

Vorwort

Synoptik und Fronten

M. STREZ (DWD Offenbach)
Zur Rolle diagnostischer Mittelwerte in der Arbeit des Wettervorhersagezentrums
(Übersichtsbeitrag)

H. LITIGER (ECMWF Reading)
Erste Erfahrungen mit dem neuen Hochleistungs-Modell (T2136) der ECMWF

H. WEINGÄRTNER (AAR für Wetterphysik Trier-Trail) und
Objektive lokale Best-Calling-Verfahren mit dem Projekt Omega (Operational
Meteorological Forecasting Information System)

K. KNÜPFER (DLR Berlin)
Erfahrungen bei der Implementierung eines statistischen Interpretations- und
Bericht-Verfahrens (MFR) (VERBILT) in das Wetterdienst-System (MFR)

H. KRAUS (Universität Bonn)
Vergleich synoptischer Strukturen

H. HALBERG, G. FRATYBS (FU Berlin)
Nicht-lineare Wechselwirkungen von

Deutsche Meteorologen-Tagung 1992

vom 16. bis 20. März 1992 in Berlin

R. SAUSEN, W. FÖRST, T. STILMANN (Universität Hamburg)
Objektive Trennung individueller Zyklen und Distillationen

K. BUNKE, C. WASSER (DLR E-O) und
Korrelationskoeffizienten für

R. STEINACKER (Universität Innsbruck)
Diagnose und Interpretation von Fronten im Alpenraum

K.-P. HODKA (DLR Oberpfaffenhofen)
Was haben wir von „Jense-Experimenten, IOP“ gelernt?

D. HEIMANN (DLR Oberpfaffenhofen)
Die Wechselwirkung von Föhn und Kaltwasser im nördlichen Alpenraum

J. EDGER (Universität München)
Wirkung einer Frontalzone an einem Tag

H. FICHLER (Universität Innsbruck)
Orographisch induzierte Zyklogenese im Bereich des Mittelmeerraums – ALPES-
Experiment

K. KÖHLER, G. ZWIRZ, A. BECKER, B. KILGER, F. SCHALLER (Forschungsinstitut
Geographie, Fernstudien und Universität Bonn)
Simulation der Wechselwirkung zwischen Föhn und Gewittern

A. DANIEL, H. B. SCHLÖSSER (Universität Bonn)

Offenbach am Main 1992
 Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes
 ISSN 0072-4122

Die für die Veröffentlichung als Vorabdruck zur Meteorologen-Tagung 1992 eingereichten Manuskripte stellen erweiterte Zusammenfassungen oder Kurzfassungen der Vorträge dar. Für ihren Inhalt sind die Verfasser verantwortlich. Die Wiedergabe der Zusammenfassungen nimmt eine spätere ausführliche Darstellung der Vorträge und ihre Veröffentlichung durch die Autoren an anderer Stelle nicht vorweg.

ISSN 0072-4122

ISBN 3-88148-271-7

Herausgeber und Verlag:

Deutscher Wetterdienst, Zentralamt
Frankfurter Straße 135
D-6050 Offenbach a. M.

Redaktionsschluß: 13. Januar 1992

W. TRAMPF (DWD Offenbach)	
Flächenmäßige Darstellung der Verdunstung durch Gitterpunktwerte.....	142
H. LOHSE, A. MÜLLER, H. SIEWERS (GKSS Geesthacht)	
Mikrometeorologische Messungen im Wattenmeer.....	143
C. HAUSTEIN, H. MEYER (Universität München)	
Profildfahrten zur Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Variabilität von bodennahen Emissionen im Ballungsraum München.....	144
 Aktuelle Probleme der Theoretischen Meteorologie	
H. FORTAK (FU Berlin)	
Nichtlineare Dynamik und Strukturbildung (Übersichtsvortrag mit Film)	149
U. WACKER (Universität Frankfurt)	
Strukturuntersuchungen in der Wolkenphysik mit nichtlinearen Parameterisierungsansätzen.....	151
K. HASSELMANN, R. SAUSEN, E. MAIER-REIMER, R. VOSS (MPI und Universität Hamburg und DLR Oberpfaffenhofen)	
 Das Kaltstartproblem bei Klimasimulationen mit gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modellen.....	153
P. CARL (Zentralinstitut für Elektronenphysik Berlin)	
Dynamische Struktur und Sensitivität des planetaren Monsunsystems in einem Grobgitter-Zirkulationsmodell der Troposphäre.....	155
J. PELKOWSKI (Universität Frankfurt)	
Zur Rolle der Entropieerzeugungsrate in der Klimatheorie.....	157
F. HERBERT (Universität Frankfurt)	
Trägheitswirkung und Antisymmetrie im Wärmetransportgesetz.....	159
H.-J. LANGE (FU Berlin)	
Nichtlineare Verallgemeinerungen der Blackadar'schen Theorie des „Low Level Jet“	161
R. BLENDER (FU Berlin)	
Inertial-Range-Spektrum eines fraktalen Turbulenzmodells.....	163
A. DÖRNBRACK (DLR Oberpfaffenhofen)	
Vergleich der Ergebnisse der Schließung 2. Ordnung mit Daten der direkten numerischen Simulation für die turbulente Diffusion in geschichteten Scherströmungen..	164
A. MUSCHINSKI (Universität Hannover)	
Eine Gleichung zur Berechnung horizontal homogener und stationärer turbulenter Strömungen auf der Basis einer lokalen Interpretation der Heisenbergschen Turbulenztheorie.....	165
P. NÉVIR (FU Berlin)	
Hamiltonsche Dynamik nichtlinearer Rossby-Haurwitz-Wellen.....	167
H.-F. ALBERT (HU Berlin)	
Über den Nutzen der feldtheoretischen Formulierung der Grundgleichungen der theoretischen Meteorologie.....	169
A. MÜNZENBERG (Universität Bonn)	
Quasilineare Instabilitäts- und Strukturanalyse auf der Mesoskala.....	171
H. KAPITZKA (GKSS Geesthacht)	
Numerische Experimente mit dem Adjungierten eines Mesoskalen-Modells.....	173
U. CALLIES, D. P. EPEL (GKSS Geesthacht)	
Datenassimilation für numerische Modelle als durch Einfluß der Diskretisierung schlecht gestelltes Optimierungsproblem.....	175

Das Kaltstartproblem bei Klimasimulationen mit gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modellen

Klaus Hasselmann¹, Robert Sausen², Ernst Maier-Reimer¹ und Reinhard Voß³

¹ MPI für Meteorologie, Bundesstraße 55, W-2000 Hamburg 13

² DLR, Institut für Physik der Atmosphäre, W-8031 Oberpfaffenhofen

³ Meteorol. Inst., Universität Hamburg, Bundesstr. 55, W-2000 Hamburg 13

1 Einleitung

Seit längerer Zeit ist bekannt, daß die Wirkung des transienten Anstiegs der anthropogenen Treibhausgase auf das globale Klima mit gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Zirkulationsmodellen untersucht werden sollte. Allerdings stehen erst in jüngster Zeit ausreichend realistische Modelle und hinreichend leistungsfähige Supercomputer zur Verfügung, um derartige Simulationen über längere Zeiträume durchführen zu können. Trotzdem begrenzen die vorhandenen Computerkapazitäten immer noch solche Simulationen. Keine der in jüngster Zeit abgeschlossenen Treibhausgas-Szenarienrechnungen konnte den gesamten Zeitraum des Anstiegs der CO_2 -Konzentration seit Beginn des 19. Jahrhunderts einschließen und gleichzeitig einen entsprechend langen Zeitraum in die Zukunft integrieren. Um die Rechenzeit zu begrenzen, wurde als Anfangszustand ein Gleichgewichtszustand nahe dem heute beobachteten Klima gewählt.

Die Hamburger Simulationen der globalgemittelten bodennahen Lufttemperatur (Cubasch et al., 1991; siehe auch Abb. 2) zeigen während der ersten 40 Modelljahre deutliche geringere Temperaturerhöhungen als die IPCC-Ergebnisse (Houghton et al., 1990), die mit einfachen Advektions-Diffusions-Modellen berechnet wurden. Hier stellt sich nun die Frage, ob die verzögerte Erwärmung einen wirklichen Unterschied zwischen beiden Modellen widerspiegelt und auch in der Realität zu erwarten ist oder ob die Verzögerung eine Folge der unterschiedlichen Anfangsbedingungen ist.

2 Der Kaltstartfehler

Im folgenden betrachten wir nur kleine Störungen des Gleichgewichtszustandes, so daß wir lineare Approximationen anwenden dürfen. Sei $\vec{R}(t)$ die lineare Antwort eines Klimamodells auf eine stufenförmige Störung der Höhe 1. Dann ist die lineare Antwort des Modells $\vec{\Phi}$ auf eine beliebige Störung $F(t)$ (mit $F(t) = 0$ für $t \leq 0$) gegeben durch

$$\begin{aligned}\vec{\Phi}(t) &= \int_0^t \frac{dF}{du}(u) \vec{R}(t-u) du \\ &= \int_0^t F(u) \vec{G}(t-u) du.\end{aligned}\quad (1)$$

Hierbei ist $\vec{G}(t) = \frac{d\vec{R}}{dt}$ die Responsefunktion (Greenfunktion) des Systems.

Der Kaltstartfehler ist definiert als die Differenz aus zwei Klimaänderungsexperimenten:

- Im Warmstart-Experiment (wu) mit dem Klimasignal $\vec{\Phi}_{wu}(t)$ wird der Antrieb $F_{wu} \equiv F(t)$ zum Zeitpunkt $t = t_a$ eingeschaltet.
- Im Kaltstart-Experiment (cs) mit dem Klimasignal $\vec{\Phi}_{cs}(t)$ wird zur Zeit $t = t_b > t_a$ der Antrieb

$$F_{cs}(t) = F(t) - F(t_b) \quad (2)$$

eingeschaltet.

Für beide Fälle betrachten wir für den Zeitraum $t > t_b$ die Klimaänderung $\Delta\vec{\Phi}$ relativ zum Klimazustand zur Zeit t_b :

$$\Delta\vec{\Phi}_{wu}(t) = \vec{\Phi}_{wu}(t) - \vec{\Phi}_{wu}(t_b) \quad (3)$$

$$\Delta\vec{\Phi}_{cs}(t) = \vec{\Phi}_{cs}(t) \quad (4)$$

Mit (1) und (2) ergibt sich dann für den Kaltstartfehler

$$\begin{aligned}\delta\vec{\Phi}(t) &= \Delta\vec{\Phi}_{cs}(t) - \Delta\vec{\Phi}_{wu}(t) \\ &= - \int_{t_a}^{t_b} F(u) [\vec{G}(t-u) - \vec{G}(t_b-u)] du \\ &\quad - F(t_b) \vec{R}(t-t_b).\end{aligned}\quad (5)$$

Die Greenfunktion $G(t)$ läßt sich für nicht degenerierte lineare Systeme als Linearkombination von Einzelmoden mit komplexen Eigenwerten $\mu_j = \lambda_j - i\omega_j$, $\lambda_j > 0$ darstellen:

$$G(t) = \sum_j \alpha_j e^{-\mu_j t} \quad (6)$$

$$R(t) = \sum_j \frac{\alpha_j}{\mu_j} (1 - e^{-\mu_j t}) \quad (7)$$

Für den Kaltstartfehler ergibt sich jetzt

$$\delta\vec{\Phi}(t) = - \sum_j R_j(t - t_b) K_j(t_b - t_a) \quad (8)$$

mit

$$K_j(t_b - t_a) = -\mu_j e^{-\mu_j t_b} \int_{t_a}^{t_b} F(u) e^{\mu_j u} du - F(t_b). \quad (9)$$

3 Anwendung auf die Hamburger Szenarierechnungen

Cubasch et al. (1991) simulierten mit dem Hamburger gekoppelten Atmosphäre-Ozean-Modell ECHAM-1/LSG die Wirkung von vier CO_2 -Anstiegsszenarien (Abb. 1): In zwei Simulationen steigt die äquivalente CO_2 -Konzentration gemäß der IPCC-Szenarien A und D (Houghton et al., 1990), in der dritten ("2 × CO_2 ") wird ein plötzlicher Anstieg von 390 ppm auf 720 ppm untersucht. Im vierten Experiment ("1 × CO_2 ") wird die Konzentration auf den Ausgangswert (390 ppm) fixiert. Alle Experimente starten 1985 von einem Gleichgewichtszustand. Hier betrachten wir nur Szenario A. Abb. 2 zeigt die Entwicklung der globalgemittelten bodennahen Lufttemperatur. Zusätzlich ist auch die entsprechende IPCC-Kurve ("best estimate") eingetragen.

Für unseren linearen Response nehmen wir an, daß der Antrieb proportional zum Logarithmus der äquivalenten CO_2 -Konzentration ist:

$$F(t) = \frac{\ln(c(t)/c(t_b))}{\ln(c_2/c(t_b))}. \quad (10)$$

Hierbei ist $t_b = 1985$ und c_2 ist die Konzentration im "2 × CO_2 "-Experiment.

Wenn man nur einen Mode berücksichtigt und den linearen Response gemäß (1) an die Temperaturänderung für Szenario A anpaßt, so erhält man $\mu = 1/(36.8a)$ und $\alpha/\mu = 2.246K$. Der mittlere quadratische Fehler dieser Approximation (siehe Abb. 2) ist 0.06 K. Der sich gemäß (8) und (9) ergebende Fehler konvergiert für große Zeiten gegen 0.51 K.

In Abb. 2 wurde der Kaltstartfehler von der von ECHAM-1/LSG simulierten Temperaturänderung subtrahiert. Wie man sieht, kann die verzögerte Erwärmung des komplexen Modells durch den Kaltstartfehler erklärt werden. Die restlichen Unterschiede zwischen dem IPCC-Modell und ECHAM-1/LSG könnten auf eine unterschiedliche Sensitivität der Modelle zurückgeführt werden. Aber auch

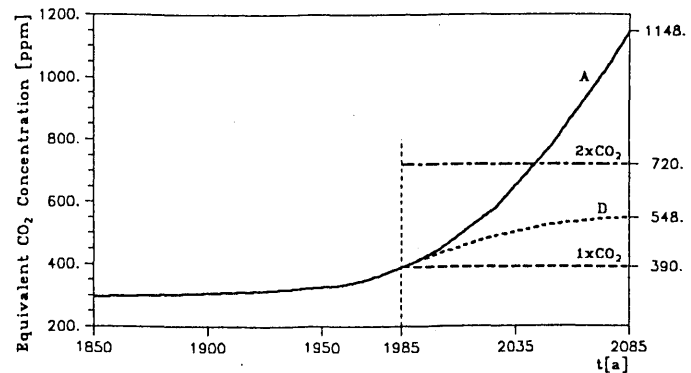


Abbildung 1: Vergangene äquivalente CO_2 -Konzentration und Entwicklung in vier Szenarien.

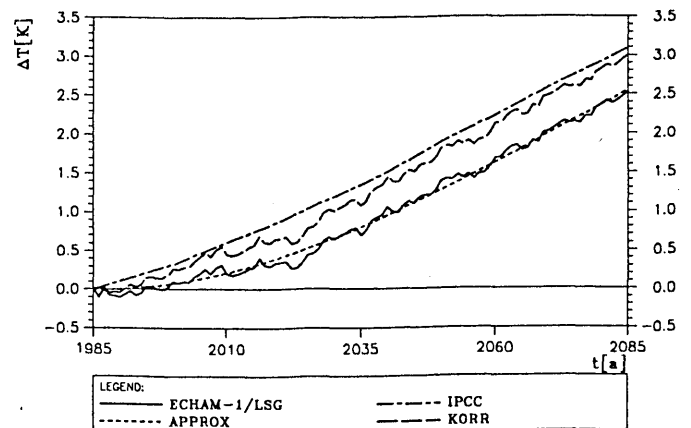


Abbildung 2: Globales Mittel der bodennahen Lufttemperatur bei Szenario A: Simulation mit ECHAM-1/LSG, IPCC-Resultat ("best estimate"), lineare Approximation der ECHAM-1/LSG-Simulation (APPROX) und um den Kaltstartfehler korrigierte ECHAM-1/LSG-Simulation (KORR).

interne Variabilität und/oder nichtlineare Effekte könnten die Ursache für diese Unterschiede sein.

Literaturverzeichnis

- CUBASCH, U., K. HASSELMANN, H. HÖCK, E. MAIER-REIMER, U. MIKOLAJEWICZ, B.D. SANTER and R. SAUSEN, 1991: Time-dependent greenhouse warming computations with a coupled ocean-atmosphere model. Max-Planck-Institut für Meteorologie, Report No. 67, Hamburg, 18 pp.
- HOUGHTON, J.T., G.J. JENKINS and J.J. EPHRAUMS (EDS.), 1990: Climate change. The IPCC scientific assessment. Cambridge University Press, Cambridge, 365 pp.