

Max-Planck-Institut für Meteorologie Hamburg

Gegründet 1975 zur Erforschung der physikalischen Grundlagen des Klimas. Das Institut besteht aus drei unselbständigen Abteilungen. Eine Abteilung (Hasselmann) befaßt sich mit allgemeinen Fragen der Klimadynamik, unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen im System Atmosphäre-Ozean-Eis; die zweite (Graßl) untersucht vorwiegend Prozesse in der Atmosphäre und beim Austausch Ozean-Atmosphäre mit Schwergewicht auf Satelliten-Fernerkundung; die dritte (Bengtsson) widmet sich überwiegend der verbesserten Modellierung der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre mit Schwerpunkten bei der Wechselwirkung Biosphäre-Atmosphäre und der Darstellung von Wolkenprozessen.

Geschäftsführender Direktor:

Prof. Dr. Hartmut Graßl

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

Em. Wissenschaftliches Mitglied:

Prof. Dr. Hans G.T. Hinzpeter

44 Mitarbeiter, davon 16 Wissenschaftler; 60 Drittmittelbeschäftigte, davon 27 Wissenschaftler; dazu 14 wissenschaftliche Gäste und Stipendiaten.

Physik des Meeres und Klimadynamik (K. Hasselmann)

Arbeitsgebiete

Gekoppelte Ozean-Atmosphäre-Modelle, Wechselwirkungen Atmosphäre-Ozean-

Eis-Biosphäre. Entwicklung und Anwendung statistischer Methoden zur Erkennung von Klimaänderungen. Assimilation von Satellitendaten in Klimamodelle. See-gang.

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

Aktuelle Forschungsschwerpunkte

Klimamodellrechnungen für eine besonders getrübe Atmosphäre

Zwei besondere Ereignisse standen im Blickpunkt der Klimaforschung im Jahr 1991: Der Golfkrieg und der Ausbruch des Vulkans Pinatubo auf den Philippinen. Bei beiden wurden große Mengen von Schwebstoffen (Aerosolteilchen) in die Atmosphäre entlassen. Da Schwebstoffe auch ohne diese Ereignisse wichtig für den Energiehaushalt der Erdatmosphäre und die Niederschlagsbildung sind, sollten die zusätzlichen Schwebstoffwolken ebenfalls bedeutend sein. Aerosolteilchen, die typischerweise nur etwa 0,1 µm Durchmesser haben, und

aus vielfältigen natürlichen und anthropogenen Quellen stammen, kommen als feste Partikel (z.B. Mineralteilchen) oder als Tröpfchen (z.B. Schwefelsäure) vor. Um die klimatischen Auswirkungen solcher Schwebstoffwolken zu untersuchen, wurden an unserem Institut von den beiden Abteilungen Klimadynamik und Physik der Atmosphäre zusammen mit dem Meteorologischen Institut der Universität Hamburg und dem Deutschen Klimarechenzentrum in Hamburg Modellrechnungen durchgeführt, deren wichtigste Ergebnisse im folgenden kurz skizziert werden.

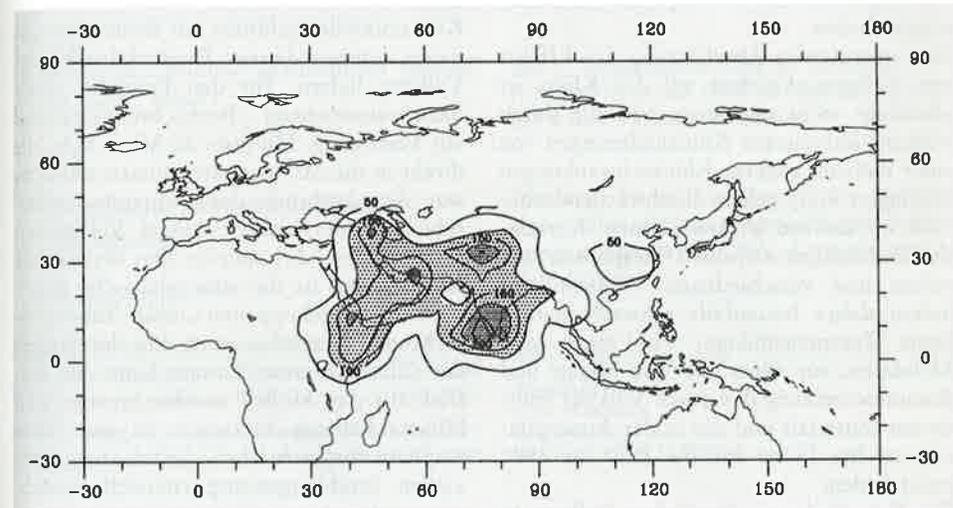
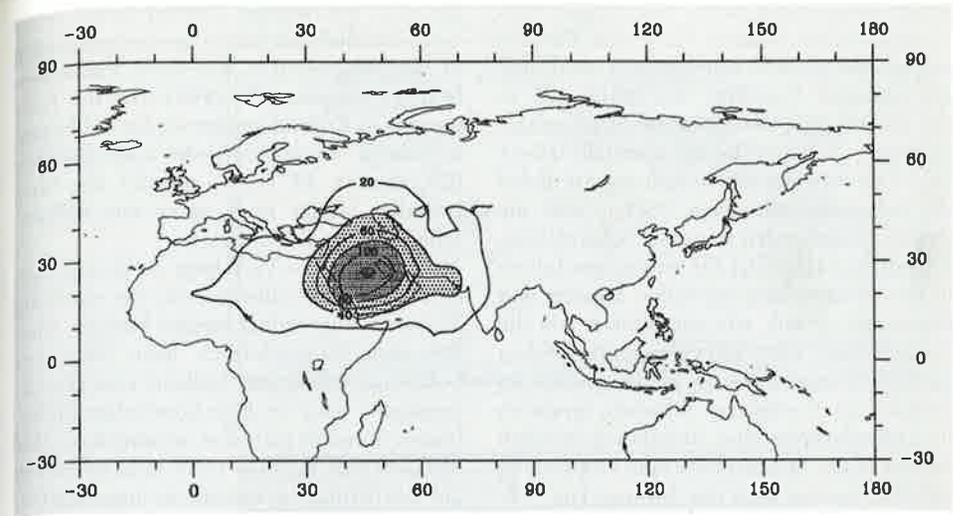
Auswirkungen der brennenden Ölfelder in Kuwait. Bei unkontrollierten Ölbränden entstehen in großer Anzahl Rußpartikel, die Sonnenstrahlung stark absorbieren (spezifischer Absorptionskoeffizient bis zu $10 \text{ m}^2/\text{g}$) und somit die Einstrahlung am Erdboden verringern können. Diese Eigenschaft des Rußes spielte auch bei früheren Betrachtungen zum nuklearen Winter eine entscheidende Rolle. Andere Emissionen, wie z.B. die von CO_2 , die auch beim kontrollierten Verbrauch des Erdöls auftreten, sind hingegen als Zusatzquelle vernachlässigbar, da in Kuwait nur etwa die Vorkriegsförderung von 2,6% der jährlichen Weltölfördermenge verbrannt. In den Rechnungen wurden lediglich die Auswirkungen der Rußwolken auf das Klima untersucht, nicht aber die auf die stratosphärische Ozonschicht. Weil jedoch kein nennenswerter Rußtransport in die Stratosphäre berechnet und beobachtet wurde, sollte mit signifikanten Auswirkungen auf das Ozon in der Stratosphäre nicht zu rechnen sein.

Das in Hamburg entwickelte und auch für Szenarienrechnungen zum zusätzlichen Treibhauseffekt eingesetzte gekoppelte Ozean-Atmosphäre-Modell (vgl. MPG Jahrbuch 1990, S.640 ff.) wurde um den Spurenstoff Ruß und einen zugehörigen Strahlungsmodul erweitert. Letzterer war notwendig, da im Standardmodell die Wirkung von Aerosolteilchen nur über einen festen Aerosoltyp berücksichtigt wird und der Strahlungseffekt der Rußteilchen höhenabhängig berechnet werden mußte.

In einem „worst case“-Szenario verbrannten ab 15. Februar 1991 täglich 440000 t Rohöl, also die doppelte Vorkriegs-Jahresfördermenge Kuwaits von etwa 80 Mio t, wovon 10% als Ruß in die Atmosphäre entwichen. Die Rußwolken reichten beim Start nur bis 2 km Höhe, wie aus vorge-schalteten Simulationen mit räumlich hochauflösenden mesoskaligen Modellen und aus Satellitenbeobachtungen abgeschätzt wurde. Die Modellrechnungen begannen am 1. Januar eines Standardmodellauflaufs und dauerten insgesamt 13 Monate, davon $11\frac{1}{2}$ mit Rußbelastung.

Die Rechnungen, die Mitte Februar 1991 beendet waren, zeigen keine signifikanten Auswirkungen auf das globale Klima. Auch eine oft vermutete Abschwächung des indischen Sommermonsuns 1991 trat wie in der Realität nicht auf. Die vernachlässigbare Änderung der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre ist in erster Linie auf die relativ kurze Lebensdauer der Rußpartikel (10–20 Tage) in der Troposphäre zurückzuführen, aus der sie überwiegend durch Niederschlag entfernt werden. Daher waren sowohl die Ablagerung des Rußes als auch die Änderungen der einfallenden Sonnenstrahlung auf die Regionen um den Golf bis nach Ostafrika und Indien beschränkt (Abb. 1).

Auswirkungen des Pinatubo. Nach dem Ausbruch des Vulkans Pinatubo auf den Philippinen im Juni 1991 stand erneut die Frage nach möglichen Klimaänderungen im Blickpunkt des öffentlichen Interesses. Da Vulkane in großer Menge Gase und Partikel in die Atmosphäre schleudern, können sie den Strahlungshaushalt der Erde erheblich stören und zu weltweiten Änderungen in verschiedenen Klimaparametern führen. Ein Zusammenhang zwischen starken Vulkanausbrüchen und beobachteten Änderungen etwa der bodennahen Lufttemperatur oder der stratosphärischen Ozonschicht konnte allerdings bisher nur in wenigen Fällen nachgewiesen werden, obwohl schon 1784 Benjamin Franklin auf den möglichen Zusammenhang zwischen dem extrem strengen nordamerikanischen Winter 1783/84 und zwei Vulkanausbrüchen im



Jahr zuvor hingewiesen hatte. Im Jahr 1883 löschte die Eruption des Krakatau sogar fast eine Insel in Indonesien aus und verursachte einen markanten Einbruch der Temperatur auf der Nordhalbkugel im Jahr danach – wie zuletzt, allerdings nicht eindeutig, nach dem Ausbruch des El Chichón in Mexiko im Jahre 1982.

Ausbrüche, nach denen es zu gewaltigen Verwüstungen gekommen ist, etwa durch große Lavaströme, verändern nicht notwen-

Abb. 1: Berechnete Verminderung der Sonnenstrahlung [W/m^2] an der Erdoberfläche im Monat Juli als Folge der brennenden Ölquellen in Kuwait (oben) und Rußablagerung nach 6 Monaten [mg m^{-2}].

digerweise das Klima. Auf der anderen Seite können Eruptionen, die vor Ort wenig Schaden anrichten, das Klima beeinflussen. Entscheidend dafür ist die Injektionshöhe, also die Höhe, in die vulkanisches Material

direkt eingebracht wird. Bei einigen Vulkanausbrüchen können Gase und Partikel infolge der starken Energiefreisetzung und der geringen Stabilität der Schichtung in der Atmosphäre direkt in die Stratosphäre gelangen, je nach Breite oberhalb 10–17 km. Von besonderer Bedeutung ist dabei die Schwefeldioxidmenge (SO_2), weil die daraus entstehenden winzigen Schwefelsäuretröpfchen (H_2SO_4) bis zu einigen Jahren in der Stratosphäre verweilen können und horizontal verteilt wie ein Schleier um die Erde liegen. Die Schwefelsäuretröpfchen streuen Sonnenstrahlung in den Weltraum zurück und absorbieren schwach, wodurch in Erdbodennähe eine Abkühlung möglich ist und in der Stratosphäre eine Erwärmung auftritt. Zudem wird der Eintrag von SO_2 und anderer Stoffe in die Stratosphäre, wie etwa von Wasserdampf oder Chlor, Auswirkungen auf die stratosphärische Ozonschicht haben.

Eine quantitative Abschätzung des Effekts von Vulkanausbrüchen auf das Klima ist allerdings recht schwierig, weil die durch Vulkane induzierten Klimaänderungen von einer Vielzahl anderer Klimaschwankungen überlagert sind, welche abschwächend oder auch verstärkend wirken können. Korrelationsrechnungen zwischen Temperaturzeitreihen und verschiedenen Vulkanindizes liefern daher bestenfalls schwach signifikante Zusammenhänge, wohl auch weil Meßdaten, vor allem über die Menge und Zusammensetzung des durch Vulkane emittierten Materials und die in der Atmosphäre erreichte Höhe für die Zeit vor 1980 meist fehlen.

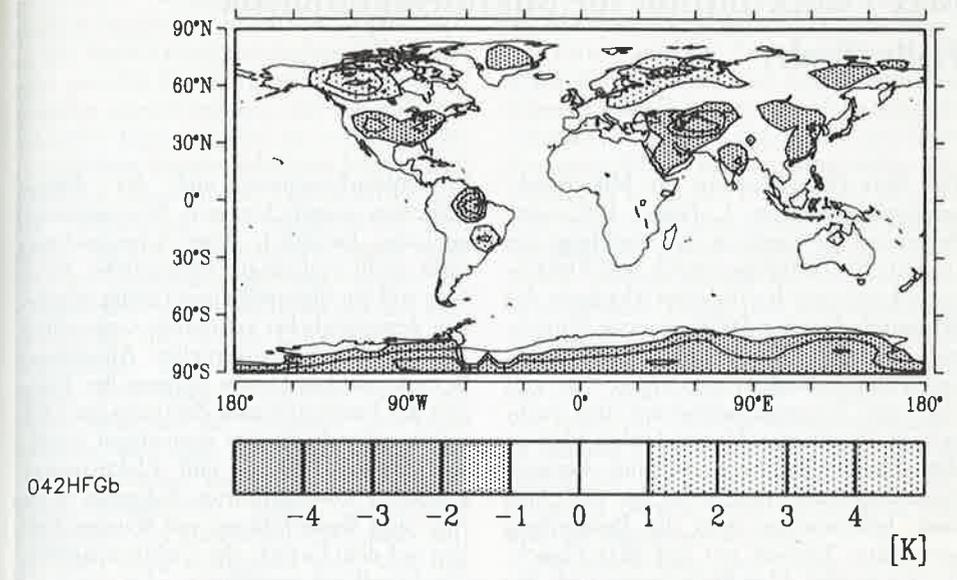
Das Beispiel des mexikanischen Vulkans El Chichón, der im Frühjahr 1982 ausbrach, verdeutlicht die Schwierigkeit, den Klimaeffekt von Vulkanen zu isolieren. Zur Zeit des Ausbruches setzte nämlich auch das stärkste El-Niño-Ereignis dieses Jahrhunderts ein (mit El Niño bezeichnet man eine anomale Erwärmung der Oberfläche des östlichen tropischen Pazifiks, die in unregelmäßigen Abständen von drei bis sieben Jahren auftritt). Das Jahr 1982 zeigte zwar tatsächlich einen Rückgang der nordhemisphärischen Lufttemperatur in Erdbod-

denhöhe um wenige Zehntel Grad sowie einen deutlich stärkeren Temperaturanstieg in der Stratosphäre wie nach Vulkanausbrüchen erwartet, aber 1983 stieg die Temperatur in Erdbodennähe wieder auf besonders hohe Werte wegen des außergewöhnlich starken El Niño, obwohl die Stratosphäre immer noch stark mit vulkanischem Material belastet war.

Mit statistischen Verfahren sucht man deshalb nach Anomalieusername, die eindeutig Vulkanen zugeordnet werden können. Ähnlich dem Fingerabdruck beim Menschen hofft man dabei, daß Vulkane eine charakteristische Spur im Klimageschehen hinterlassen. So ist es plausibel anzunehmen, daß Vulkane sich regional recht unterschiedlich auf das Klima auswirken, in manchen Gebieten sollte es infolge geänderter Zirkulation auch zu Temperaturerhöhungen kommen.

Klimamodelle, gefüttert mit Beobachtungsdaten, können diesen „Fingerabdruck“ der Vulkane liefern. Für den Pinatubo stand dazu ausreichend Beobachtungsmaterial zur Verfügung. Mit etwa 20 Mio t SO_2 , die direkt in die Stratosphäre injiziert wurden, war der Ausbruch des Pinatubo wahrscheinlich der bisher stärkste Vulkanausbruch dieses Jahrhunderts. Das verwendete Klimamodell ist die atmosphärische Komponente des gekoppelten Ozean-Atmosphäre-Modells, welches auch für die Folgen der Ölbrände zum Einsatz kam. Als Antrieb für das Modell wurden breiten- und höhenabhängige Heizraten in der Stratosphäre vorgeschrieben, die mit einem speziellen Strahlungstransportmodell berechnet wurden.

Die berechnete Temperaturänderung in 2 m Höhe für Januar 1992 (Abb. 2) zeigt ein hohes Maß an Übereinstimmung mit den Beobachtungen. Allerdings sind die Ergebnisse statistisch gesehen nicht signifikant, da das berechnete Anomalieusername auch ohne externe Störungen vom Modell in einem zwanzig Jahre langen Kontrolllauf gelegentlich annähernd simuliert wird. Es erscheint daher plausibel, daß der Pinatubo die atmosphärische Zirkulation dahingehend beeinflusst hat, einen speziellen ihrer



natürlichen Zustände anzunehmen (*Bakan, Graf, Latif, Schult*).

Theoretische Klimamodellierung (L. Bengtsson)

Arbeitsgebiete

Fortentwicklung numerischer Klimamodelle durch verbesserte Parameterisierung und höhere räumliche Auflösung; damit Abschätzung der Vorhersagbarkeit und der Variabilität des Klimas im Zeitbereich von

Abb. 2: Berechnete Anomalie der Temperatur in 2 m Höhe [$^{\circ}\text{C}$] im Januar 1992 als Folge des Ausbruchs des Vulkans Pinatubo (Philippinen).

Monaten bis zu hundert Jahren, insbesondere sollen die quasi-zweijährigen Schwankungen und das El-Niño-Ereignis verstanden werden.

Anschrift

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