

Meteorologisches Institut
- BIBLIOTHEK -
2000 Hamburg 13 • Bundesstraße 55

ANNALEN DER METEOROLOGIE

(Neue Folge)

Nr. 15

Deutsche Meteorologen-Tagung
1980

Offenbach am Main 1980

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

KLIMAMODELLE

Klaus Hasselmann

Max-Planck-Institut für Meteorologie

Ein Charakteristikum des globalen Klimasystems ist seine Zusammensetzung aus mehreren gekoppelten Untersystemen mit zum Teil sehr unterschiedlichen Zeitskalen. Hieraus ergeben sich mehrere Folgerungen, die sich einerseits auf die Struktur natürlicher Klimaschwankungen beziehen, andererseits Wege zur Konstruktion einfacher Klimamodelle aufzeigen. Nach einem Überblick über die statistischen Schwankungseigenschaften von gekoppelten Systemen unterschiedlicher Zeitskalen wird kurz auf das Problem der Konstruktion und Eichung von Klimamodellen anhand von Beobachtungsdaten eingegangen, wobei die unterschiedlichen Wechselwirkungszeiten der klimatischen Untersysteme als wichtiges Hilfsmittel zur Unterscheidung der Richtung der kausalen Rückkopplungsketten herangezogen wird.

Wird ein schnell veränderliches System (Atmosphäre), das aufgrund interner Instabilitäten zufällige (Wetter-)Schwankungen erfährt, an ein wesentlich trägeres System (Ozean und Kryosphäre) angekoppelt, so werden vom trägen System die kurzzeitigen Schwankungen des schnell veränderlichen Systems über längere Zeit aufsummiert. Diese Integration führt zu einer gewichtsmäßigen Verstärkung des langperiodischen Teils des Schwankungsspektrums mit dem Ergebnis, daß das ursprüngliche "weiße" Spektrum der atmosphärischen Anfachung in ein langperiodisches "rotes" Spektrum umgewandelt wird, das qualitativ viel Ähnlichkeit mit den Spektren beobachteter Klimaschwankungen aufweist. Quantitativ ergaben dann auch Modellrechnungen der Meerestemperaturschwankungen infolge einer stochastischen Anfachung durch die Atmosphäre eine gute Übereinstimmung mit den berechneten Spektren der beobachteten Meerestemperaturschwankungen der letzten dreißig Jahre. Auch für längere Perioden bis zu einigen tausend Jahren konnte mit einem zonal gemittelten globalen Budyko-Sellers Klimamodell eine größenordnungsmäßige Übereinstimmung zwischen der stochastischen Theorie und Beobachtungen erzielt werden. Allerdings sind die bestehenden globalen Klimamodelle für Untersuchungen von Klimaschwankungen über Zeiträume dieser Größenordnung wenig zuverlässig, da die einzelnen Unterkomponenten des Klimasystems hierin stark vereinfacht werden.

Für die zuverlässige Modellierung von Klimaschwankungen und Klimaentwicklungen über Perioden länger als einige Jahrzehnte müssen in erster Linie bessere Modelle der trägen Kompo-

nenten des Klimasystems entwickelt werden. Dies betrifft insbesondere die ozeanische Zirkulation und die Dynamik von Meereseis und Eisplatten. Eine wesentliche Vereinfachung der Modellierung der ozeanischen Zirkulation läßt sich durch eine konsequente Ausfiltrierung der für klimatische Zeitskalen unwesentlichen Bewegungsformen (interne Schwerewellen, barotrope Rossby-Wellen) erzielen. Ein Modell dieser Struktur wäre gut geeignet, die Wärmespeicherung und den Wärmetransport des Ozeans sowie auch die Rolle des Ozeans im CO₂-Kreislauf zu beschreiben. Zur Dynamik von See-Eis und Eisplatten liegen zwar einige Modellvorstellungen vor, diese sind aber bisher noch nicht in geeigneter Form in einem Klimamodell inkorporiert worden. Zur Vervollständigung eines Modells des Langzeitverhaltens des Klimas muß schließlich die Rückkopplung der trägen Komponenten des Systems auf die Atmosphäre erfaßt werden. Die üblichen allgemeinen Zirkulationsmodelle der Atmosphäre sind hierfür wegen ihres großen Rechenaufwandes ungeeignet; benötigt werden vielmehr einfache (eventuell sogar linearisierte) Responsemodelle, die die quasi-stationäre Anpassung der Atmosphäre an die langsam veränderlichen Randwerte erfassen, die sich aus den Änderungen der trägen Komponenten des Klimasystems ergeben. Es sind zwar einige vereinfachte atmosphärische Responsemodelle dieser Art vorgeschlagen, aber bisher noch nicht anhand von Beobachtungsdaten hinreichend geprüft worden.

Ein alternativer Zugang zur Konstruktion gekoppelter Klimamodelle beginnt nicht bei der modellgemäßen Formulierung der dynamischen Struktur der Einzelsysteme, sondern versucht, die Wechselwirkungen innerhalb des Gesamtklimasystems durch systematische Analyse längerer Beobachtungsreihen, möglichst frei von physikalischen Hypothesen, direkt aus Beobachtungsdaten abzuleiten. Dieser systemanalytische Zugang bietet den großen Vorteil, daß bei genügend langen Zeitserien sämtliche Eigenschaften des Systems prinzipiell allein aus den Daten abgeleitet werden können. In Praxis ist jedoch die Aussagefähigkeit des Verfahrens mehr oder weniger stark begrenzt durch die Endlichkeit der verfügbaren Datensätze. Das eigentliche Problem der Methode liegt dann darin, den statistisch gesicherten Informationsgehalt des vorgegebenen Datensatzes exakt zu ermitteln und auszuschöpfen. Durch die Entwicklung einer geeigneten Modellierungsstrategie konnten in ersten Anwendungen des Verfah-

rens bereits einfache Modelle der Wechselwirkung der Meeresoberflächentemperatur und des Meereseises mit der Atmosphäre aus geeigneten Zeitserien abgeleitet werden, ohne Voraussetzung von Detailkenntnissen über die Prozesse in der obersten Deckschicht des Ozeans oder bei der Meereseisbildung. Die Unterschiedlichkeit

der Zeitskalen des atmosphärischen und des Ozean-Kryosphäre-Systems, die eine Beschreibung der wichtigsten Komponente der atmosphärischen Anfachung als weißes Rauschen erlaubt, ergab dabei eine wesentliche Erleichterung bei der Strukturanalyse.