schwefelhexafluorid), alle bezogen auf das Jahr 2000. Einigen Szenarien zufolge würde das gesamte troposphärische Ozon zu einem ebenso wichtigen Strahlungsantriebsfaktor wie Methan (CH<sub>4</sub>) und würde – auf einem Großteil der nördlichen Hemisphäre – die Einhaltung von Luftreinhaltungszielen gefährden.
- Eine Verringerung der Treibhausgasemissionen und der Gase, die deren Konzentration beeinflussen, wäre zur Stabilisierung des Strahlungsantriebs nötig. Was z.B. das wichtigste anthropogene Treibhausgas betrifft, weisen Kohlenstoffkreislaufmodelle darauf hin, dass zur Stabilisierung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen bei 450, 650 oder 1000 ppm die anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen global entsprechend innerhalb einiger Jahrzehnte, bzw. innerhalb etwa eines Jahrhunderts, bzw. innerhalb etwa zweier Jahrhunderte unterhalb der Werte von 1990 fallen und danach weiterhin stetig abnehmen müssten. Auf lange Sicht müssten CO<sub>2</sub>-Emissionen auf einen sehr geringen Anteil der jetzigen Emissionen zurückgehen.

#### Aerosole

- Die SRES-Szenarien rechnen entweder mit der Möglichkeit eines Absinkens oder eines Anstiegs von anthropogenen Aerosolen (z.B. Sulfataerosole (s. Grafik 5c), Aerosole aus Biomasse, Rußaerosole und organische Kohlenstoffaerosole), abhängig vom Ausmaß der Verwendung fossiler Brennstoffe und von den politischen Maßnahmen zur Senkung umweltschädlicher Emissionen. Außerdem ist anzunehmen, dass die natürlichen Aerosole (z.B. Meersalz, Staub und Emissionen, die die Produktion von Sulfat- und Kohlenstoffaerosolen nach sich ziehen) infolge von Klimaänderungen zunehmen werden.

#### Strahlungsantrieb im 21. Jahrhundert

- Die auf das Jahr 2000 bezogenen SRES-Beispielszenarien ergeben für das 21. Jahrhundert einen weiteren Anstieg des globalen mittleren Strahlungsantriebs infolge von Treibhausgasen, wobei ein Anstieg des Kohlendioxidanteils am Strahlungsantrieb von etwas mehr als der Hälfte auf etwa zwei Drittel vorhergesagt wird. Die Veränderung des direkten und des indirekten Aerosolstrahlungsantriebs wird den Vorhersagen zufolge geringer sein als die vorhergesagte Veränderung für den CO<sub>2</sub>-Strahlungsantrieb. Alle IPCC SRES-Szenarien projizieren einen Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und des Meeresspiegels.

## Durchschnittstemperatur und Meeresspiegel steigen global in allen IPCC SRES-Szenarien

Bei den Projektionen über das zukünftige Klima schließen die Modelle sowohl bisherige als auch zukünftige Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen ein. Infolgedessen enthalten sie Schätzungen darüber, welche Erwärmung bisher von Emissionen der Vergangenheit verursacht wurde und wie viel diese zur zukünftigen Erwärmung beitragen werden.

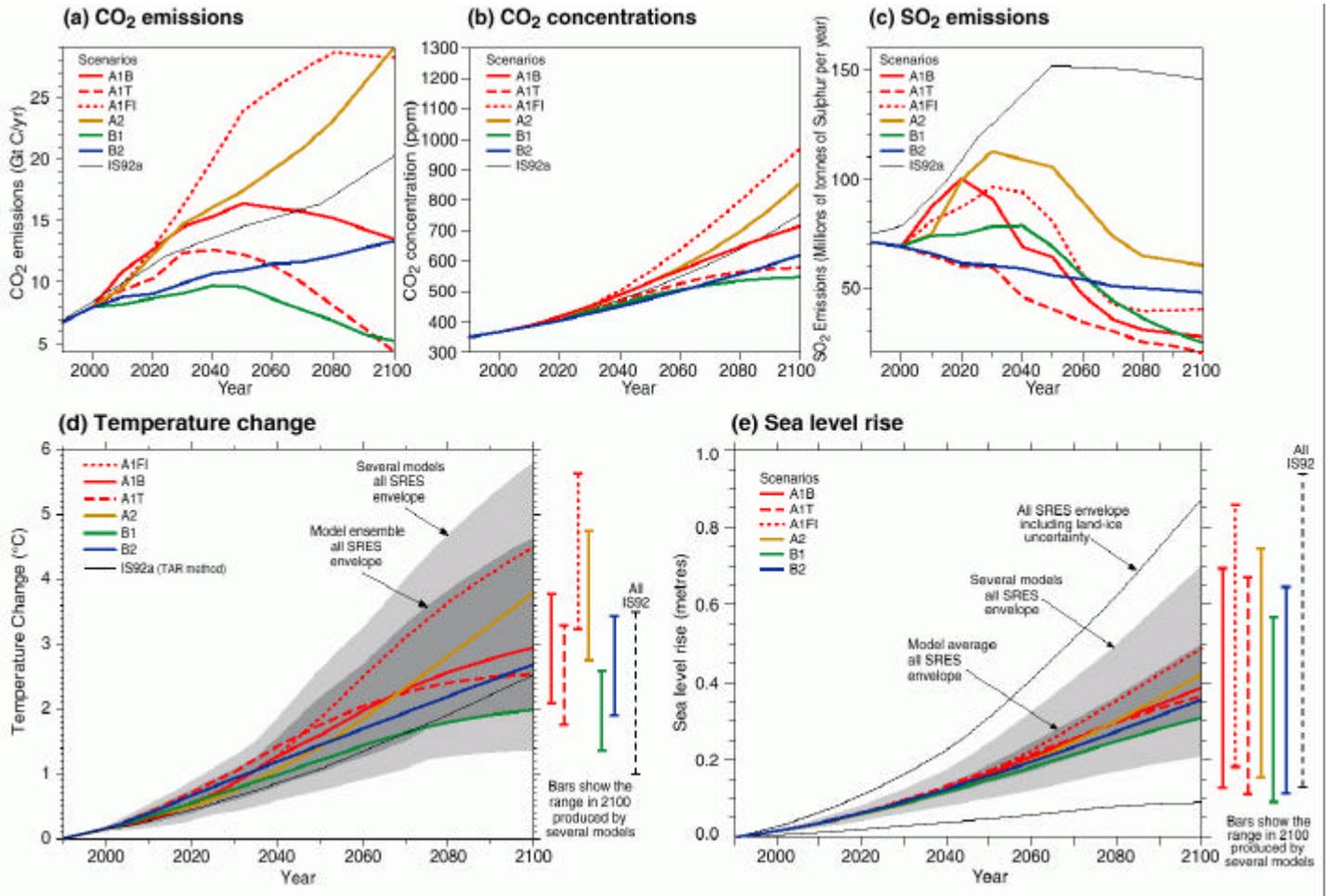
### Temperatur

- Die Modelle projizieren, dass die globale durchschnittliche Oberflächentemperatur im Zeitraum von 1990 bis 2100 zwischen 1,4°C und 5,8°C steigen wird (s. Grafik 5d). Diese Ergebnisse gelten für alle 35 SRES-Szenarien, beruhend auf einer Reihe von Klimamodellen<sup>11,12</sup>.
- Es wird projiziert, dass die Temperaturerhöhungen größer sein werden als jene im SAR: Diese betragen ungefähr 1,0°C bis 3,5°C - basierend auf den sechs IS92-Szenarien. Die höher vorhergesagten Temperaturen und der größere Wertebereich sind in erster Linie zurückzuführen auf die im Vergleich zu den IS92-Szenarien geringer projizierten Schwefeldioxidemissionen in den SRES-Szenarien.
- Die vorhergesagte Erwärmungsrate ist sehr viel größer als die beobachteten Veränderungen während des 20. Jahrhunderts, und es ist - nach paläoklimatischen Daten zu urteilen - *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass es im zurückliegenden Zeitraum von mindestens 10.000 Jahren keine Entsprechung für eine solche Erwärmungsrate gibt.
- Bis 2100 ist der Wertebereich der Oberflächentemperaturreaktion für die gesamte Gruppe von Klimamodellen, die mit einem bestimmten Szenario durchgerechnet wurden, vergleichbar mit dem Bereich eines einzelnen Modells, das mit verschiedenen SRES-Szenarien durchgerechnet wurde.
- Im Zeitraum der Größenordnung einiger Dekaden kann die gegenwärtig beobachtete Erwärmungsrate trotz der Unsicherheit in Bezug auf die Klimasensitivität dazu benutzt werden, die projizierte Reaktion auf ein bestimmtes Emissionsszenario einzuschränken. Dieser Ansatz lässt vermuten, dass nach dem Szenario IS92a die anthropogen verursachte Erwärmung in den nächsten Dekaden *wahrscheinlich*<sup>7</sup> im Bereich von 0,1°C bis 0,2°C pro Dekade liegen wird, ähnlich wie der entsprechende Bereich der Vorhersagen des in Grafik 5d verwendeten einfachen Modells.
- Auf der Grundlage von neueren globalen Modellsimulationen erscheint es als *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass sich fast alle Landflächen schneller erwärmen werden als der globale Durchschnitt. Dies gilt besonders für die Landflächen höherer nördlicher Breiten während der kalten Jahreszeit; unter diesen ist besonders die Erwärmung in den nördlichen Regionen Nordamerikas sowie Nord- und Zentralasiens hervorzuheben, welche in allen Modellen die mittlere globale Erwärmung um mehr als 40% übersteigt. Weniger als die mittlere Veränderung beträgt hingegen die Erwärmung in Süd- und Südostasien im Sommer und im südlichen Südamerika im Winter.

<sup>11</sup> Komplexe physikalisch fundierte Klimamodelle sind das hauptsächliche Werkzeug für die Projektion zukünftiger Klimaänderungen. Zur Erschließung der vollen Bandbreite von Szenarien werden diese Modelle durch einfache Klimamodelle ergänzt die so kalibriert sind, dass sie bei Temperatur- und Meeresspiegeländerungen eine äquivalente Reaktion zu den komplexen Klimamodellen erbringen. Diese Projektionen werden unter Verwendung eines einfachen Klimamodells gewonnen, bei dem Klimasensitivität und ozeanische Wärmeaufnahme mit jedem einzelnen von 7 komplexen Klimamodellen kalibriert ist. Die Klimasensitivität, die im einfachen Modell verwendet wird, liegt im Bereich von 1,7°C bis 4,2°C, was mit dem allgemein akzeptierten Bereich von 1,5°C bis 4,5°C vergleichbar ist.

<sup>12</sup> Dieser Bereich schließt Unsicherheiten in der Modellierung von Strahlungsantrieben nicht ein, z.B. Unsicherheiten im Zusammenhang mit dem Strahlungsantrieb durch Aerosole. Eine geringe Kohlenstoffkreislauf-Rückkopplung ist darin enthalten.

**Grafik 5: Das globale Klima des 21. Jahrhunderts**



**Grafik 5: Das globale Klima des 21. Jahrhunderts wird von natürlichen Veränderungen und von der Reaktion des Klimasystems auf menschliche Aktivitäten abhängen**

Klimamodelle projizieren die Reaktionen vieler Klimavariablen – wie zum Beispiel den Anstieg der globalen Oberflächentemperatur und den des Meeresspiegels – auf verschiedene Szenarien von Treibhausgas- und anderen (auf menschliche Aktivitäten zurückgehende) Emissionen. (a) zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen der sechs illustrierten SRES-Szenarien, die in dem untenstehenden Kasten zusammengefasst sind, zusammen mit IS92a für den Vergleich mit dem SAR. (b) zeigt die projizierten CO<sub>2</sub>-Konzentrationen. (c) zeigt die anthropogenen SO<sub>2</sub>-Emissionen. Emissionen anderer Gase und anderer Aerosole wurden beim Modell berücksichtigt, werden aber in der Grafik nicht gezeigt. (d) und (e) zeigen die projizierten Reaktionen der Temperatur und des Meeresspiegels. "Several Models all SRES Envelope" in (d) und (e) zeigen jeweils den Anstieg der Temperatur bzw. des Meeresspiegels für das einfache Modell, wenn dieses auf eine Anzahl von komplexen Modellen mit einer Bandbreite von Klimasensitivitäten abgestimmt wird. Alle SRES-Envelopes beziehen sich auf die vollständige Palette von 35 SRES-Szenarien. "Model Average all SRES Envelope" zeigt den Durchschnitt aus diesen Modellen für die gesamte Palette von Szenarien. Zu beachten ist, dass die Erwärmung und der Anstieg des Meeresspiegels durch diese Emissionen weit über das Jahr 2100 hinaus andauern werden. Zu beachten ist auch, dass diese Palette Unsicherheiten, die mit Veränderungen in der Eisdynamik in den westantarktischen Eismassen zu tun haben, nicht berücksichtigt; ebenfalls werden auch Unsicherheiten beim Projizieren von Nicht-Sulfataerosolen und Konzentrationen von Treibhausgasen nicht berücksichtigt. [Basiert auf (a) Kapitel 3, Grafik 3.12, (b) Kapitel 3, Grafik 3.12, (c) Kapitel 5, Grafik 5.13, (d) Kapitel 9, Grafik 9.14, (e) Kapitel 11, Grafik 11.12, Anhang II]

**Emissionsszenarien: s. Kasten auf S. 21: Die Emissionsszenarien des IPCC Special Report on Emission Scenarios, SRES**

- Viele Modelle projizieren, dass die jüngste Tendenz anhalten wird, wonach die Oberflächentemperaturen im tropischen Pazifik zunehmend mehr dem El Niño-Phänomen entsprechen – der östliche tropische Pazifik erwärmt sich stärker als der westliche (tropische) Pazifik – mit einer resultierenden Verlagerung der Niederschläge nach Osten.

**Niederschläge**

- Auf der Grundlage von globalen Modellsimulationen und für eine große Bandbreite von Szenarien wird

projiziert, dass die globale durchschnittliche Wasserdampfkonzentration und die Niederschlagsmenge im Verlauf des 21. Jahrhunderts zunehmen. Es ist *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass um die Mitte des 21. Jahrhunderts die Niederschläge über den nördlichen mittleren bis höheren Breiten sowie über der Antarktis im Winter zugenommen haben werden. In niedrigeren Breiten finden über Landflächen sowohl regionale Zunahmen als auch Abnahmen statt. Größere Variationen von Jahr zu Jahr bei den Niederschlägen sind *sehr wahrscheinlich*<sup>7</sup> über den meisten Landflächen, über denen eine Zunahme der mittleren Niederschläge projiziert wird.

*Extreme Ereignisse*

Tabelle 1 zeigt eine Abschätzung der Zuverlässigkeit von Aussagen über beobachtete Veränderungen bei extremen Wetter- und Klimaereignissen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (linke Spalte) sowie von Aussagen über projizierte Veränderungen im 21. Jahrhundert (rechte Spalte)<sup>a</sup>. Diese Bewertung stützt sich auf Beobachtungen und Modellstudien sowie auf die physikalische Plausibilität zukünftiger Projektionen aus allen allgemein gebräuchlichen Szenarien und beruht auf Einschätzungen durch Experten<sup>7</sup>.

**Tabelle 1: Abschätzung der Zuverlässigkeit von Aussagen über beobachtete und projizierte Veränderungen bei extremen Wetter- und Klimaereignissen**

Sicherheit von beobachteten Veränderungen (zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts)	Veränderungen der Erscheinungen	Sicherheit in den projizierten Erscheinungen (während des 21. Jahrhunderts)
<i>Wahrscheinlich</i> <sup>7</sup>	Höhere Höchsttemperaturen und mehr heiße Tage über nahezu allen Landflächen	<i>Sehr wahrscheinlich</i> <sup>7</sup>
<i>Sehr wahrscheinlich</i> <sup>7</sup>	Höhere Mindesttemperaturen, weniger kalte Tage / Frosttage über nahezu allen Landflächen	<i>Sehr wahrscheinlich</i> <sup>7</sup>
<i>Sehr wahrscheinlich</i> <sup>7</sup>	Reduzierte Tag- / Nachttemperaturschwankungen über den meisten Landflächen	<i>Sehr wahrscheinlich</i> <sup>7</sup>
<i>Wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , über vielen Gebieten	Zunahme des Hitzeindex <sup>13</sup> über Landflächen	<i>Sehr wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , über vielen Gebieten
<i>Wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , über vielen Landflächen der mittleren und höheren Breitengrade der Nordhemisphäre	Zunahme intensiverer Niederschläge <sup>b</sup>	<i>Sehr wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , über vielen Gebieten
<i>Wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , in einigen wenigen Gebieten	Zunahme kontinentaler Sommertrockenheit und ein damit verbundenes Dürreerisiko	<i>Wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , über den meisten mittleren Breitengraden im kontinentalen Inneren. Mangel an einheitlichen Projektionen in anderen Gebieten
Nicht beobachtet in den wenigen zur Verfügung stehenden Analysen	Zunahme der Windspitzengeschwindigkeiten tropischer Zyklone <sup>c</sup>	<i>Wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , in einigen Gebieten
Unzureichende Daten für eine Einschätzung	Zunahme der Durchschnitts- und Spitzenniederschläge tropischer Zyklone <sup>c</sup>	<i>Wahrscheinlich</i> <sup>7</sup> , in einigen Gebieten

<sup>a</sup> Weitere Details finden sich in Kapitel 2 (Beobachtungen) und Kapitel 9, 10 (Projektionen)

<sup>b</sup> Für die anderen Gebiete ist die Datenlage nicht ausreichend, oder es liegen widersprüchliche Analysen vor

<sup>c</sup> Vergangene und zukünftige Änderungen bei der geografischen Verteilung und Häufigkeit von tropischen Wirbelstürmen sind unsicher

<sup>13</sup> Hitzeindex: Eine Kombination von Temperatur und Luftfeuchte, mit der Auswirkungen auf das menschliche Wohlbefinden gemessen werden.

- Im Hinblick auf einige andere extreme Phänomene, von denen viele weitreichende Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft haben können, liegen aktuell keine ausreichenden Informationen zur Einschätzung jüngerer Trends vor; den gegenwärtigen Klimamodellen mangelt es an der räumlichen Detailliertheit, die für Projektionen mit hoher Aussagewahrscheinlichkeit benötigt werden. So werden zum Beispiel ausgesprochen kleinräumige Phänomene wie Gewitter, Tornados, Hagel und Blitzschlag in Klimamodellen nicht simuliert.

#### *El Niño*

- Die Aussagewahrscheinlichkeit bei Veränderungsprojektionen in der zukünftigen Häufigkeit, der Intensität und der räumlichen Verteilung von El Niño-Ereignissen im tropischen Pazifik wird durch einige Mängel beeinträchtigt: Diese Mängel bestehen in der Qualität, mit der El Niño in komplexen Modellen simuliert wird. Die gegenwärtigen Projektionen zeigen wenig Veränderungen, bzw. eine geringe Zunahme in der Intensität von El Niño-Ereignissen über die nächsten 100 Jahre.
- Selbst wenn nur geringe Veränderungen bei der El Niño-Intensität auftreten, ist es *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass die globale Erwärmung zu größeren Extremen von Trockenheit und schweren Regenfällen führen und die Gefahr von Dürreperioden und Überschwemmungen erhöhen wird, die im Zusammenhang mit El Niño-Ereignissen in vielen verschiedenen Regionen auftreten.

#### *Monsunregen*

- Es ist *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass die mit den zunehmenden Konzentrationen von Treibhausgasen verknüpfte Erwärmung eine Zunahme der Variabilität bei den Sommermonsunniederschlägen in Asien verursachen wird. Die Veränderungen bei der mittleren Monsundauer und -stärke hängen von den Details der Emissionsszenarien ab. Die Sicherheit solcher Projektionen wird außerdem durch die Qualität begrenzt, mit der die jeweiligen Klimamodelle die detaillierte jahreszeitliche Entwicklung der Monsunregenfälle simulieren.

#### *Thermohaline Zirkulation*

- Die meisten Modelle zeigen eine Schwächung der ozeanischen thermohalinen Zirkulation, die zu einer Verringerung des Wärmetransports in die höheren Breiten der nördlichen Hemisphäre führt. Doch sogar in Modellen, die eine Schwächung der thermohalinen Zirkulation vorhersagen, findet eine Erwärmung über Europa statt, die auf größere Mengen von Treibhausgasen zurückzuführen ist. Die gegenwärtigen Projektionen, die mit Klimamodellen arbeiten, zeigen bis zum Jahr 2100 kein vollständiges Erliegen der thermohalinen Zirkulation. Nach dem Jahr 2100 kann die thermohaline Zirkulation in beiden Hemisphären vollständig – und möglicherweise unumkehrbar – erliegen, wenn die Änderung des Strahlungsantriebs umfangreich genug ist und lange genug anhält.

#### *Schnee und Eis*

- Die Modelle projizieren, dass die Schneebedeckung und die Ausdehnung von Meereis in der nördlichen Hemisphäre weiter abnehmen werden.
- Die Modelle projizieren, dass der weithin stattfindende Rückgang von Gletschern und polaren Eismassen im 21. Jahrhundert fort dauern wird.
- Es ist *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass die Masse der antarktischen Eisdecke infolge stärkerer Niederschläge zunehmen wird. Gleichzeitig ist es *wahrscheinlich*<sup>7</sup>, dass die Masse der Eisdecke von Grönland abnehmen wird: das zunehmende Abschmelzen wird hier die Zunahme durch Niederschläge übersteigen.

- Es wurde Besorgnis über die Stabilität der westantarktischen Eisdecke geäußert, weil ihre Basis unterhalb des Meeresspiegels liegt. Es gibt aktuell jedoch eine breite Übereinstimmung darüber, dass ein deutlicher Anstieg des Meeresspiegels infolge eines Verlustes von Grundeis aus dieser Quelle im Verlauf des 21. Jahrhunderts *sehr unwahrscheinlich*<sup>7</sup> ist. Allerdings ist das Verständnis dieser Dynamik noch nicht ausreichend, vor allem für Projektionen über längere Zeiträume.

#### *Meeresspiegel*

- Die Projektionen sagen voraus, dass der globale mittlere Meeresspiegel zwischen 1990 und 2100 um 0,09 bis 0,88 Meter ansteigen wird, und zwar für die gesamte Bandbreite der SRES-Szenarien. Dies ist in erster Linie auf die thermische Ausdehnung und auf das Abschmelzen von Gletschern und Eismassen zurückzuführen (s. Grafik 5e). Der Bereich des im SAR dargelegten Meeresspiegelanstiegs lag zwischen 0,13 und 0,94 Meter (auf Grundlage der IS92-Szenarien). Trotz der höheren Werte für den Temperaturanstieg in diesem Bericht liegen die Projektionen für den Meeresspiegel geringfügig niedriger. Dies ist in erster Linie auf die Verwendung verbesserter Modelle zurückzuführen, die einen geringeren Beitrag von Gletschern und Eismassen ausweisen.

#### **Die anthropogen verursachte Klimaänderung wird viele Jahrhunderte andauern**

- Die Emissionen langlebiger Treibhausgase (also CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, PFCs, SF<sub>6</sub>,) haben lang anhaltende Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Atmosphäre, den Strahlungsantrieb und das Klima. So ist zum Beispiel noch mehrere Jahrhunderte nach einer Emission von CO<sub>2</sub> ungefähr ein Viertel des durch diese Emission verursachten Anstiegs der Konzentration in der Atmosphäre vorhanden.
- Nachdem sich die Konzentrationen von Treibhausgasen stabilisiert haben, würden die globalen durchschnittlichen Oberflächentemperaturen weiterhin mit einer Rate von nur einigen Zehntelgraden pro Jahrhundert ansteigen – im Gegensatz zu den Raten von mehreren Grad pro Jahrhundert, die für das 21. Jahrhundert projiziert werden (falls keine Stabilisierung stattfindet). Je niedriger der Pegel, bei dem die Konzentrationen stabilisiert werden, je geringer wird die Temperaturänderung insgesamt ausfallen.
- Die Modelle projizieren, dass die Zunahme der globalen mittleren Oberflächentemperatur und der Anstieg des Meeresspiegels (infolge der thermischen Ausdehnung der Ozeane) wegen der langen Zeiträume, in denen sich die Tiefsee an die Klimaänderung anpasst, noch Hunderte von Jahren nach der Stabilisierung der Treibhausgaskonzentrationen (sogar beim gegenwärtigen Niveau) andauern wird.
- Die Eismassen werden noch Tausende von Jahren, nachdem sich das Klima stabilisiert hat, auf die Klimaerwärmung reagieren und zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen. Klimamodelle deuten an, dass die lokale Erwärmung über Grönland *wahrscheinlich*<sup>7</sup> das Ein- bis Dreifache des globalen Durchschnitts betragen wird. Eisschmelzmodelle projizieren, dass eine lokale Erwärmung von mehr als 3°C, wenn sie für Jahrtausende anhielte, zu einem praktisch völligen Abschmelzen der grönländischen Eismassen führen würde, was den Meeresspiegel um ungefähr 7 Meter ansteigen ließe. Bei einer lokalen Erwärmung um 5,5°C (über 1000 Jahre) würden grönländische Eismassen *wahrscheinlich*<sup>7</sup> mit ca. 3 Metern zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen.
- Die gegenwärtigen Eisdynamikmodelle legen nahe, dass die westantarktischen Eismassen in den nächsten 1000 Jahren mit bis zu 3 Metern zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen könnten.

Solche Ergebnisse sind jedoch in hohem Maße abhängig von Modellannahmen bezüglich der Klimaänderungsszenarien, der Eisdynamik und anderer Faktoren.

### **Um die noch bestehenden Lücken im Wissen und im Verständnis zu schließen sind weitere Aktivitäten erforderlich**

Weitere Forschungen sind erforderlich um die Fähigkeit zu verbessern, Klimaänderungen aufzuspüren, ihnen Ursachen zuzuweisen und ihre Mechanismen zu verstehen. Damit können Unsicherheiten verringert und zukünftige Klimaänderungen projiziert werden. Insbesondere besteht ein Bedarf an zusätzlichen systematischen und langfristigen Beobachtungen, Modellierungen und Prozessstudien. Anlass zu ernster Besorgnis gibt der Zerfall von Beobachtungsnetzwerken. Folgende Aufgaben haben hohe Priorität:

#### 1. Systematische Beobachtung und Rekonstruktion:

- Umkehrung des Zerfalls von Beobachtungsnetzwerken in vielen Teilen der Welt
- Aufrechterhaltung und Ausweitung der Beobachtungsgrundlagen für Klimastudien durch die Bereitstellung exakter und konsistenter Daten über lange Zeiträume einschließlich der Implementierung einer Strategie für integrierte globale Beobachtung
- Verbesserung der Entwicklung von Rekonstruktionen vergangener Klimaepochen
- Verbesserung der Beobachtung der räumlichen Verteilung von Treibhausgasen und Aerosolen

#### 2. Modellierung und Prozessstudien:

- Verbesserung des Verständnisses der Mechanismen und Faktoren, die zu Veränderungen beim Strahlungsantrieb führen
- Verstehen und Charakterisieren der bedeutenden ungeklärten Prozesse und Rückkopplungen im Klimasystem – sowohl physikalischer als auch biogeochemischer Art
- Verbesserung der Methoden zur Quantifizierung von Unsicherheiten bei Klimaprojektionen und Szenarien, einschließlich langfristiger Ensemblesimulationen mit komplexen Modellen
- Verbesserte integrierte Hierarchie globaler und regionaler Klimamodelle mit besonderer Beachtung der Simulation von Klimavariabilität, regionalen Klimaänderungen und extremen Ereignissen
- Wirksamere Verknüpfung von Modellen des physikalischen Klimas und des biogeochemischen Systems; daran anschließend eine bessere Kopplung mit Beschreibungen von menschlichen Aktivitäten

Zusätzlich zu diesen Schwerpunkten gibt es Erfordernisse von großer Wichtigkeit, die sich auf eine Stärkung der internationalen Kooperation und Koordination richten - zur besseren Nutzung der Ressourcen in den Bereichen Wissenschaft, Rechenleistung und Beobachtung. Hierdurch sollte auch der Austausch von Daten zwischen Wissenschaftlern gefördert werden. Ein besonderer Bedarf besteht im Ausbau der Beobachtungs- und Forschungskapazitäten in vielen Regionen, vor allem in Entwicklungsländern. Und schließlich ist es - wie es auch Ziel des vorliegenden Berichts ist - weiterhin unumgänglich, dass Forschungsfortschritte in einer Weise kommuniziert werden, die relevant für die politische Entscheidungsfindung ist.

**Die Emissionsszenarien des IPCC *Special Report on Emission Scenarios, SRES***

**A1.** Die A1 Lebensgeschichte und Szenarienfamilie beschreibt eine zukünftige Welt, in der sehr schnelles wirtschaftliches Wachstum herrscht. Die Weltbevölkerung erreicht um die Mitte des Jahrhunderts den größten Umfang und nimmt danach wieder ab. Neue und effiziente Technologien werden in schneller Folge eingeführt. Wichtige zugrunde liegende Leitgedanken sind: Konvergenz zwischen Regionen, Aufbau von Kapazitäten und gesteigerte kulturelle und soziale Interaktionen bei einem erheblichen Rückgang regionaler Unterschiede des Pro-Kopf-Einkommens. Die A1 Szenarienfamilie verzweigt sich in drei Gruppen, die alternative Richtungen der technologischen Veränderungen im Energiesystem beschreiben. Die drei A1-Gruppen unterscheiden sich in ihrer technologischen Schwerpunktsetzung: fossil-intensiv (A1FI), nicht-fossile Energiequellen (A1T) und ein ausgewogenes Verhältnis aller Quellen (A1B) (wobei "ausgewogen" definiert ist als "nicht zu sehr auf eine bestimmte Energiequelle bauend", ausgehend von der Annahme, dass ähnliche Verbesserungsraten auf alle Energieversorgungs- und Endverbrauchstechnologien zutreffen).

**A2.** Die A2 Lebensgeschichte und Szenarienfamilie beschreibt eine sehr heterogene Welt. Zugrunde liegende Leitgedanken sind die Entwicklung aus eigener Kraft und die Bewahrung lokaler Identitäten. Die Fruchtbarkeitsmuster verschiedener Regionen konvergieren nur sehr langsam; das Ergebnis ist eine kontinuierlich wachsende Bevölkerung. Die wirtschaftliche Entwicklung ist in erster Linie regional ausgerichtet, und das Pro-Kopf-Einkommen und der technologische Wandel sind stärker fragmentiert und langsamer als bei anderen Lebensgeschichten.

**B1.** Die B1 Lebensgeschichte und Szenarienfamilie beschreibt eine konvergente Welt mit der gleichen Weltbevölkerung wie in der Lebensgeschichte A1: Um die Mitte des Jahrhunderts wird der höchste Wert der Bevölkerung erreicht, danach nimmt sie wieder ab. Der Unterschied zu A1 besteht in der Annahme eines schnellen Wandels der wirtschaftlichen Strukturen in Richtung auf eine Dienstleistungs- und Informationsökonomie, begleitet von abnehmender Materialintensität und der Einführung sauberer und ressourcenschonender Technologien. Die Betonung liegt auf globalen Lösungen für wirtschaftliche, soziale und ökologische Nachhaltigkeit, einschließlich größerer Gerechtigkeit - aber ohne zusätzliche Klimainitiativen.

**B2.** Die B2 Lebensgeschichte und Szenarienfamilie beschreibt eine Welt, in der der Schwerpunkt auf lokalen Lösungen für wirtschaftliche, soziale und ökologische Nachhaltigkeit liegt. Die Weltbevölkerung wächst kontinuierlich mit einer Rate, die niedriger ist als jene in A2, es gibt mittlere Niveaus wirtschaftlicher Entwicklung, und die technologische Entwicklung ist weniger schnell und zugleich vielgestaltiger als in den Lebensgeschichten von B1 und A1. Zwar ist auch dieses Szenario auf Umweltschutz und soziale Gerechtigkeit gerichtet, aber es fokussiert lokale und regionale Ebenen.

Für jede dieser sechs Szenariengruppen A1B, A1FI, A1T, A2, B1 und B2 wurde ein illustratives Szenario gewählt. Alle sollten als gleich gut fundiert angesehen werden.

Die *SRES*-Szenarien berücksichtigen keine zusätzlichen Klimainitiativen. Das bedeutet: es wurden keine Szenarien einbezogen, die explizit von einer Implementierung des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen (*United Nations Framework Convention on Climate Change*) oder der Emissionsziele des Kyoto-Protokolls ausgehen.

**Quellenangaben** s. *Summary for Policymakers* WG I unter [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch)