

# Max-Planck-Institut für Meteorologie

## Hamburg

Gegründet 1975 zur Erforschung der physikalischen Grundlagen des Klimas. Das Institut besteht aus zwei unselbständigen Abteilungen. Eine Abteilung (Hasselmann) befaßt sich mit allgemeinen Fragen der Klimadynamik, unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen im System Atmosphäre-Ozean-Eis; die andere (Graßl) untersucht vorwiegend Prozesse der Atmosphäre, insbesondere in der unteren Grenzschicht.

*Geschäftsführender Direktor:*

*Prof. Dr. Klaus Hasselmann*

*Kollegium, Wissenschaftliche Mitglieder:*

*Prof. Dr. Lennart Bengtsson*

*(seit 1. 1. 1991)*

*Prof. Dr. Hartmut Graßl*

*Prof. Dr. Klaus Hasselmann*

*Gast: Prof. Dr. Reimar Lüst, Em. Wissenschaftliches Mitglied des Max-Planck-Instituts für extraterrestrische Physik (seit 1. 10. 1990)*

*Em. Wissenschaftliches Mitglied:*

*Prof. Dr. Hans G. T. Hinzpeter*

*43 Mitarbeiter, davon 17 Wissenschaftler; 24 Drittmittelbeschäftigte, davon 24 Wissenschaftler, 9 wissenschaftliche Gäste und Stipendiaten.*

### **Physik des Meeres und Klimadynamik (K. Hasselmann)**

#### *Arbeitsgebiete*

Veränderlichkeit und Vorhersagbarkeit des Klimas, Klimamodelle, Wechselwirkungen Atmosphäre-Ozean-Eis-Biosphäre. Entwicklung und Anwendung statistischer Methoden zur Erkennung von Klimaänderungen. Assimilation von Satellitendaten in Klimamodelle. Seegang.

#### *Aktueller Forschungsschwerpunkt*

#### *Modellierung des anthropogenen Treibhauseffekts mit globalen gekoppelten Ozean-Atmosphären-Modellen*

*Einleitung:* Nicht zuletzt durch die orkanartigen Stürme im Frühjahr 1990 wurde die Gefahr einer Änderung des Klimas durch den Menschen in das Blickfeld der Öffentlichkeit gerückt. Im Mittelpunkt der Diskussion steht dabei der zusätzliche Treibhauseffekt der Erdatmosphäre. Durch die zunehmende Industrialisierung, aber auch durch die zunehmende Weltbevölkerung und die dadurch bedingte verstärkte Nahrungsmittelproduktion werden vermehrt Spurengase freigesetzt, die in den Strahlungshaushalt der Atmosphäre eingreifen. So hat sich die Konzentration des Kohlendioxids (CO<sub>2</sub>), das hauptsächlich bei der Verbrennung fossiler Brennstoffe wie Kohle, Erdgas oder Öl frei wird, in der Atmosphäre von seinem vorindustriellen Wert von etwa 280 ppm (ppm = parts per million) auf derzeit 350 ppm erhöht. Bei fortgesetzter Steigerung der CO<sub>2</sub>-Emissionen wird sich dieser Wert bis zum Jahre 2025 verdoppeln. Neben dem CO<sub>2</sub> gewinnen aber auch andere Treibhausgase mehr und mehr an Bedeutung, wie z. B. Methan, das u. a. beim Reisanbau und bei der Rinderzucht entsteht, sowie Fluor-Chlor-Kohlenwasserstoffe (FCKW) sowie Distickstoffoxid (Lachgas). Obwohl von diesen letztgenannten Spurengasen verglichen mit CO<sub>2</sub> mengenmäßig weniger emittiert wird, sind sie jedoch wesentlich stärkere Treibhausgase, so daß ihr Effekt daher nicht zu vernachlässigen ist.

*Das Klimamodell.* Im Institut wurde in Zusammenarbeit mit dem Meteorologischen

Institut der Universität in Hamburg aus dem Wettervorhersagemodell des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage und aus dem *Large Scale Geostrophic Ozeanmodell* unseres Instituts ein globales gekoppeltes Klimamodell entwickelt. Die horizontale Auflösung beträgt etwa 500 km. Die Atmosphäre wird in der Vertikalen in 19 Schichten, die bis in die Stratosphäre reichen, aufgelöst. Das Ozeanmodell, das ein thermodynamisches Eismodell einschließt, wird mit 11 Schichten in der Vertikalen gerechnet. Die Effekte aller Prozesse, die infolge der relativ großen Modellauflösung nicht explizit berücksichtigt werden können (z. B. einzelne Gewitter), müssen mit Hilfe der an den Gitterpunkten berechneten großskaligen Größen (Luftdruck, Temperatur, Windgeschwindigkeit und -richtung, etc.) parametrisiert, d.h. pauschal berücksichtigt werden. Man muß allerdings anmerken, daß die räumliche Auflösung im Klimamodell regionale Aussagen auf einer Skala von einigen hundert Kilometern nicht erlaubt. Für die Simulation eines Jahres benötigt dieses Modell 8 Stunden Rechenzeit auf einem Prozessor des Hochleistungsrechners Cray 2 des Deutschen Klimarechenzentrums (DKRZ) in Hamburg.

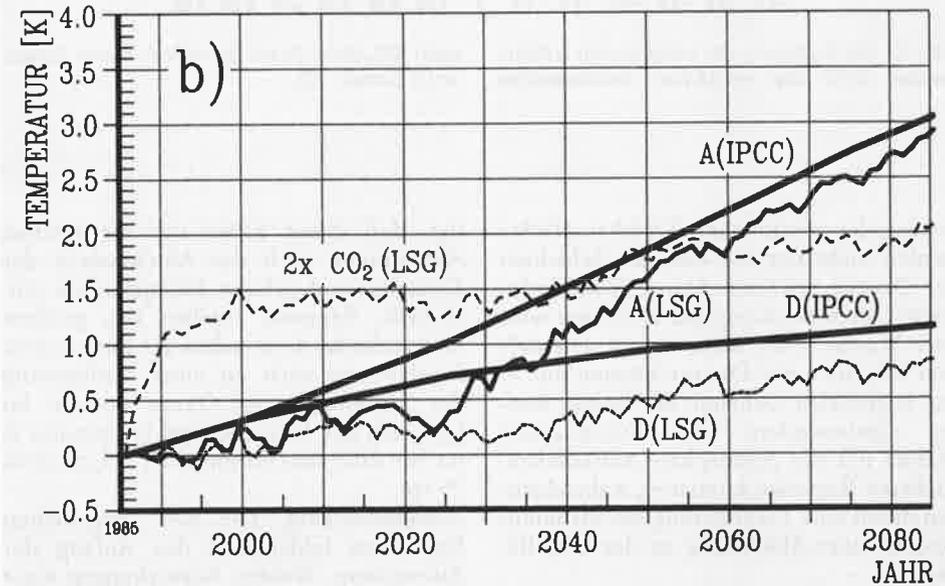
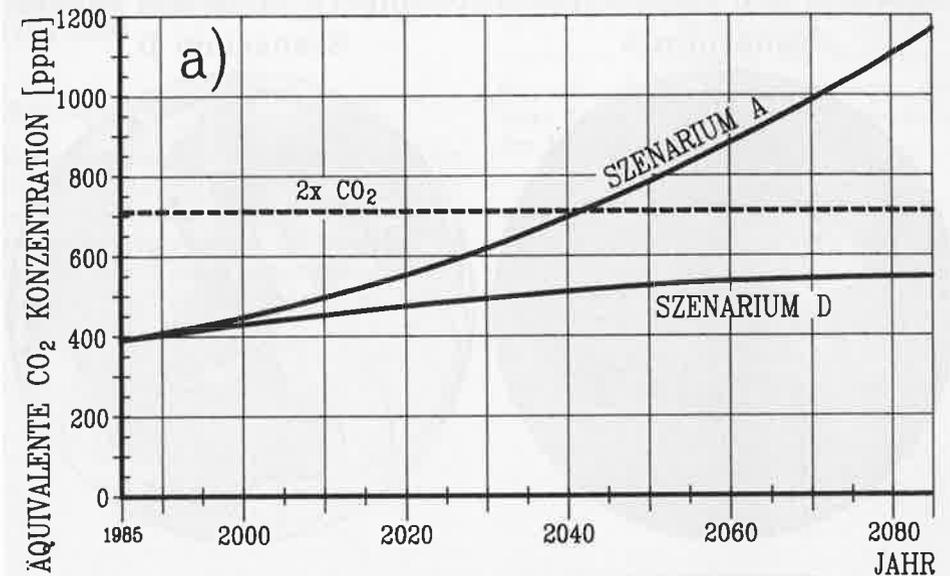
**Die Modellexperimente.** Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) hat zur Vorbereitung der Weltklima-Konferenz im November 1990 in Genf verschiedene Szenarien erstellt, die den Konzentrationsanstieg der Treibhausgase in Abhängigkeit von verschiedenen energiepolitischen Maßnahmen für die nächsten 100 Jahre beschreiben. Von diesen Szenarien werden zwei als Antrieb für das gekoppelte Klimamodell verwendet (Abb. 1a): Das Szenario A (business as usual) geht davon aus, daß der äquivalente  $\text{CO}_2$ -Gehalt in der Atmosphäre bis zum Jahr 2025 auf den doppelten Wert, der vor der Industrialisierung herrschte, ansteigen wird (Der Begriff „äquivalente  $\text{CO}_2$ -Konzentration“ umfaßt dabei den Gesamteffekt aller Treibhausgase, die im Atmosphärenmodell nicht einzeln berücksichtigt werden können). Im Szenario D (accelera-

ted policies) wird dagegen angenommen, daß politische Maßnahmen schnell greifen und eine äquivalente  $\text{CO}_2$ -Verdoppelung nicht erreicht wird. Zusätzlich zu diesen Szenarien wurde auch noch die Wirkung einer plötzlichen  $\text{CO}_2$ -Verdoppelung studiert.

Die Ergebnisse der  $\text{CO}_2$ -Änderungsexperimente werden mit dem Klima des Kontrollexperimentes verglichen, in welchem die heutige äquivalente  $\text{CO}_2$ -Konzentration als gleichbleibend vorgeschrieben wird. Bei den  $\text{CO}_2$ -Änderungsexperimenten wird dabei angenommen, daß sich Atmosphäre und Ozean zu Beginn der Modellsimulation (1985) im Gleichgewicht befinden. Die Rechnungsergebnisse stellen daher nur eine untere Schranke für die zu erwartende Klimaänderung dar, da durch diese Annahme der Effekt aller Treibhausgasemissionen vor 1985 nicht berücksichtigt wird.

**Simulationsergebnisse.** Die berechnete global gemittelte Lufttemperatur in Nähe der Erdoberfläche liegt nach 100 Jahren Integrationszeit in Szenario A etwa  $2,7^\circ\text{C}$  höher als heute, in Szenario D nur um etwa  $0,75^\circ\text{C}$  (Abb. 1b). Die Restriktion der Treibhausgasemission zeigt schon nach wenigen Jahrzehnten eine deutliche Wirkung. Die Ergebnisse des Hamburger Modells sind konsistent mit den im IPCC-Bericht angegebenen Resultaten von Modellsimulationen anderer internationaler Forschergruppen.

Im Szenario A wie auch in Szenario D (Abb. 2) findet man die größten Temperaturänderungen in den hohen Breiten aufgrund der Eis-Albedo-Rückkopplung. In Europa fällt die Temperaturänderung mit ca.  $3^\circ\text{C}$  in Szenario A für eine Landregion vergleichsweise gering aus. Über See finden sich sogar Gebiete mit Abkühlungstendenz, die durch eine Veränderung der ozeanischen Zirkulation hervorgerufen werden. Wüstenregionen zeigen ein besonders starkes Anwachsen der Temperatur. In Szenario D findet man eine ähnliche Verteilung der Erwärmungsgebiete wie in Szenario A, jedoch fällt hier der Temperaturanstieg deutlich niedriger aus.



051ULCd

Abb. 1: Die globale Entwicklung der äquivalenten  $\text{CO}_2$ -Konzentration für verschiedene vom IPCC veröffentlichte Szenarien (a) sowie die vorhergesagte Änderung der bodennahen Lufttemperatur

durch den verstärkten Treibhauseffekt im globalen Mittel für Szenario A und Szenario D sowie die entsprechenden vom IPCC veröffentlichten Kurven (b).

## Zunahme der bodennahen Lufttemperatur in 100 Jahren

Szenario A

Szenario D

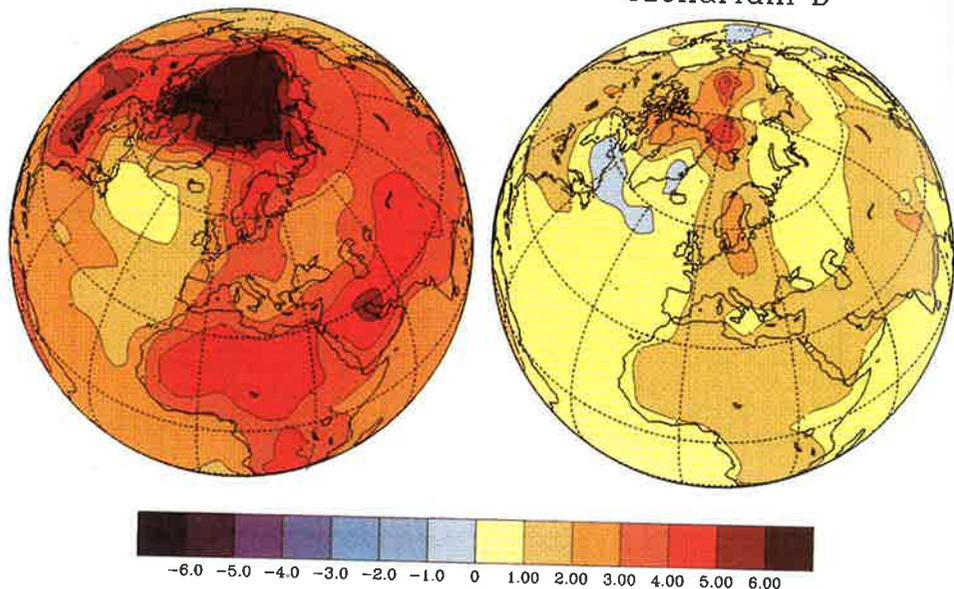


Abb. 2: Die Änderung der bodennahen Lufttemperatur durch den verstärkten Treibhauseffekt nach 100 Jahren (links: Szenario A; rechts: Szenario D; Einheit: °C).

Infolge des zusätzlichen Treibhauseffekts werden nicht nur die obersten Schichten der Ozeane erwärmt. Durch Wind-induzierte Durchmischung und Diffusion wird auch Wärme in die Tiefe verteilt. Die tiefsten Schichten der Ozeane können nur in eng begrenzten Gebieten der hohen Breiten (insbesondere im Nordatlantik) Wärme mit der Atmosphäre austauschen. In diesen Regionen kommt es, wahrscheinlich durch eine Veränderung der Strömungen, zu einer Abkühlung an der Oberfläche.

Der Meeresspiegel steigt in beiden Szenarien nur durch die thermische Ausdehnung des Wassers. Er liegt für Szenario A im Jahr 2085 im globalen Mittel um etwa 16 cm höher sowie um etwa 5 cm höher für Szenario D als heute. Damit bleibt er deutlich unter dem im IPCC-Bericht geschätzten Anstieg, selbst wenn man berücksich-

tigt, daß dieser neben der thermischen Ausdehnung auch das Abschmelzen der Gletscher und polaren Eiskappen mit einschließt. Regional ergeben sich größere Unterschiede, da es neben der thermischen Ausdehnung auch zu einer Verlagerung der Strömungen im Ozean kommt. So hebt sich der Meeresspiegel in Szenario A im Nordseeraum bis im Jahr 2085 um etwa 25 cm.

*Schlußbemerkung.* Die hier vorgestellten Ergebnisse bilden erst den Anfang der Auswertung. Weitere Auswirkungen einer Klimaveränderung, wie z. B. die Änderung der Sturmhäufigkeit und ihrer Intensität, Veränderung des Niederschlages und der Bodenfeuchte u.a., werden z. Zt. von mehreren Mitarbeitern unseres Instituts sowie des Meteorologischen Institutes analysiert (Cubasch, Santer, Höck, Mikolajewicz, Maier-Reimer, Hasselmann).

Physik der Atmosphäre  
(H. Graßl)

## Arbeitsgebiete

Fernerkundung der Atmosphäre und der Erdoberfläche, sowohl vom Boden als auch vom Satelliten aus; Wechselwirkung Strahlung-Atmosphäre, insbesondere der Einfluß der Wolken, der Aerosolteilchen sowie atmosphärischer Spurengase; turbu-

lente und konvektive Felder in der unteren Troposphäre, insbesondere geordnete konvektive Phänomene wie Wolkenstraßen und zelluläre Wolkenstrukturen; globaler Aerosoltransport und Klimawirkung der Aerosolteilchen.

## Anschrift

Bundesstr. 55, 2000 Hamburg 13  
Tel. 0 40/41 17 30  
Telefax 0 40/41 17 32 98