

---

## ZUSAMMENFASSUNG FÜR POLITISCHE ENTSCHEIDUNGSTRÄGER

### KLIMAÄNDERUNG 2001: WISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN

---

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

Basierend auf einem Entwurf von:

*Daniel L. Albritton, Myles R. Allen, Alfons P. M. Baede, John A. Church, Ulrich Cubasch, Dai Xiaosu, Ding Yihui, Dieter H. Ehhalt, Christopher K. Folland, Filippo Giorgi, Jonathan M. Gregory, David J. Griggs, Jim M. Haywood, Bruce Hewitson, John T. Houghton, Joanna I. House, Michael Hulme, Ivar Isaksen, Victor J. Jaramillo, Achuthan Jayaraman, Catherine A. Johnson, Fortunat Joos, Sylvie Joussaume, Thomas Karl, David J. Karoly, Haroon S. Kheshgi, Corrine Le Quéré, Kathy Maskell, Luis J. Mata, Bryant J. McAvaney, Mack McFarland, Linda O. Mearns, Gerald A. Meehl, L. Gylvan Meira-Filho, Valentin P. Meleshko, John F. B. Mitchell, Berrien Moore, Richard K. Mugara, Maria Noguer, Buruhani S. Nyenzi, Michael Oppenheimer, Joyce E. Penner, Steven Pollonais, Michael Prather, I. Colin Prentice, Venkatchala Ramaswamy, Armando Ramirez-Rojas, Sarah C. B. Raper, M. Jim Salinger, Robert J. Scholes, Susan Solomon, Thomas F. Stocker, John M. R. Stone, Ronald J. Stouffer, Kevin E. Trenberth, Ming-Xing Wang, Robert T. Watson, Kok S. Yap, John Zillman*

*mit Beiträgen von vielen Autoren und Gutachtern.*

## Einleitung

Der dritte Wissensstandsbericht (TAR) der Arbeitsgruppe I des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderung (AGI-IPCC) beruht sowohl auf den vorhergehenden Wissensstandsberichten wie auf neuen Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Klimaänderungen<sup>1</sup> der letzten fünf Jahre. Mehrere hundert WissenschaftlerInnen<sup>2</sup> aus zahlreichen Ländern beteiligten sich an der Vorbereitung und Begutachtung dieses Berichtes.

Diese Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger (SPM) wurde im Januar 2001<sup>3</sup> in Shanghai von den Regierungen der IPCC-Mitgliedstaaten genehmigt. Sie beschreibt unser gegenwärtiges Verständnis des Klimasystems und liefert eine Abschätzung seiner projizierten zukünftigen Entwicklung und deren Unsicherheiten. Weitere Einzelheiten können dem ausführlichen Bericht entnommen werden (die Quellenangaben enthalten Querverweise zu den jeweiligen Kapiteln des Berichtes).

## Eine wachsende Zahl von Beobachtungen ergibt ein kollektives Bild einer sich erwärmenden Welt und anderer Änderungen des Klimasystems.

Seit der Veröffentlichung des Zweiten Wissensstandsberichtes (SAR<sup>4</sup>) haben zusätzliche Daten aus neuen Studien des gegenwärtigen und des Paläoklimas, verbesserte Datenanalysen, die rigorosere Evaluation der Datenqualität sowie Vergleiche zwischen Daten aus unterschiedlichen Quellen zu einem besseren Verständnis der Klimaänderungen geführt.

### Die durchschnittliche globale Temperatur an der Erdoberfläche ist im Verlaufe des 20. Jahrhunderts um rund 0,6°C angestiegen.

- Die durchschnittliche globale Temperatur an der Erdoberfläche (Mittel aus der bodennahen Lufttemperatur über dem Land und der Meeresoberflächentemperatur) ist seit 1861 angestiegen. Im Verlaufe des 20. Jahrhunderts betrug dieser Anstieg  $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ <sup>5,6</sup> (Abbildung 1a). Aufgrund der relativ hohen Temperaturen der zusätzlichen Jahre (1995–2000) und verbesserter Datenverarbeitungsmethoden ist dieser Wert um rund  $0,15^\circ\text{C}$  höher, als im SAR für die Periode bis 1994 geschätzt wurde. In diesen Zahlen sind verschiedene Anpassungen mitberücksichtigt, so auch die Wirkung städtischer Wärmeinseln. Die Datenreihe ist von grossen Schwankungen geprägt; so erfolgte die Erwärmung im 20. Jahrhundert vor allem in zwei Zeiträumen, von 1910 bis 1945 sowie von 1976 bis 2000.
- Global gesehen ist es sehr wahrscheinlich<sup>7</sup>, dass die 1990er-Jahre das wärmste Jahrzehnt und 1998 das wärmste Jahr seit Beginn der Instrumentenmessungen waren, d.h. seit 1861 (siehe Abbildung 1a).
- Neue Analysen von Proxidaten für die Nordhemisphäre weisen darauf hin, dass der Temperaturanstieg im 20. Jahrhundert im Verlaufe der letzten 1000 Jahre wahrscheinlich<sup>7</sup> der stärkste innerhalb eines Jahrhunderts war. Ebenso ist es wahrscheinlich<sup>7</sup>, dass die 1990er-Jahre in der Nordhemisphäre das wärmste Jahrzehnt und 1998 das wärmste Jahr waren (siehe Abbildung 1b). Infolge beschränkter Datenverfügbarkeit ist über die Jahresmittel, die weiter als 1000 Jahre vor heute zurückreichen, und über die vor 1861 vorherrschenden Bedingungen auf einem Grossteil der Südhemisphäre weniger bekannt.
- Die täglichen Minimalwerte der nächtlichen Lufttemperatur sind über der Landoberfläche von 1950 bis 1993 im Mittel um rund  $0,2^\circ\text{C}$  pro Jahrzehnt angestiegen. Dieser Anstieg ist rund doppelt so gross wie der Anstieg der täglichen (tagsüber gemessenen) Maximalwerte der Lufttemperatur ( $0,1^\circ\text{C}$  pro Jahrzehnt). Dadurch ist die frostfreie Zeit in zahlreichen Regionen mittlerer und hoher Breiten länger geworden. Der Anstieg der Meeresoberflächentemperatur in der gleichen Periode ist ungefähr halb so gross wie derjenige der durchschnittlichen Lufttemperatur über der Landoberfläche.

<sup>1</sup> *Klimaänderung* bezieht sich im Sprachgebrauch des IPCC auf jegliche Klimaänderung im Verlauf der Zeit, sei es aufgrund natürlicher Schwankungen oder als Folge menschlicher Aktivitäten. Dieser Gebrauch unterscheidet sich von demjenigen des Rahmenübereinkommens der Vereinten Nationen über Klimaänderungen, wo unter *Klimaänderung* eine Änderung des Klimas verstanden wird, die direkt oder indirekt menschlichen Aktivitäten, welche die Zusammensetzung der Erdatmosphäre verändern, zugeordnet werden kann und die zu den über vergleichbare Zeiträume beobachteten natürlichen Klimaschwankungen hinzukommt.

<sup>2</sup> Insgesamt 122 Hauptautoren, 515 mitwirkende Autoren, 21 begutachtende Editoren sowie 420 begutachtende Experten.

<sup>3</sup> An der vom 17. bis 20. Januar 2001 in Shanghai abgehaltenen 8. Sitzung der Arbeitsgruppe I nahmen Delegationen aus 99 IPCC-Mitgliedstaaten teil.

<sup>4</sup> In dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger wird auf den Zweiten Wissensstandsbericht des IPCC als SAR Bezug genommen.

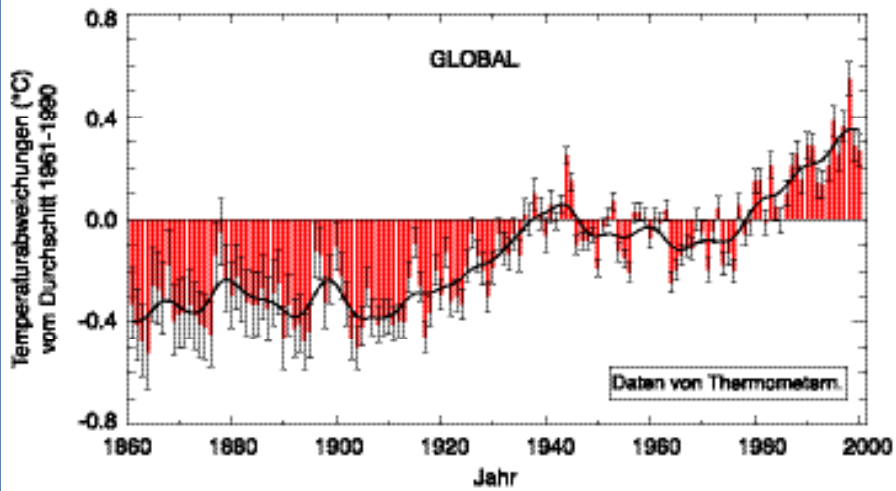
<sup>5</sup> Im Allgemeinen werden Temperaturtendenzen auf die nächsten  $0,05^\circ\text{C}$  pro Zeiteinheit gerundet, die Zeiträume sind infolge mangelhafter Datenlage oft beschränkt.

<sup>6</sup> Im Allgemeinen wird für statistische Signifikanz eine Sicherheitsschwelle von 5%, für Konfidenz von 95% verwendet.

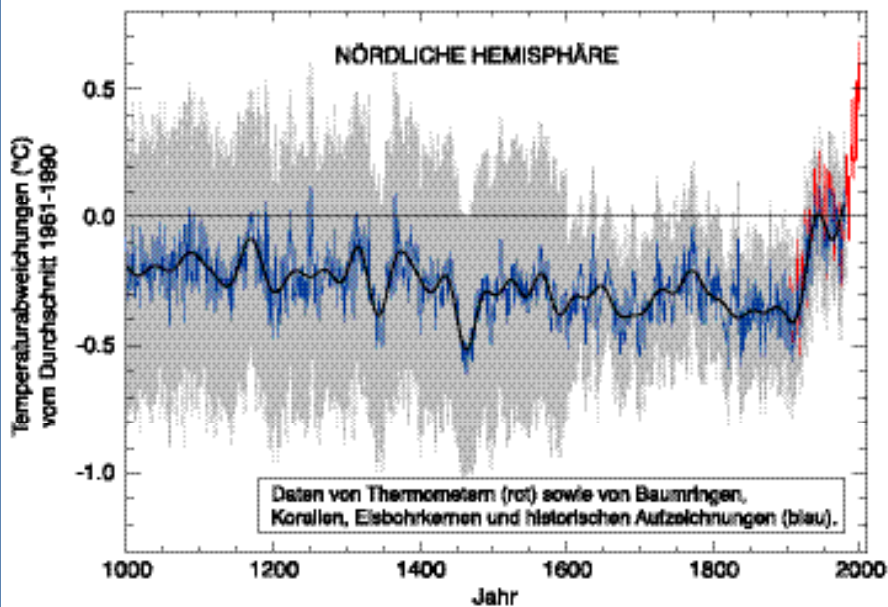
<sup>7</sup> Sowohl in dieser Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger wie auch in der Technischen Zusammenfassung werden für die Angabe von beurteilenden Konfidenzabschätzungen gegebenenfalls die folgenden Begriffe verwendet: *praktisch sicher* (Wahrscheinlichkeit grösser als 99%, dass eine Angabe stimmt); *sehr wahrscheinlich* (90–99%); *wahrscheinlich* (66–90%); *mittlere Wahrscheinlichkeit* (33–66%); *unwahrscheinlich* (10–33%); *sehr unwahrscheinlich* (1–10%); *äusserst unwahrscheinlich* (Wahrscheinlichkeit geringer als 1%). Man konsultiere die einzelnen Kapitel für weitere Einzelheiten.

## Schwankungen der Erdoberflächentemperatur für:

### (a) die letzten 140 Jahre



### (b) die letzten 1'000 Jahre



**Abbildung 1: Schwankungen der Erdoberflächentemperaturen in den letzten 140 und den letzten 1000 Jahren.**

(a) Die Erdoberflächentemperatur wird jahresweise (rote Balken) und ungefähr jahrzehntweise (schwarze Linie, eine gefilterte Jahreskurve, die Schwankungen unterhalb der Jahrzehntgrenze unterdrückt) dargestellt. Es bestehen Unsicherheiten in den jährlichen Daten (dünne schwarze Balken stehen für das 95%-Konfidenzintervall) infolge von Datenlücken, zufälligen Instrumentenfehlern und -unsicherheiten, Unsicherheiten bezüglich der Korrekturen systematischer Fehler bei den Ozeanoberflächentemperaturen sowie bei den Anpassungen über dem Land wegen der Urbanisierung. Sowohl für die letzten 140 wie auch die letzten 1000 Jahre ergibt die beste Schätzung einen Anstieg der mittleren globalen Erdoberflächentemperatur um  $0,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ .

(b) Zusätzlich wurden die Schwankungen der mittleren Erdoberflächentemperatur auf der Nordhemisphäre jahresweise (blaue Kurve) und im 50-jährigen Mittel (schwarze Kurve) für die letzten 1000 Jahre aus Proxidaten rekonstruiert (wichtigste Proxidaten siehe Auflistung im Diagramm: Baum-Jahresringe, Korallen, Eisbohrkerne und historische Aufzeichnungen). Die Proxidaten wurden mit Thermometermessungen kalibriert. Das 95%-Vertrauensintervall der jährlichen Daten wird durch die graue Fläche repräsentiert. Diese Unsicherheiten nehmen mit grösserer zeitlicher Distanz zu und sind aufgrund der Verwendung relativ spärlicher Proxidaten immer viel grösser als im Instrumentendatensatz. Trotzdem waren die Geschwindigkeit und die Dauer der Erwärmung im 20. Jahrhundert viel grösser als in irgendeinem der vorhergehenden neun Jahrhunderte. Ebenso ist es wahrscheinlich<sup>7</sup>, dass die 1990er-Jahre das wärmste Jahrzehnt und 1998 das wärmste Jahr des Jahrtausends waren.

### *In den vergangenen vier Jahrzehnten sind die Temperaturen in den untersten 8 Kilometern der Atmosphäre angestiegen.*

- Seit den späten 1950er-Jahren (seitdem Wetterballone brauchbare Beobachtungsdaten liefern) ist in den untersten 8 Kilometern der Atmosphäre und in Bodennähe global eine ungefähr gleich hohe Temperaturanstiegsrate von  $0,1^{\circ}\text{C}$  pro Jahrzehnt festzustellen.
- Seit Beginn der Satellitenmessreihe 1979 zeigen sowohl Satelliten- als auch Wetterballonmessungen eine Änderung der mittleren globalen Temperatur in den untersten 8 Kilometern der Atmosphäre um  $+0,05 \pm 0,10^{\circ}\text{C}$  pro Jahrzehnt, während die globale Durchschnittstemperatur an der Erdoberfläche um  $+0,15 \pm 0,05^{\circ}\text{C}$  pro Jahrzehnt signifikant gestiegen ist. Der Unterschied zwischen diesen Erwärmungsraten ist statistisch signifikant. Dieser Unterschied ist primär über tropischen und subtropischen Regionen festzustellen.
- Die untersten 8 Kilometer der Atmosphäre und die Erdoberfläche werden von Faktoren wie dem Abbau der stratosphärischen Ozonschicht, den atmosphärischen Aerosolen und dem El-Niño-Phänomen unterschiedlich beeinflusst. Es ist daher physikalisch plausibel, zu erwarten, dass über eine kurze Zeitspanne (z.B. 20 Jahre) unterschiedliche Temperaturtrends auftreten können. Zusätzlich können die Techniken für die räumliche Stichprobenaufnahme einige der Trendunterschiede erklären, dennoch sind diese Unterschiede nicht vollständig geklärt.

### *Die Ausdehnung der Schnee- und Eisbedeckung hat abgenommen*

- Satellitendaten zeigen, dass die Ausdehnung der Schneebedeckung seit den späten 1960er-Jahren sehr wahrscheinlich<sup>7</sup> um ca. 10% zurückgegangen ist. Bodengestützte Beobachtungen zeigen, dass im 20. Jahrhundert in den mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre die jährliche Eisbedeckungsdauer von Seen und Flüssen sehr wahrscheinlich<sup>7</sup> um ca. 2 Wochen kürzer geworden ist.
- Die Gletscher haben sich im 20. Jahrhundert in den nördlichen Regionen weitverbreitet zurückgezogen.
- Die Ausdehnung der Meereseisbedeckung in der Nordhemisphäre ging seit den 1950er-Jahren im Frühjahr und Sommer um rund 10 bis 15% zurück. Die Mächtigkeit des arktischen Meereises ist in den letzten Jahrzehnten im Spätsommer und Frühherbst wahrscheinlich<sup>7</sup> um ca. 40% zurückgegangen, während sie im Winter bedeutend langsamer abgenommen hat.

### *Der mittlere globale Meeresspiegel ist angestiegen und der Wärmegehalt der Ozeane ist grösser geworden.*

- Gezeitenmessdaten zeigen, dass der globale mittlere Meeresspiegel im 20. Jahrhundert um 0,1 bis 0,2 Meter angestiegen ist.
- Der globale Wärmegehalt der Ozeane ist seit den späten 1950er-Jahren, d.h. seit ausreichende Beobachtungsdaten der Wassertemperaturen unter der Ozeanoberfläche zur Verfügung stehen, gestiegen.

### *Auch andere wichtige Aspekte unseres Klimas haben sich geändert.*

- Die Niederschläge über den Kontinenten haben im 20. Jahrhundert in den meisten Regionen der mittleren und hohen Breiten der Kontinente auf der Nordhemisphäre sehr wahrscheinlich<sup>7</sup> um 0,5 bis 1% pro Jahrzehnt zugenommen, und die Regenfälle über den tropischen Landmassen ( $10^{\circ}\text{N}$  bis  $10^{\circ}\text{S}$ ) haben wahrscheinlich<sup>7</sup> um 0,2 bis 0,3% pro Jahrzehnt zugenommen. Im Verlauf der letzten paar Jahrzehnte war in den tropischen Zonen kein nachweisbarer Anstieg festzustellen. Ebenso ist es wahrscheinlich<sup>7</sup>, dass die Regenfälle über dem Grossteil der subtropischen ( $10^{\circ}\text{N}$  bis  $30^{\circ}\text{N}$ ) Landmasse der Nordhemisphäre im 20. Jahrhundert um rund 0,3% pro Jahrzehnt zurückgegangen sind. Im Gegensatz zur Nordhemisphäre wurden über der Südhemisphäre keine vergleichbaren systematischen Änderungen der Mittelwerte auf den verschiedenen geographischen Breitengraden festgestellt. Für eine Bestimmung von Niederschlagstrends über den Ozeanen sind nicht ausreichend Daten vorhanden.
- Die Häufigkeit von schweren Niederschlagsereignissen hat in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts in den mittleren und höheren Breiten der Nordhemisphäre wahrscheinlich<sup>7</sup> um 2 bis 4% zugenommen. Eine Zunahme schwerer Niederschlagsereignisse kann verschiedene Gründe haben, z.B. Änderungen im Wassergehalt der Atmosphäre oder der Gewitter- und grossräumigen Sturmaktivitäten.
- Die Wolkenbedeckung über den Landmassen hat im 20. Jahrhundert in den mittleren bis hohen Breiten wahrscheinlich<sup>7</sup> um 2% zugenommen. In den meisten Gebieten stimmen diese Tendenzen gut mit der beobachteten Verringerung des täglichen Schwankungsbereichs der Temperatur überein.
- Ein Rückgang der Häufigkeit extrem tiefer Temperaturen und ein geringerer Anstieg der Häufigkeit extrem hoher Temperaturen seit 1950 ist sehr wahrscheinlich<sup>7</sup>.

- Warme Episoden des El-Niño-Southern-Oscillation-(ENSO-)Phänomens (welches die regionalen Temperatur- und Niederschlagsschwankungen in den meisten Gebieten der Tropen und Subtropen sowie in einigen Regionen der mittleren Breiten ständig beeinflusst) sind seit Mitte der 1970er-Jahre häufiger, anhaltender und mit grösserer Intensität aufgetreten als in den vorhergehenden 100 Jahren.
- Der Teil der globalen Landoberfläche, der schwerer Trockenheit oder schweren Überflutungen ausgesetzt war, hat im 20. Jahrhundert (1900-1995) in relativ geringem Ausmass zugenommen. In vielen Gebieten werden diese Änderungen von interdekadalen und multidekadalen Klimaschwankungen dominiert, wie z.B. der Verschiebung der ENSO in Richtung häufigerer warmer Ereignisse.
- In einigen Gebieten, wie z.B. Teilen Asiens und Afrikas, wurde in den letzten Jahrzehnten ein Anstieg der Häufigkeit und Intensität von Dürreereignissen beobachtet.

#### ***Einige wichtige Aspekte unseres Klimas scheinen sich nicht verändert zu haben.***

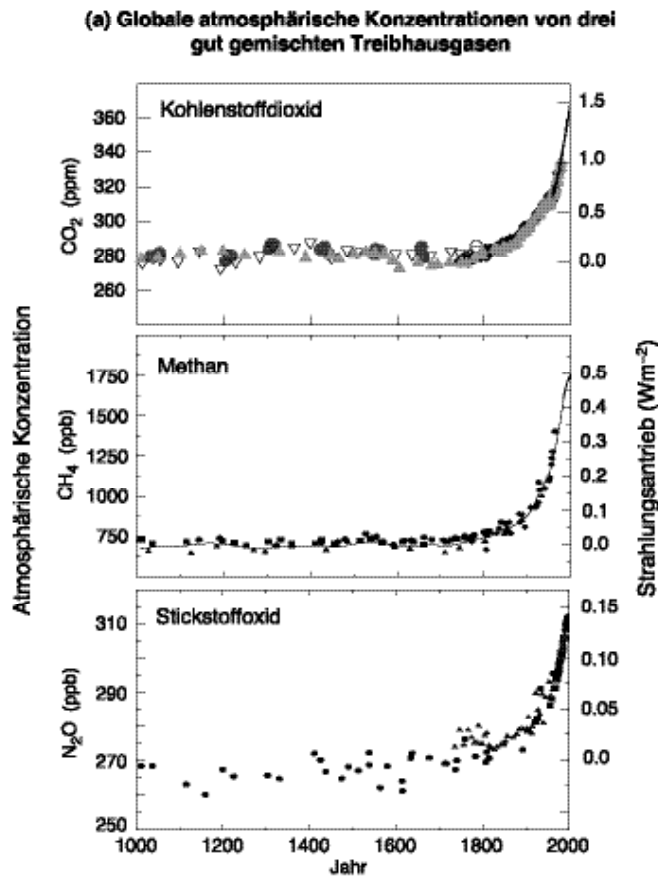
- Einige wenige Gebiete der Erde, vor allem über gewissen Teilen der Ozeane der Südhemisphäre sowie Teilen der Antarktis, haben sich in den letzten Jahrzehnten nicht erwärmt.
- Für die Ausdehnung des antarktischen Meereises sind, seit es verlässliche Satellitenmessungen gibt (1978), keine signifikanten Trends zu beobachten.
- Globale Änderungen der Intensität und Häufigkeit von Stürmen in tropischen und nichttropischen Regionen werden von interdekadalen bis multidekadalen Schwankungen dominiert, ohne sichtbare signifikante Trends im 20. Jahrhundert. Widersprüchliche Analysen erschweren es, definitive Schlüsse über Änderungen der Sturmaktivitäten, insbesondere in nichttropischen Regionen, zu ziehen.
- In den wenigen Gebieten, von denen Untersuchungen vorliegen, konnten keine systematischen Änderungen der Häufigkeit von Tornados, Gewittertagen oder Hagelereignissen festgestellt werden.

#### **Die Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen infolge menschlicher Aktivitäten verändern unsere Atmosphäre weiterhin in einer Weise, die eine Beeinflussung des Klimas erwarten lässt.**

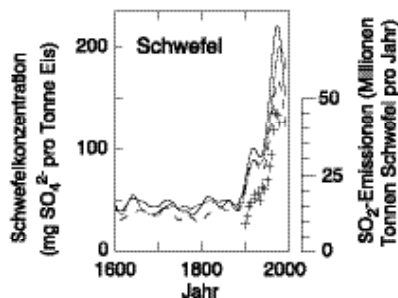
Klimaänderungen ereignen sich sowohl infolge von internen Schwankungen innerhalb des Klimasystems als auch infolge von externen Faktoren (sowohl natürlichen als auch anthropogenen). Ein grober Vergleich der Einflüsse externer Faktoren auf das Klima ist mit Hilfe des Konzepts des Strahlungsantriebs möglich<sup>8</sup>. Ein positiver Strahlungsantrieb, wie ihn zunehmende Treibhausgas-Konzentrationen verursachen, erwärmt tendenziell die Erdoberfläche. Ein negativer Strahlungsantrieb, wie er aus der Zunahme von gewissen Aerosolen (mikroskopischen Luftpartikeln) hervorgehen kann, hat tendenziell eine abkühlende Wirkung. Natürliche Faktoren, wie Änderungen der Sonnenaktivität oder Vulkanausbrüche, können ebenso einen Strahlungsantrieb verursachen. Eine Charakterisierung dieser Klimaantreibsfaktoren und ihrer zeitlichen Schwankungen (siehe Abbildung 2) ist erforderlich, um Klimaänderungen in der Vergangenheit im Kontext natürlicher Schwankungen zu verstehen und um zu projizieren, welche Klimaänderungen vor uns liegen könnten. Abbildung 3 zeigt die gegenwärtigen Schätzungen des Strahlungsantriebes infolge steigender Konzentrationen atmosphärischer Bestandteile und anderer Mechanismen.

<sup>8</sup> Der Strahlungsantrieb ist ein Mass für den Einfluss, den ein Faktor auf das Gleichgewicht von hereinkommender und abgehender Energie im System Erde-Atmosphäre hat, und ist ein Index für die Wichtigkeit eines Faktors als potentieller Mechanismus einer Klimaänderung. Er wird in Watt pro Quadratmeter ( $\text{Wm}^{-2}$ ) ausge-

**Indikatoren für den menschlichen Einfluss auf die Atmosphäre im Industriezeitalter**



**(b) Im Grönlandeis eingelagerte Schwefel-Aerosole**



**Abbildung 2: Lange Datenreihen vergangener Veränderungen der atmosphärischen Zusammensetzung liefern den Kontext für den Einfluss anthropogener Emissionen.**

(a) zeigt die Änderungen der atmosphärischen Konzentrationen von Kohlendioxid ( $CO_2$ ), Methan ( $CH_4$ ) und Lachgas ( $N_2O$ ) in den letzten 1000 Jahren. Die Daten aus Eis- und Firnbohrkernen an mehreren Standorten in der Antarktis und in Grönland (durch unterschiedliche Symbole dargestellt) wurden mit Daten aus direkten atmosphärischen Proben aus den letzten paar Jahrzehnten ergänzt (dargestellt durch die Linie für  $CO_2$  und in der Kurve, die das globale Mittel von  $CH_4$  darstellt, miteinberechnet). Der geschätzte positive Strahlungsantrieb des Klimasystems durch diese Gase ist in der Skala rechts ersichtlich. Da diese Gase eine atmosphärische Lebensdauer eines Jahrzehnts oder länger aufweisen, sind sie gut durchmisch, und ihre Konzentrationen spiegeln die Emissionen aus Quellen in der ganzen Welt wider. Alle drei Datenreihen zeigen die Auswirkungen der starken und steigenden Zunahme anthropogener Emissionen während des Industriezeitalters.

(b) zeigt den Einfluss industrieller Emissionen auf die atmosphärischen Sulfat-Konzentrationen, die einen negativen Strahlungsantrieb erzeugen. Dargestellt ist der zeitliche Verlauf der Sulfat-Konzentrationen, nicht in der Atmosphäre, sondern in Eisbohrkernen in Grönland (in Linien dargestellt, wobei die episodischen Auswirkungen von Vulkanausbrüchen eliminiert wurden). Solche Daten zeigen die lokale Ablagerung von Sulfat-Aerosolen an der untersuchten Stelle an und widerspiegeln die Schwefeldioxid- ( $SO_2$ -) Emissionen in den mittleren Breiten der nördlichen Hemisphäre. Obschon diese Datenreihe regionaler ist als die der global durchmischten Treibhausgase, zeigt sie die starke Zunahme anthropogener  $SO_2$ -Emissionen während des Industriezeitalters. Die Plus-Zeichen stehen für die relevanten regionalen geschätzten  $SO_2$ -Emissionen (Skala rechts).

**Die Konzentrationen atmosphärischer Treibhausgase und ihr Strahlungsantrieb haben infolge menschlicher Aktivitäten kontinuierlich zugenommen.**

- Die Konzentration von Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) in der Atmosphäre hat seit 1750 um 31% zugenommen. Die gegenwärtige  $\text{CO}_2$ -Konzentration wurde während der letzten 420'000 Jahre, und wahrscheinlich<sup>7</sup> auch während der letzten 20 Millionen Jahre, nicht überschritten. Die gegenwärtige Zuwachsrate ist für mindestens die letzten 20'000 Jahre beispiellos.
- Ungefähr drei Viertel der anthropogenen Emissionen von  $\text{CO}_2$  in die Atmosphäre während der letzten 20 Jahre sind auf die Verbrennung fossiler Brennstoffe zurückzuführen. Der Rest stammt hauptsächlich von Landnutzungsänderungen, insbesondere Entwaldung.
- Gegenwärtig nehmen die Ozeane und Landmassen zusammen rund die Hälfte aller anthropogenen  $\text{CO}_2$ -Emissionen auf. Während der 1990er-Jahre überstieg die Aufnahme von anthropogenem  $\text{CO}_2$  über dem Land sehr wahrscheinlich<sup>7</sup> die Freisetzung von  $\text{CO}_2$  durch Entwaldung.
- Die Zuwachsrate der atmosphärischen  $\text{CO}_2$ -Konzentration lag im Verlauf der letzten zwei Jahrzehnte bei rund 1.5 ppm<sup>9</sup> (0,4%) pro Jahr. Während der 1990er-Jahre variierte der Zuwachs von Jahr zu Jahr zwischen 0,9 ppm (0,2%) und 2,8 ppm (0,8%). Ein Grossteil dieser Variabilität ist auf die Auswirkung von Klimaschwankungen (z.B. El-Niño-Ereignisse) auf die  $\text{CO}_2$ -Aufnahme und -Abgabe durch die Ozeane und Landmassen zurückzuführen.
- Die atmosphärische Konzentration von Methan ( $\text{CH}_4$ ) hat seit 1750 um 1060 ppb<sup>9</sup> (151%) zugenommen und steigt weiterhin an. Die derzeitige Methan-Konzentration wurde in den letzten 420'000 Jahren nicht überschritten. Im Vergleich zu den 1980er-Jahren hat sich der jährliche Anstieg der Methan-Konzentration in den 1990er-Jahren verlangsamt, und die Konzentrationsschwankungen haben zugenommen. Etwas mehr als die Hälfte der gegenwärtigen Methan-Emissionen sind anthropogen (z.B. Verbrennung fossiler Brennstoffe, Viehzucht, Reisanbau und Deponien). Zudem wurden vor kurzem Kohlenmonoxid-(CO-) Emissionen als eine Ursache der steigenden  $\text{CH}_4$ -Konzentration identifiziert.
- Die atmosphärische Konzentration von Lachgas ( $\text{N}_2\text{O}$ ) hat seit 1750 um 46 ppb (17%) zugenommen und steigt weiterhin an. Die derzeitige  $\text{N}_2\text{O}$ -Konzentration wurde in den letzten mindestens 1000 Jahren nicht überschritten. Ungefähr ein Drittel der gegenwärtigen  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen sind anthropogen (z.B. landwirtschaftliche Böden, Anbauflächen für Tierfutter und chemische Industrie).
- Die atmosphärische Konzentration vieler halogenierter Kohlenstoffe, die sowohl als Treibhausgas wirken als auch die Ozonschicht zerstören (z.B.  $\text{CFCl}_3$  und  $\text{CF}_2\text{Cl}_2$ ), hat seit 1995 entweder langsamer zugenommen oder sogar abgenommen, beides infolge der durch das Montrealer Protokoll und dessen Anschlussvereinbarungen verfügten Emissionsreduktionen. Die Ersatzstoffe (z.B.  $\text{CHF}_2\text{Cl}$  und  $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$ ) und andere synthetische Stoffe (wie z.B. perfluorierte Kohlenstoffe [PFCs] und Schwefelhexafluorid [ $\text{SF}_6$ ]) sind ebenfalls Treibhausgase, und ihre Konzentrationen steigen gegenwärtig.
- Der Strahlungsantrieb infolge des Anstiegs der gut durchmischten Treibhausgase wird für den Zeitraum von 1750 bis 2000 auf 2,43  $\text{Wm}^{-2}$  geschätzt: 1,46  $\text{Wm}^{-2}$  aus  $\text{CO}_2$ , 0,48  $\text{Wm}^{-2}$  aus  $\text{CH}_4$ , 0,34  $\text{Wm}^{-2}$  aus halogenierten Kohlenstoffen und 0,15  $\text{Wm}^{-2}$  aus  $\text{N}_2\text{O}$ . (Siehe Abbildung 3, welche auch eine Darstellung der Unsicherheiten enthält.)
- Der beobachtete Abbau der stratosphärischen Ozonschicht hat im Zeitraum von 1979 bis 2000 einen geschätzten negativen Strahlungsantrieb von  $-0,15 \text{ Wm}^{-2}$  verursacht. Geht man von einer strikten Einhaltung der aktuellen Vorschriften über die halogenierten Kohlenstoffe aus, so wird sich der von diesen verursachte positive Strahlungsantrieb ebenso verringern wie das Ausmass des negativen Strahlungsantriebs aufgrund der Zerstörung des stratosphärischen Ozons ( $\text{O}_3$ ), da sich die Ozonschicht im Lauf des 21. Jahrhunderts erholen wird.
- Die Gesamtmenge an  $\text{O}_3$  in der Troposphäre ist seit 1750 um schätzungsweise 36% angestiegen, primär infolge anthropogener Emissionen verschiedener  $\text{O}_3$ -bildender Gase. Dies entspricht einem positiven Strahlungsantrieb von 0,35  $\text{Wm}^{-2}$ . Der  $\text{O}_3$ -Strahlungsantrieb ist je nach Region sehr unterschiedlich und reagiert wesentlich rascher auf Emissionsänderungen als die langlebigen Treibhausgase wie  $\text{CO}_2$ .

<sup>9</sup> ppm (parts per million) oder ppb (parts per billion, 1 billion = 1 Milliarde = 1000 Millionen) ist das Verhältnis der Anzahl Treibhausgasmoleküle zur Gesamtzahl der Moleküle in trockener Luft. Zum Beispiel: 300 ppm heisst, dass pro Million Moleküle trockener Luft 300 Moleküle eines Treibhausgases gezählt werden.

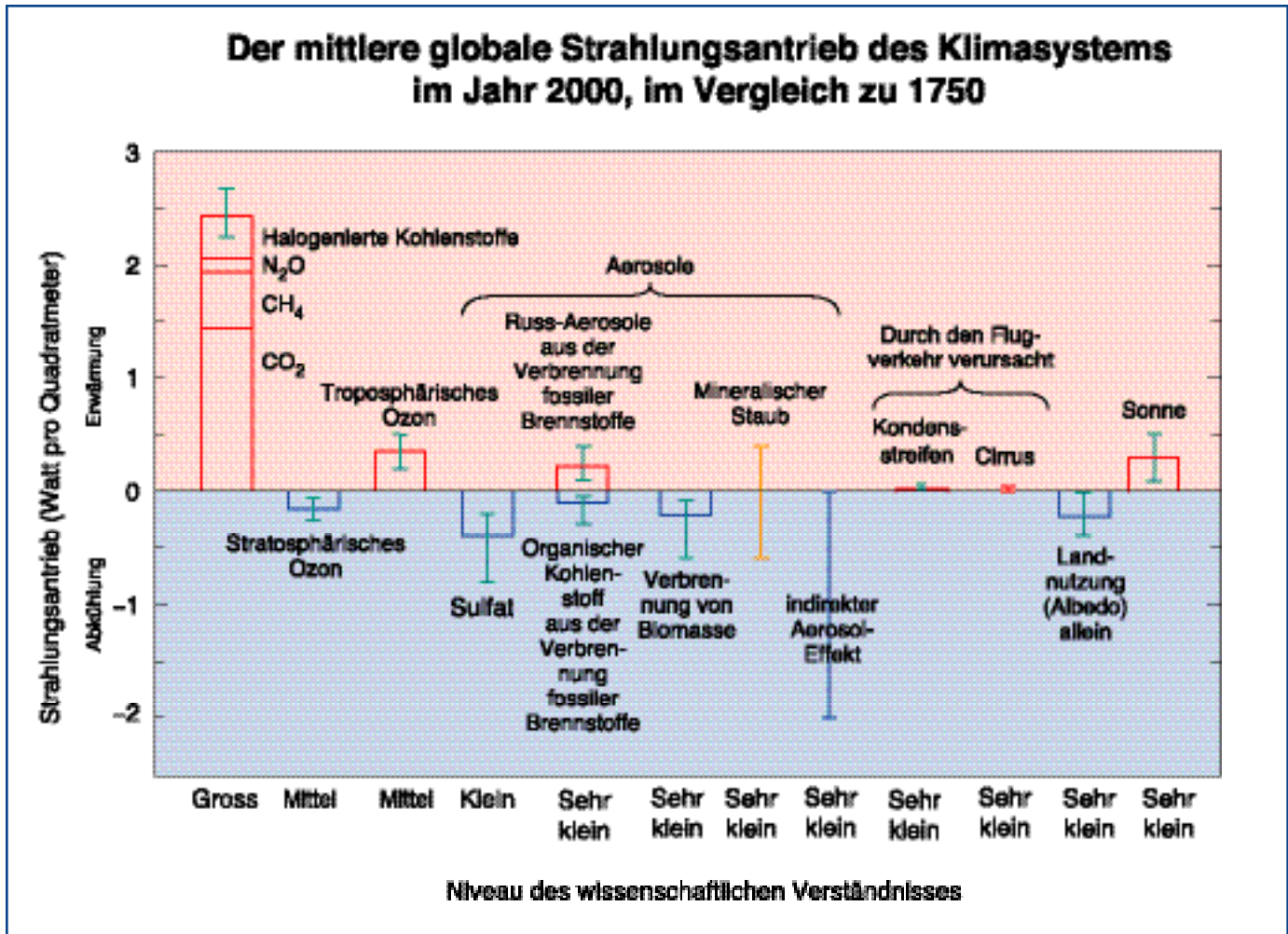


Abbildung 3: Zahlreiche äussere Faktoren treiben Klimaänderungen an.

Diese Strahlungsantriebe entstehen durch Änderungen der atmosphärischen Zusammensetzung, Veränderungen der Oberflächenreflektion durch die Landnutzung und Schwankungen der Sonnenaktivität. Mit Ausnahme der Schwankungen der Sonnenaktivität ist jede Art Strahlungsantrieb in irgendeiner Form mit menschlichen Aktivitäten verbunden. Die rechteckigen Balken stellen Schätzungen der Beiträge dieser Strahlungsantriebe dar, von denen einige zu Erwärmung, andere zu Abkühlung führen. Der Strahlungsantrieb aufgrund episodischer vulkanischer Aktivitäten, die einen negativen, lediglich einige Jahre dauernden Antrieb bewirken, ist nicht dargestellt. Der dargestellte indirekte Effekt von Aerosolen betrifft deren Wirkung auf Grösse und Zahl von Wolkentröpfchen. Ein zweiter, indirekter Effekt von Aerosolen auf Wolken, nämlich die Wirkung auf die Lebensdauer von Wolken, die ebenfalls zu einem negativen Strahlungsantrieb führen würde, ist nicht dargestellt. Die Auswirkungen des Luftverkehrs auf die Treibhausgase wurden in den einzelnen Balken jeweils miteingerechnet. Die vertikale Linie über den rechteckigen Balken zeigt den Streubereich der Schätzungen an, basierend auf der Streubreite in den veröffentlichten Werten für die Strahlungsantriebe und dem physikalischen Verständnis. Einige der Antriebe besitzen ein viel höheres Mass an Sicherheit als andere. Eine senkrechte Linie ohne rechteckigen Balken bedeutet einen Antrieb, für den infolge grosser Unsicherheiten keine beste Schätzung angegeben werden kann. Wie bereits erwähnt, differiert der Grad des allgemeinen wissenschaftlichen Verständnisses der einzelnen Antriebe beträchtlich. Einige der Strahlungsantriebsfaktoren, z.B. CO<sub>2</sub>, sind über der ganzen Erde gut durchmischt und stören daher das globale Wärme-gleichgewicht. Andere, wie z.B. Aerosole, verkörpern aufgrund ihrer räumlichen Verteilung Störungen mit stärkeren regionalen Strukturen. Aus diesem und anderen Gründen kann nicht erwartet werden, dass eine einfache Summierung der positiven und negativen Balken den Nettoeffekt auf das Klimasystem ergibt. Die Simulationen dieses Wissensstandsberichts (z.B. Abbildung 5) weisen darauf hin, dass die geschätzte Nettowirkung dieser Störungen das globale Klima seit 1750 erwärmt hat.



### ***Anthropogene Aerosole sind kurzlebig und verursachen mehrheitlich einen negativen Strahlungsantrieb.***

- Die Hauptquellen anthropogener Aerosole sind die Verbrennung fossiler Brennstoffe und von Biomasse. Diese Quellen werden ebenfalls mit der Verschlechterung der Luftqualität und saurem Niederschlag in Verbindung gebracht.
- Seit dem SAR sind bedeutende Fortschritte hinsichtlich einer besseren Beschreibung des direkten Strahlungseinflusses verschiedener Aerosoltypen erzielt worden. Der direkte Strahlungsantrieb von Sulfat wird auf  $-0,4 \text{ Wm}^{-2}$  geschätzt, von Aerosolen aus der Verbrennung von Biomasse auf  $-0,2 \text{ Wm}^{-2}$ , von organischem Kohlenstoff aus fossilen Brennstoffen auf  $-0,1 \text{ Wm}^{-2}$  und von Russ-Aerosolen aus fossilen Brennstoffen auf  $+0,2 \text{ Wm}^{-2}$ . Die Zuverlässigkeit der Quantifizierung des gesamten direkten Aerosol-Effekts und dessen zeitlicher Entwicklung ist wesentlich geringer als für die oben angegebenen Gase. Die Aerosole variieren zudem regional sehr stark und reagieren rasch auf Emissionsänderungen.
- Aerosole bewirken zusätzlich zu ihrem direkten Strahlungsantrieb aufgrund ihres Einflusses auf Wolken auch einen indirekten Strahlungsantrieb. Es gibt heute mehr Belege für diese indirekte Wirkung, welche negativ ist, wenn auch sehr unsicher in ihrem Ausmass.

### ***Natürliche Faktoren haben den Strahlungsantrieb im vergangenen Jahrhundert geringfügig beeinflusst.***

- Der Strahlungsantrieb aufgrund veränderter Sonneneinstrahlung wird für die Periode seit 1750 auf rund  $+0,3 \text{ Wm}^{-2}$  geschätzt, wobei er zum grössten Teil in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts auftrat. Seit den späten 1970er-Jahren beobachteten Satelliteninstrumente geringe Oszillationen aufgrund des 11-jährigen Sonnenzyklus. Es wurden Mechanismen für die Verstärkung des Sonneneinflusses auf das Klima vorgeschlagen, doch fehlen bis heute strenge theoretische oder empirische Grundlagen.
- Stratosphärische Aerosole aus explosiven Vulkanausbrüchen führen zu einem negativen Strahlungsantrieb, der einige Jahre anhält. In den Zeitperioden von 1880 bis 1920 und von 1960 bis 1991 ereigneten sich mehrere grosse Ausbrüche.
- Die kombinierte Änderung des Strahlungsantriebs durch die beiden wichtigsten natürlichen Faktoren (Schwankungen der Sonnenaktivität und vulkanische Aerosole) wird für die beiden letzten Jahrzehnte, und möglicherweise die letzten vier Jahrzehnte, negativ geschätzt.

### **Das Vertrauen, dass Modelle Projektionen des zukünftigen Klimas erstellen können, ist gestiegen.**

Es bedarf komplexer physikalischer Klimamodelle, um detaillierte Abschätzungen von Rückkopplungen und regionalen Besonderheiten zu liefern. Solche Modelle können noch nicht alle Aspekte des Klimas simulieren (so können sie z.B. den seit 1979 beobachteten Trend im Temperaturunterschied zwischen Erdoberfläche und Troposphäre immer noch nicht völlig erklären), und es bestehen spezifische Unsicherheiten im Zusammenhang mit Wolken und deren Wechselwirkung mit Strahlung und Aerosolen. Trotzdem ist das Vertrauen in die Fähigkeit dieser Modelle, brauchbare Projektionen des zukünftigen Klimas zu liefern, grösser geworden, da sie über ein breites zeitliches und räumliches Spektrum gute Eignung gezeigt haben.

- Das Verständnis klimatischer Vorgänge und deren Einbau in Klimamodellen hat sich verbessert, einschliesslich Wasserdampf, Meereisdynamik und Wärmetransport in den Ozeanen.
- Einige neuere Modelle liefern zufrieden stellende Simulationen des gegenwärtigen Klimas, auch ohne die in früheren Modellen erforderlichen nichtphysikalischen Anpassungen für Wärme- und Wasserflüsse an der Schnittstelle zwischen Ozean und Atmosphäre.
- Simulationen, die Schätzungen des natürlichen und anthropogenen Strahlungsantriebs berücksichtigen, reproduzieren die beobachteten grossskaligen Änderungen der bodennahen Temperatur im 20. Jahrhundert (Abbildung 4). Allerdings sind in den Modellen die Beiträge einiger zusätzlicher Prozesse und Strahlungsantriebe möglicherweise nicht berücksichtigt. Trotzdem kann die grossskalige Übereinstimmung zwischen Modellen und Beobachtungen eine unabhängige Kontrolle der berechneten Erwärmungsraten für ein bestimmtes Emissions-Szenario für die nächsten paar Jahrzehnte liefern.
- Einige Aspekte von Modellsimulationen von ENSO, von Monsunen und der Nordatlantischen Oszillation sowie von ausgewählten Klimaperioden in der Vergangenheit, haben sich verbessert.

### Es gibt neue und klarere Belege dafür, dass der Grossteil der in den letzten 50 Jahren beobachteten Erwärmung menschlichen Aktivitäten zuzuschreiben ist.

Die Schlussfolgerung des SAR lautete: „Die Abwägung der Erkenntnisse legt einen erkennbaren menschlichen Einfluss auf das globale Klima nahe.“ Der Bericht stellte weiter fest, dass das vom Menschen verursachte Signal erst langsam aus dem Hintergrund der natürlichen Klimavariabilität hervortritt. Seither wurden Fortschritte in der Verringerung der Unsicherheiten gemacht, insbesondere in Bezug auf die Unterscheidung und Quantifizierung des Ausmasses der Reaktionen auf verschiedene äussere Einflüsse. Obschon viele der im SAR identifizierten Unsicherheitsquellen immer noch bis zu einem gewissen Grad vorhanden sind, stützen neue Erkenntnisse und das verbesserte Verständnis eine aktualisierte Schlussfolgerung.

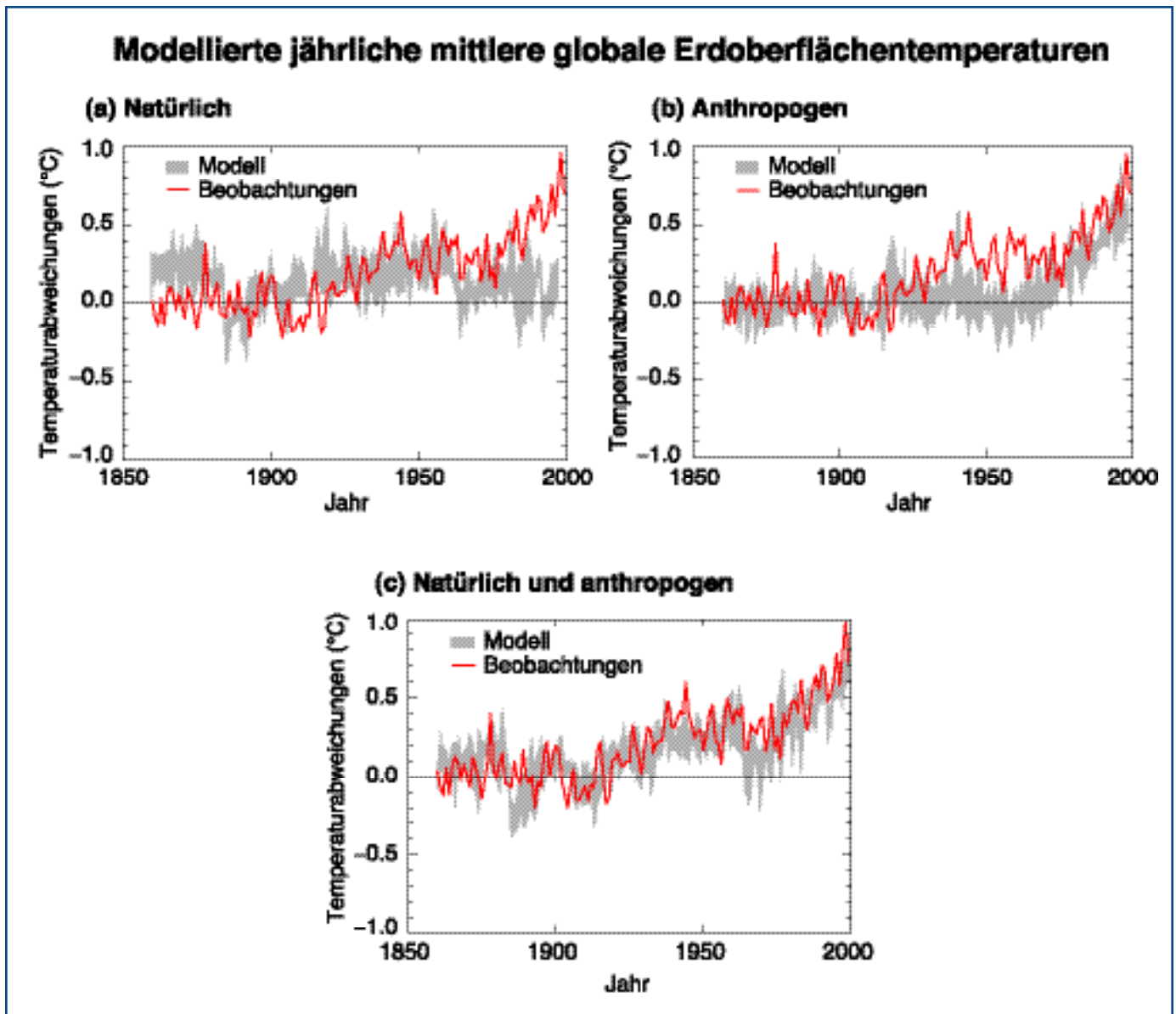
- Es gibt heute eine längere und genauer überprüfte Temperaturdatenreihe und neue Modellschätzungen der Variabilität. Es ist sehr unwahrscheinlich<sup>7</sup>, dass die Erwärmung über die vergangenen 100 Jahre allein auf interne Variabilität zurückzuführen ist, soweit dies aus aktuellen Modellen geschätzt werden kann. Rekonstruktionen der Klimadaten für die letzten 1000 Jahre (Abbildung 1b) weisen ebenfalls darauf hin, dass diese Erwärmung ungewöhnlich war und ein rein natürlicher Ursprung unwahrscheinlich<sup>7</sup> ist.
- Es gibt heute neue Schätzungen der Klimareaktion auf den natürlichen und anthropogenen Strahlungsantrieb, und es wurden neue Nachweistechiken angewandt. Erkennungs- und Zuordnungsstudien finden übereinstimmend Belege für ein menschliches Signal in den Klimadatenreihen der letzten 35 bis 50 Jahre.
- Simulationen der Reaktion auf den natürlichen Strahlungsantrieb allein (d.h. Schwankungen der Sonneneinstrahlung und Vulkanausbrüche) erklären die Erwärmung in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts nicht (siehe z.B. Abbildung 4a). Allerdings ergeben sich daraus Hinweise, dass der natürliche Strahlungsantrieb zur beobachteten Erwärmung in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts beigetragen haben könnte.
- Die Erwärmung infolge anthropogener Treibhausgase im Verlauf der letzten 50 Jahre kann trotz Unsicherheiten bezüglich des Einflusses von anthropogenen Sulfat-Aerosolen und natürlichen Faktoren (Vulkanismus und

Sonneneinstrahlung) identifiziert werden. Der anthropogene Sulfat-Aerosol-Strahlungsantrieb ist, wenn auch in unsicherem Ausmass, in dieser Zeitspanne negativ und kann daher die Erwärmung nicht erklären. Änderungen des natürlichen Strahlungsantriebs werden über weite Teile dieser Periode als negativ geschätzt und als Erklärung für die Erwärmung als unwahrscheinlich<sup>7</sup> angesehen.

- Erkennungs- und Zuordnungsstudien, die modellierte Änderungen mit der beobachteten Datenreihe vergleichen, können heute Unsicherheiten bezüglich des Ausmasses der modellierten Reaktionen auf äusseren Strahlungsantrieb berücksichtigen, insbesondere diejenigen bezüglich Klimasensitivität.
- Gemäss der Mehrzahl dieser Studien sind im Verlaufe der letzten 50 Jahre die geschätzte Geschwindigkeit und das Ausmass der Erwärmung aufgrund steigender Treibhausgas-Konzentrationen vergleichbar mit oder grösser als die beobachtete Erwärmung. Zudem stimmen die meisten Modellschätzungen, die sowohl Treibhausgase als auch Sulfat-Aerosole berücksichtigen, mit den Beobachtungen für diese Zeitspanne überein.
- Die beste Übereinstimmung zwischen Modellsimulationen und Beobachtungen über die letzten 140 Jahre wird erreicht, wenn alle oben erwähnten anthropogenen und natürlichen Strahlungsantriebsfaktoren kombiniert werden, wie in Abbildung 4c dargestellt. Diese Ergebnisse zeigen, dass die berücksichtigten Strahlungsantriebe ausreichen, um die beobachteten Änderungen zu erklären, schliessen jedoch die Möglichkeit nicht aus, dass andere Antriebe auch beigetragen haben könnten.

Im Licht der neuen Belege und unter Berücksichtigung der verbleibenden Unsicherheiten ist der Grossteil der beobachteten Erwärmung im Verlaufe der letzten 50 Jahre wahrscheinlich<sup>7</sup> auf die steigenden Treibhausgas-Konzentrationen zurückzuführen.

Im Weiteren ist es sehr wahrscheinlich<sup>7</sup>, dass die Erwärmung im 20. Jahrhundert durch die thermische Ausdehnung des Meerwassers und das weitverbreitete Schwinden von Festlandeis einen signifikanten Beitrag zum beobachteten Anstieg des Meeresspiegels leistete. Innerhalb der gegenwärtigen Unsicherheiten zeigen übereinstimmend weder Beobachtungen noch Modelle eine signifikante Beschleunigung des Anstiegs des Meeresspiegels im 20. Jahrhundert.



**Abbildung 4:** Die Simulation der Temperaturschwankungen der Erde und der Vergleich der Resultate mit gemessenen Änderungen können einen Einblick in die grundlegenden Ursachen der hauptsächlich Änderungen liefern.

Ein Klimamodell kann dazu dienen, Temperaturänderungen, die sowohl auf natürliche wie auf anthropogene Ursachen zurückzuführen sind, zu simulieren. Die durch das breite Band in (a) dargestellten Simulationen basieren ausschliesslich auf natürlichen Strahlungsantrieben: solare Variabilität und vulkanische Aktivität. Die durch das breite Band in (b) dargestellten Simulationen basieren auf anthropogenen Strahlungsantrieben: Treibhausgasen und einer Schätzung von Sulfat-Aerosolen. Die durch das breite Band in (c) dargestellten Simulationen basieren auf beiden – natürlichen wie anthropogenen – Strahlungsantrieben. Aus (b) ist ersichtlich, dass der Einschluss von anthropogenen Strahlungsantrieben eine plausible Erklärung für einen wesentlichen Anteil der beobachteten Temperaturänderungen im vergangenen Jahrhundert liefert, aber die beste Übereinstimmung mit den Beobachtungen ergibt sich in (c), wenn sowohl natürliche wie anthropogene Faktoren miteinbezogen sind. Diese Resultate zeigen, dass die miteinbezogenen Strahlungsantriebe genügen, um die beobachteten Änderungen zu erklären, was jedoch die Möglichkeit nicht ausschliesst, dass andere Strahlungsantriebe ebenfalls beigetragen haben könnten. Die hier dargestellte Gruppe von Modellresultaten beinhaltet vier Rechnungen mit dem gleichen Modell. Ähnliche Resultate wie in (b) können mit anderen Modellen mit anthropogenem Strahlungsantrieb erzielt werden.

### **Menschliche Einflüsse werden die atmosphärische Zusammensetzung im Verlaufe des 21. Jahrhunderts weiterhin verändern.**

Für die Projektion der atmosphärischen Treibhausgas- und Aerosol-Konzentrationen, und somit für das zukünftige Klima, wurden Modelle verwendet, die auf Emissions-Szenarien des IPCC-Sonderberichts über Emissions-Szenarien (SRES) basieren (Abbildung 5). Diese Szenarien wurden als Aktualisierung der im SAR verwendeten IS92-Serie entwickelt. Die IS92-Szenarien werden hier in einigen Fällen als Vergleich gezeigt.

#### **Treibhausgase**

- Die CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe sind praktisch sicher<sup>7</sup> der dominante Einfluss auf die Entwicklung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration im Verlaufe des 21. Jahrhunderts.
- Mit steigender CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Atmosphäre werden Ozeane und Landmassen einen immer geringeren Anteil der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen absorbieren. Rückkopplungseffekte des Klimas mit Land und Ozean führen nach Modellrechnungen netto zu einer Reduktion der CO<sub>2</sub>-Absorption durch Ozeane und Landmassen. Dadurch werden die vorausgesagten atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen weiter erhöht.
- Modelle des Kohlenstoffkreislaufs sagen bis 2100 eine atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration von 540 bis 970 ppm für die illustrativen SRES-Szenarien voraus (90% bis 250% über der Konzentration von 280 ppm im Jahre 1750; Abbildung 5b). Diese Projektionen berücksichtigen Rückkopplungseffekte des Klimas mit Land und Ozean. Unsicherheiten, insbesondere über das Ausmass der Klimarückkopplungseffekte der terrestrischen Biosphäre, verursachen eine Streuung zwischen -10% und +30% um jedes Szenario. Der gesamte Streubereich beträgt 490 bis 1260 ppm (75 bis 350% über der Konzentration im Jahre 1750).
- Veränderte Landnutzung könnte die atmosphärische CO<sub>2</sub>-Konzentration beeinflussen. Angenommen, die gesamte, durch veränderte Landnutzung in der Vergangenheit freigesetzte Kohlenstoffmenge könnte im Verlaufe des Jahrhunderts wieder in die terrestrische Biosphäre eingebracht werden (z.B. durch Wiederaufforstung), so würde sich die CO<sub>2</sub>-Konzentration um 40 bis 70 ppm verringern.
- Die Modellrechnungen für die Konzentrationen der Nicht-CO<sub>2</sub>-Treibhausgase bis 2100 variieren zwischen den illust-

rativen SRES-Szenarien beträchtlich: Für CH<sub>4</sub> Änderungen zwischen -190 und +1970 ppb (gegenwärtige Konzentration 1760 ppb); für N<sub>2</sub>O zwischen +38 und +144 ppb (gegenwärtige Konzentration 316 ppb); für das gesamte troposphärische Ozon zwischen -12 und +62%, und ein grosser Streubereich für die Änderungen der HFC-, PFC- und SF<sub>6</sub>-Konzentrationen, alle bezogen auf das Jahr 2000. In einigen Szenarien würde das gesamte troposphärische Ozon ein gleich wichtiger Faktor im Strahlungsantrieb werden wie Methan, und es würde über grossen Teilen der nördlichen Hemisphäre das Erreichen der gegenwärtig gültigen Luftreinhalteziele in Frage stellen.

- Um den Strahlungsantrieb zu stabilisieren, wären Reduktionen der Emissionen der Treibhausgase und der Gase, die deren Konzentrationen bestimmen, erforderlich. Zum Beispiel zeigen Modelle des Kohlenstoffkreislaufs für das wichtigste anthropogene Treibhausgas, dass eine Stabilisierung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentration bei 450, 650 bzw. 1000 ppm einen Rückgang der anthropogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen unter die Werte von 1990 erfordern würde, und das innerhalb weniger Jahrzehnte, in ca. 100 bzw. ca. 200 Jahren, und dass dieser Rückgang danach kontinuierlich weitergehen müsste. Schliesslich müssten die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf einen sehr kleinen Bruchteil der heutigen Emissionen zurückgehen.

#### **Aerosole**

- Die SRES-Szenarien beinhalten sowohl die Möglichkeit einer Zu- als auch einer Abnahme der anthropogenen Aerosole (z.B. Sulfat-Aerosole [Abbildung 5c], Aerosole aus Biomasse, Aerosole aus Russ und organischem Kohlenstoff), je nach Umfang des Verbrauchs fossiler Brennstoffe und Massnahmen zur Schadstoffemissionsverminderung. Zudem wird projiziert, dass natürliche Aerosole (z.B. Meersalz, Staub und Emissionen, die zur Entstehung von Sulfat- und Kohlenstoff-Aerosolen führen) infolge der Klimaänderung zunehmen werden.

#### **Strahlungsantrieb im 21. Jahrhundert.**

- Für die illustrativen SRES-Szenarien nimmt der globale mittlere Strahlungsantrieb infolge von Treibhausgasen im 21. Jahrhundert - bezogen auf das Jahr 2000 - weiter zu, wobei ein Anstieg des CO<sub>2</sub>-Anteils von etwas über der Hälfte zu rund drei Vierteln vorausgesagt wird. Die Änderung des direkten und indirekten Strahlungsantriebs durch Aerosole wird als geringer projiziert als diejenige von CO<sub>2</sub>.

## Für alle IPCC-SRES-Szenarien wird ein Anstieg der mittleren globalen Temperatur und des Meeresspiegels projiziert.

Modellprojektionen des zukünftigen Klimas berücksichtigen vergangene wie auch zukünftige Emissionen von Treibhausgasen und Aerosolen. Sie beinhalten daher Schätzungen der Erwärmung bis heute und der unausweichlichen, zukünftigen Erwärmung bedingt durch Emissionen in der Vergangenheit.

### Temperatur

- Für die Periode von 1990 bis 2100 wird ein Anstieg der mittleren globalen bodennahen Temperatur um 1,4°C bis 5,8°C projiziert (Abbildung 5d). Diese Resultate beziehen sich auf den ganzen Streubereich von 35 SRES-Szenarien und beruhen auf mehreren Klimamodellen<sup>10,11</sup>.
- Der projizierte Temperaturanstieg ist höher als derjenige im SAR, der basierend auf den sechs IS92-Szenarien 1,0°C bis 3,5°C betrug. Die höheren projizierten Temperaturen und der breitere Streubereich beruhen primär auf dem im Vergleich zu den IS92-Szenarien niedrigeren Projektionen für Schwefeldioxid-Emissionen in den SRES-Szenarien.
- Die projizierte Erwärmungsrate ist wesentlich höher als die im 20. Jahrhundert beobachteten Änderungen und ist sehr wahrscheinlich<sup>7</sup> beispiellos für mindestens die letzten 10'000 Jahre, bezogen auf Paläoklimadaten.
- Der Streubereich der bodennahen Temperatur-Reaktionen zwischen den verschiedenen, von einem gegebenen Szenario ausgehenden Klimamodellen ist bis 2100 vergleichbar mit dem Streubereich der Resultate von einem einzigen, mit den verschiedenen SRES-Szenarien gerechneten Modell.
- In der Zeitskala von wenigen Jahrzehnten kann die derzeit beobachtete Erwärmungsrate verwendet werden, um die projizierte Reaktion auf ein gegebenes Emissions-Szenario trotz Unsicherheiten bezüglich der Klimasensitivität einzugrenzen. Dieser Ansatz legt nahe, dass die anthropogene Erwärmung im Verlauf der nächsten paar Jahrzehnte unter Annahme des IS92a-Szenarios wahrscheinlich<sup>7</sup> im Rahmen von 0,1 bis 0,2°C pro Jahrzehnt liegt, ähnlich dem entsprechenden Streubereich der Projektionen des in Abbildung 5d verwendeten einfachen Modells.
- Basierend auf jüngsten globalen Modellsimulationen ist es sehr wahrscheinlich<sup>7</sup>, dass sich nahezu alle Landmassen schneller erwärmen als im globalen Mittel, insbesondere diejenigen in hohen nördlichen Breiten während der kalten Jahreszeit. Am bemerkenswertesten dabei ist die

Erwärmung der nördlichen Regionen Nordamerikas sowie Nord- und Zentralasiens, welche die globale mittlere Erwärmung in jedem Modell um über 40% übertrifft. Im Gegensatz dazu ist die Erwärmung in Süd- und Südostasien im Sommer und im südlichen Südamerika im Winter geringer als die globale mittlere Änderung.

- Viele Modelle projizieren eine Fortsetzung der jüngsten Tendenzen, dass die bodennahe Temperatur im tropischen Pazifik El-Niño-ähnlicher wird, wobei sich der östliche tropische Pazifik stärker erwärmt als der westliche tropische Pazifik und sich dementsprechend die Niederschläge nach Osten verlagern.

### Niederschläge

- Basierend auf globalen Modellsimulationen und für eine breite Auswahl von Szenarien wird im 21. Jahrhundert ein Anstieg der mittleren globalen Wasserdampfkonzentration und der Niederschläge projiziert. Bis zur zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts werden die Niederschläge im Winter über den nördlichen mittleren bis hohen Breiten und der Antarktis wahrscheinlich<sup>7</sup> zugenommen haben. In niedrigeren Breiten sind über Landmassen sowohl regionale Zunahmen als auch Abnahmen festzustellen. Grössere Niederschlagsschwankungen von Jahr zu Jahr sind über den meisten Gegenden, für die eine Zunahme des mittleren Niederschlags projiziert wird, sehr wahrscheinlich<sup>7</sup>.

<sup>10</sup> Komplexe physikalische Klimamodelle sind das wichtigste Werkzeug für die Projektion zukünftiger Klimaänderungen. Damit die ganze Spannweite der Szenarien untersucht werden kann, werden sie durch einfache Klimamodelle ergänzt, die so kalibriert sind, dass sie eine den komplexen Klimamodellen äquivalente Reaktion von Temperatur und Meeresspiegel zeigen. Diese Projektionen werden mittels eines einfachen Klimamodells erhalten, dessen Klimasensitivität und Wärmeaufnahme durch die Ozeane mit jedem einzelnen von sieben komplexen Klimamodellen abgestimmt ist. Die in den einfachen Modellen verwendete Klimasensitivität reicht von 1,7 bis 4,2°C, vergleichbar mit dem allgemein akzeptierten Bereich von 1,5 bis 4,5°C.

<sup>11</sup> Dieser Bereich schliesst Unsicherheiten in der Modellierung des Strahlungsantriebes nicht ein, z.B. Unsicherheiten im aerosolbedingten Strahlungsantrieb. Eine geringe Klima-Rückkopplung des Kohlenstoffkreislaufs ist eingeschlossen.

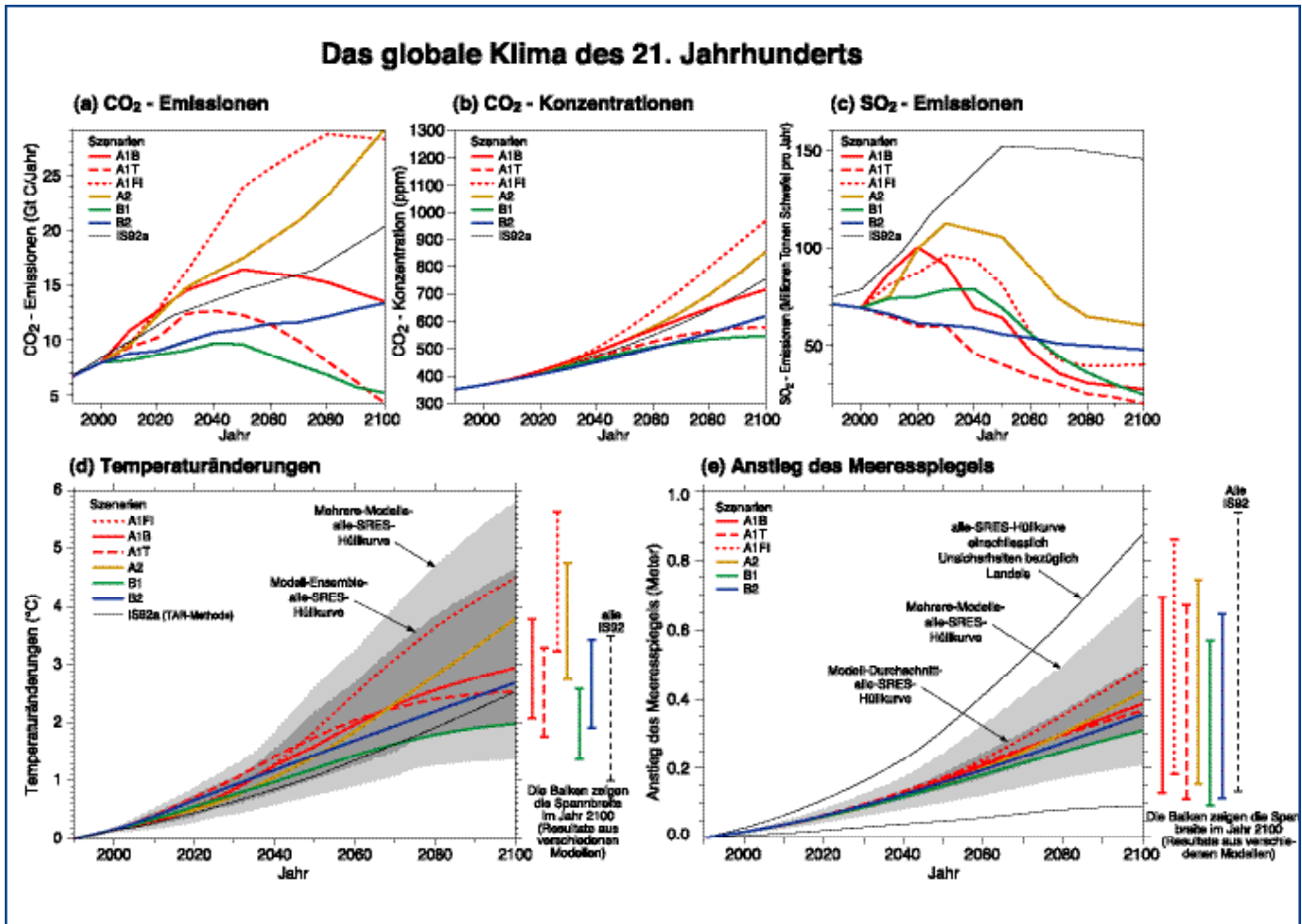


Abbildung 5: Das globale Klima des 21. Jahrhunderts wird von natürlichen Änderungen und der Reaktion des Klimasystems auf menschliche Aktivitäten abhängen.

Klimamodelle berechnen die Reaktion vieler Klimavariablen – z.B. Anstieg der globalen Erdoberflächentemperatur und des Meeresspiegels – auf verschiedene Szenarien von Treibhausgas- und anderen vom Menschen verursachten Emissionen. (a) zeigt die CO<sub>2</sub>-Emissionen der sechs illustrierten SRES-Szenarien, die in der Box auf Seite 60 zusammengefasst sind, gemeinsam mit Szenario IS92a als Vergleich mit dem SAR. (b) zeigt Projektionen der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen, (c) der anthropogenen SO<sub>2</sub>-Emissionen. Emissionen anderer Gase und anderer Aerosole wurden im Modell miteinbezogen, sind in der Abbildung jedoch nicht dargestellt. (d) und (e) zeigen die entsprechenden projizierten Reaktionen von Temperatur bzw. Meeresspiegel. Die „Mehrere-Modelle-alle-SRES“-Hüllkurve in (d) und (e) zeigt den Anstieg von Temperatur bzw. Meeresspiegel für das einfache Modell, wenn dieses mit einer Anzahl komplexer Modelle mit einer Auswahl von Klimasensitivitäten abgestimmt wird. Die „Alle-SRES“-Hüllkurve bezieht sich auf das gesamte Spektrum aller 35 SRES-Szenarien. Die „Modell-Durchschnitt-alle-SRES“-Hüllkurve zeigt das Mittel aus diesen Modellen für die Bandbreite der Szenarien. Es sei darauf hingewiesen, dass sich die Erwärmung und der Meeresspiegelanstieg aufgrund dieser Emissionen weit über 2100 hinaus fortsetzen würde. Es ist weiter zu beachten, dass in diesem Streubereich weder die Unsicherheiten bezüglich eisdynamischer Änderungen im Westantarktischen Eisschild noch die Unsicherheiten bezüglich der Projektion von Nicht-Sulfat-Aerosolen und Treibhausgas-Konzentrationen berücksichtigt sind.

**Extreme Ereignisse**

Tabelle 1 enthält eine Einschätzung des Vertrauensniveaus der beobachteten Änderungen von extremen Wetter- und Klimaereignissen in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (linke Kolonne) sowie der projizierten Änderungen im 21. Jahrhundert (rechte Kolonne). Diese Einschätzungen beruhen auf Beobachtungs- und Modellstudien sowie auf der physikalischen Plausibilität der Modellrechnungen der zukünftigen Entwicklung für alle allgemein verwendeten Szenarien und basieren auf Expertenurteilen<sup>7</sup>.

- Hinsichtlich einiger anderer extremer Phänomene, von denen viele erhebliche Auswirkungen auf Umwelt und Gesellschaft haben könnten, gibt es derzeit ungenügende Informationen, um jüngste Trends beurteilen zu können. Ebenso verfügen die Klimamodelle noch nicht über die für zuverlässige Projektionen nötige räumliche Auflösung. So werden zum Beispiel sehr kleinräumige Phänomene wie Gewitter, Tornados, Hagel und Blitzschlag in Klimamodellen nicht simuliert.

**Tabelle 1: Abschätzung der Vertrauenswürdigkeit von beobachteten und projizierten Änderungen extremer Wetter- und**

| Vertrauenswürdigkeit beobachteter Änderungen (zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts)                   | Änderungen des Phänomens   | Vertrauenswürdigkeit projizierter Änderungen (im 21. Jahrhundert)   |
|---|--|---|
| Wahrscheinlich <sup>7</sup>   | <b>Höhere Temperaturmaxima und mehr Hitzetage über nahezu allen Landmassen</b>                           | Sehr wahrscheinlich <sup>7</sup>  |
| Sehr wahrscheinlich <sup>7</sup>  | <b>Höhere Temperaturminima, weniger Kälte- und Frosttage über nahezu allen Landmassen</b>                | Sehr wahrscheinlich <sup>7</sup>  |
| Sehr wahrscheinlich <sup>7</sup>  | <b>Geringerer täglicher Schwankungsbereich der Temperatur über den meisten Landmassen</b>                | Sehr wahrscheinlich <sup>7</sup>  |
| Wahrscheinlich <sup>7</sup> , über vielen Gebieten  | <b>Ansteigen des Hitzeindex<sup>12</sup> über Landmassen</b>   | Sehr wahrscheinlich <sup>7</sup> , über den meisten Gebieten  |
| Wahrscheinlich <sup>7</sup> , über vielen Landmassen mittlerer bis hoher Breiten der Nordhemisphäre | <b>Häufigere intensive Niederschlagsereignisse<sup>a</sup></b>   | Sehr wahrscheinlich <sup>7</sup> , über vielen Gebieten   |
| Wahrscheinlich <sup>7</sup> , in wenigen Gebieten   | <b>Ansteigen der kontinentalen Sommer-trockenheit und der damit verbundenen Dürregefahr</b>              | Wahrscheinlich <sup>7</sup> , über den meisten innerkontinentalen Landmassen mittlerer Breite (anderswo fehlen übereinstimmende |
| Hochrechnungen)   |  |   |
| Wurde in den wenigen verfügbaren Analysen nicht beobachtet  | <b>Zunahme der Spitzen-Windgeschwindigkeiten in tropischen Zyklonen<sup>b</sup></b>                      | Wahrscheinlich <sup>7</sup> , über einigen Gebieten   |
| Datenlage für Beurteilung nicht ausreichend   | <b>Zunahme der mittleren und maximalen Niederschlags-Intensitäten in tropischen Zyklonen<sup>b</sup></b> | Wahrscheinlich <sup>7</sup> , über einigen Gebieten   |

<sup>a</sup> Für andere Gegenden liegen entweder ungenügende Daten oder widersprüchliche Analysen vor.

<sup>b</sup> Vergangene und zukünftige Änderungen der Lokalisierung und Häufigkeit tropischer Zyklonen sind unsicher.

<sup>12</sup> Hitzeindex: Kombination von Temperatur und Luftfeuchtigkeit als Mass der Beeinträchtigung menschlichen Wohlbefindens.

## El Niño

- Das Vertrauen in die Projektion der Änderungen der zukünftigen Häufigkeit, Intensität und der räumlichen Muster von El-Niño-Ereignissen im tropischen Pazifik wird durch einige Mängel der El-Niño-Simulation in komplexen Modellen beeinträchtigt. Derzeitige Projektionen zeigen wenig Änderung oder eine geringfügige Intensivierung der El-Niño-Ereignisse über die nächsten 100 Jahre.
- Sogar bei geringer oder keiner Änderung der El-Niño-Intensität führt die globale Erwärmung wahrscheinlich<sup>7</sup> zu grösseren Extremen von Trockenheit und schweren Niederschlägen sowie zu steigendem Risiko von im Zusammenhang mit El-Niño-Ereignissen in vielen Regionen auftretenden Dürreereignissen und Überschwemmungen.

## Monsune

- Die mit steigenden Treibhausgas-Konzentrationen verbundene Erwärmung wird wahrscheinlich<sup>7</sup> zu einer grösseren Variabilität der sommerlichen Monsunregen in Asien führen. Änderungen der mittleren Dauer und Intensität von Monsunen hängen von Einzelheiten der Emissions-Szenarien ab. Das Vertrauen in entsprechende Projektionen ist auch durch die Qualität der Modellsimulationen der detaillierten jahreszeitlichen Entwicklung der Monsune begrenzt.

## Thermohaline Zirkulation

- Die meisten Modelle zeigen eine Abschwächung der ozeanischen thermohalinen Zirkulation, was zu einem reduzierten Wärmetransport in hohe Breiten der nördlichen Hemisphäre führt. Allerdings zeigen sogar Modelle, in welchen sich die thermohaline Zirkulation abschwächt, immer noch eine Erwärmung über Europa aufgrund der ansteigenden Treibhausgas-Konzentrationen. Derzeitigen Klimamodellen zufolge kommt es zu keinem völligen Stillstand der thermohalinen Zirkulation bis 2100. Nach 2100 könnte die thermohaline Zirkulation auf beiden Hemisphären völlig und möglicherweise unumkehrbar zum Stillstand kommen, wenn die Änderung des Strahlungsantriebs gross genug ist und lange genug wirkt.

## Schnee und Eis

- Es wird projiziert, dass Schneebedeckung und Ausdehnung des Meereises in der Nordhemisphäre weiterhin abnehmen.
- Projektionen zeigen, dass sich der weitverbreitete Rückzug der Gletscher und Eiskappen im 21. Jahrhundert fortsetzen wird.

- Der antarktische Eisschild wird wahrscheinlich<sup>7</sup> infolge grösserer Niederschläge an Masse zunehmen, während der Grönland-Eisschild wahrscheinlich<sup>7</sup> an Masse verlieren wird, weil der Abfluss stärker zunehmen wird als die Niederschläge.
- Es wurde Besorgnis bezüglich der Stabilität des Westantarktischen Eisschildes geäussert, weil dieser unterhalb des Meeresspiegels am Boden aufliegt. Es herrscht breite Übereinstimmung, dass ein Verlust an Eis mit entsprechend beträchtlichem Anstieg des Meeresspiegels im 21. Jahrhundert sehr unwahrscheinlich<sup>7</sup> ist. Allerdings ist das Verständnis dieser Dynamik, insbesondere für längerfristige Projektionen, noch unzureichend.

## Meeresspiegel

- Für den ganzen Streubereich der SRES-Szenarien wird ein Anstieg des globalen mittleren Meeresspiegels zwischen 1990 und 2100 um 0,09 bis 0,88 Meter projiziert. Dies ist primär der thermalen Ausdehnung und dem Massenverlust von Gletschern und Eiskappen zuzuschreiben (Abbildung 5e). Der Streubereich für den Anstieg des Meeresspiegels im SAR betrug 0,13 bis 0,94 Meter, basierend auf den IS92-Szenarien. Obwohl die Projektionen der Temperaturänderungen im vorliegenden Wissensstandsbericht höher liegen, sind die den Meeresspiegel betreffenden Projektionen etwas geringer, was primär auf den Einsatz verbesserter Modelle, die einen geringeren Beitrag von Gletschern und Eisschildern angeben, zurückzuführen ist.

## Anthropogene Klimaänderungen werden noch viele Jahrhunderte andauern.

- Emissionen langlebiger Treibhausgase (z.B. CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, PFCs, SF<sub>6</sub>) haben eine dauerhafte Auswirkung auf die atmosphärische Zusammensetzung, den Strahlungsantrieb und das Klima. So ist z.B. mehrere Jahrhunderte nach der Freisetzung von CO<sub>2</sub> immer noch rund ein Viertel der durch diese Emissionen verursachten CO<sub>2</sub>-Konzentrationszunahme in der Atmosphäre vorhanden.
- Nach einer Stabilisierung der Treibhausgas-Konzentrationen würde die mittlere globale bodennahe Temperatur mit einer Rate von lediglich einigen Zehntel-Graden pro Jahrhundert ansteigen, statt mit einigen Graden pro Jahrhundert, wie für das 21. Jahrhundert ohne Stabilisierung projiziert wird. Je tiefer das Niveau, auf dem die Konzentrationen stabilisiert werden, umso geringer fällt die gesamte Temperaturänderung aus.
- Infolge der langen Zeiträume, in denen die tief liegenden Ozeanschichten auf Klimaänderungen reagieren, wird projiziert, dass die Zunahme der globalen mittleren bodennahen



Temperatur und der Anstieg des Meeresspiegels aufgrund der thermischen Ausdehnung der Ozeane noch während Jahrhunderten weitergehen wird, nachdem sich die Treibhausgas-Konzentrationen stabilisiert haben (auch wenn auf derzeitigem Niveau).

- Nachdem sich das Klima stabilisiert hat, werden die Eisschilde während Tausenden von Jahren weiter auf die Klimaerwärmung reagieren und zu einem Anstieg des Meeresspiegels beitragen. Klimamodelle weisen darauf hin, dass die lokale Erwärmung über Grönland wahrscheinlich<sup>7</sup> ein- bis dreimal so hoch sein wird wie das globale Mittel. Eisschild-Modelle projizieren, dass eine lokale Erwärmung um mehr als 3°C, die über Jahrtausende andauert, ein praktisch vollständiges Abschmelzen des grönländischen Eisschildes mit einem entsprechenden Anstieg des Meeresspiegels um ca. 7 Meter zur Folge haben würde. Eine lokale Erwärmung um 5,5°C, die über 1000 Jahre andauert, hätte wahrscheinlich<sup>7</sup> einen Beitrag von Grönland zum Anstieg des Meeresspiegels von zirka 3 Metern zur Folge.
- Moderne dynamische Eismodelle legen nahe, dass der Westantarktische Eisschild in den kommenden 1000 Jahren bis zu 3 Meter zum Anstieg des Meeresspiegels beitragen könnte. Allerdings hängen solche Ergebnisse stark von Modellannahmen bezüglich der Klimaänderungs-Szenarien, der Eisdynamik und anderer Faktoren ab.

### Weitere Anstrengungen sind erforderlich, um die verbleibenden Wissens- und Verständnislücken anzusprechen.

Weitere Forschung ist erforderlich, um die Erkennung, Zuordnung und das Verständnis von Klimaänderungen zu verbessern, um Unsicherheiten zu verringern und zukünftige Klimaänderungen zu projizieren. Insbesondere besteht ein Bedarf an zusätzlichen systematischen und dauerhaften Beobachtungen sowie Modell- und Prozess-Studien. Der Verfall von Beobachtungsnetzwerken ist Anlass zu ernster Besorgnis. Auf folgenden Gebieten sind weitere Arbeiten besonders dringend:

- Systematische Beobachtungen und Rekonstruktionen:
  - Den Verfall von Beobachtungsnetzwerken in vielen Teilen der Erde aufhalten.
  - Die Beobachtungsgrundlagen für Klimastudien aufrecht erhalten und ausweiten, durch die Bereitstellung von genauen, langfristigen und einheitlichen Daten, einschliesslich der Umsetzung einer Strategie für integrierte, globale Beobachtungen.

- Die Entwicklung von Rekonstruktionen vergangener Klimaperioden verbessern.
- Die Beobachtungen der räumlichen Verteilung von Treibhausgasen und Aerosolen verbessern.
- Modell- und Prozess-Studien:
  - Das Verständnis der Mechanismen und Faktoren, die zu Änderungen des Strahlungsantriebs führen, verbessern.
  - Die wichtigen, ungeklärten physikalischen und biogeochemischen Prozesse und Rückkopplungen im Klimasystem verstehen und beschreiben.
  - Die Methoden zur Quantifizierung von Unsicherheiten in Klimaprojektionen und -Szenarien verbessern, einschliesslich langfristiger Ensemble-Simulationen mittels komplexer Modelle.
  - Die integrierte Hierarchie globaler und regionaler Klimamodelle verbessern, insbesondere die Simulation von Klimavariabilität, regionalen Klimaänderungen und Extremereignissen.
  - Physikalische Klimamodelle und Modelle des biogeochemischen Systems wirkungsvoller miteinander verknüpfen und dadurch die Kopplung mit der Beschreibung menschlicher Aktivitäten verbessern.

Für all diese Schwerpunkte ist eine Verstärkung der internationalen Kooperation und Koordination ein zentrales Bedürfnis, um die verfügbaren wissenschaftlichen, rechnerischen und empirischen Ressourcen besser nutzen zu können. Dies sollte auch den freien Datenaustausch zwischen WissenschaftlerInnen fördern. Eine besondere Notwendigkeit ist die Steigerung der Beobachtungs- und Forschungskapazitäten in zahlreichen Regionen, insbesondere in Entwicklungsländern. Schliesslich besteht, wie dies die Zielsetzung dieses Wissensstandsberichtes ist, weiterhin die absolute Notwendigkeit, Fortschritte in der Forschung in einer Form zu kommunizieren, die für die politische Entscheidungsfindung relevant ist.

### Die Emissions-Szenarien des IPCC-Sonderberichtes über Emissions-Szenarien (SRES)

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

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

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

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

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

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