

**Annalen
der Meteorologie**

(Neue Folge)

Nr. 23

**Deutsche Meteorologen-Tagung
1986**

Offenbach am Main 1986

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

SKALENABHÄNGIGE MODELLE FÜR DIE KLIMAFORSCHUNG*

Hartmut Graßl

Institut für Physik, Forschungszentrum Geesthacht
und Institut für Meteorologie, Universität Hamburg

1. Einleitung

Das Klima jedes Ortes auf der Erde wird von der Wechselwirkung aller Teile des Klimasystems bestimmt. Somit ist es für Island zum Beispiel nicht unerheblich, wie tief die winterliche Durchmischung des Atlantik im Gebiet nordwestlich von Schottland reicht und welche Temperatur dabei das aus subtropischen Breiten advehierte Wasser der permanenten Temperatursprungschicht dort hatte, wobei es bei Durchmischung - meist nach vielen Jahren - wieder Kontakt mit der Oberfläche bekommt.

Im kleinskaligen Bereich hängt es oft von nur geringfügigen Eingriffen des Menschen und damit von der veränderten Oberflächenrauigkeit oder dem Wasserhaushalt des Bodens ab, ob die Temperaturamplitude eines Tages sich drastisch ändert.

2. Skalen

Es hat sich eingebürgert, vom synoptischen oder großskaligen Bereich, vom mesoskaligen oder auch regionalen Bereich und von der Mikroskala zu sprechen. Dabei sind die Grenzen - wie so häufig - zwar leicht zu defini-

nieren, aber oft den Klimaprozessen trotzdem nicht angemessen. Dazu kommt die Wechselwirkung verschiedener unterschiedlich großer Systemkomponenten auf breiten zeitlichen Skalen: ein kleines Inlandsgebiet über Jahrtausende existierend hat auf die Verteilung der Druckgebiete in der Atmosphäre einen sicherlich schwächeren Einfluß als die riesigen im Winter schneebedeckten Gebiete Eurasiens, die nach wenigen Monaten wieder schneefrei sind. Wie bekommt man Einblick in die Wechselwirkungen? Durch Messungen und numerische Modelle.

3. Modelle

Da das permanente meteorologische Beobachtungsnetz meist nur den synoptischen Bereich über Kontinenten auflöst, ist unser Wissen über großskalige Zusammenhänge besonders angewachsen. Auch die mathematisch-numerischen Modelle für diesen Bereich, die globalen Wettervorhersagemodelle, sind, weil stets von den Beobachtungen im Dauertest geprüft, weiter vorangekommen als die für kleinere Teilgebiete und auch die als Klimamodelle bezeichneten Atmosphärenmodelle. Streng genommen ist erst ein die Komponenten verbindendes Modell, also eine gemeinsame Beschreibung von Ozean, Atmosphäre, Kryosphäre, Landoberfläche und Biosphäre, ein Klimamodell.

Vielfach jedoch verwendet man den vollständigen Gleichungssatz - auch primitive Gleichungen genannt - nicht, weil bestimmte numerische Fehler ausgeschaltet werden sollen. Diese Reduktion der Gleichungen ist

*Dieser kurze Beitrag ist als Einführung in die folgenden Beiträge zu Modellen zu verstehen und stellt keine eigene Veröffentlichung dar

stark vom zu lösenden Problem und damit von der Skala abhängig. Daraus folgt eine Fülle von Modellen, jeweils nur für eine spezielle Anwendung optimiert. Anders ausgedrückt heißt das, daß es kein für viele Fragen gleichzeitig anwendbares Modell gibt.

Obwohl die Tendenz zu dreidimensionalen Modellen hoher räumlicher Auflösung besteht, so ist keineswegs die Zeit für eine Aufgabe sehr einfacher und damit oft nur eindimensionaler Modelle gekommen. Das Verständnis bestimmter Wechselwirkungen geht oft auf diese einfachen Modelle zurück. Erwähnt sei die positive Rückkopplung zwischen Temperaturzunahme und Abnahme der Albedo nördlicher Breiten sowie die Reaktion des Wasserdampfes auf einen Treibhauseffekt anderer Gase die beide mit eindimensionalen Modellen ergründet wurden, bevor sie in Zirkulationsmodelle eingebaut wurden.

4. Modellanwendung

Die numerischen Modelle in der Meteorologie und Klimaforschung haben trotz ihrer Unzulänglichkeiten viele Anwendungsbereiche erobert und werden diese in naher Zukunft noch erheblich ausweiten. So werden globale Modelle verwendet für

- Wettervorhersage
- Untersuchung der Wechselwirkungen im Klimasystem
- Berechnung von Gleichgewichtszuständen bei veränderten äußeren Bedingungen wie der Zusammensetzung der Atmosphäre
- ersten Gehversuchen zur Klimavorhersage

Modelle für Teile der Erdoberfläche, also regionale und mesoskalige Modelle werden gegenwärtig noch weniger eingesetzt als globale, weil sie meist nur in Vernetzung mit diesen und daher nicht so leicht aussagekräftig sind, sie versprechen aber einen wichtigen Beitrag zu

- Objektivierung der Lokalvorhersage
- Entdeckung regionaler Wirkung globaler Trends
- Ausbreitung von Luftbeimengungen im gegliederten Gelände
- Hilfe bei Regional- und Stadtplanung

Zu beinahe allen diesen Anwendungsbereichen gibt es Beispiele in diesem Band, wenn auch die Beiträge zur Kopplung von Klimasystemkomponenten gemessen an der Bedeutung noch etwas unterrepräsentiert sind.

Reihen wir die 'Klima'-Modelle entsprechend ihrem geographischen Bereich auf, nämlich in globale, regionale (Europa), mesoskalige (Oberrhein), mikroskalige (Waldlichtung), so sind Modelliererfolge bei den Außenseitern eher vorhanden als bei regionalen und mesoskaligen, sie sind also skalenabhängig, weil erstere ohne bzw. schon durch einfache Startbedingungen aussagekräftig sind. So wird ein als 'Klimamodell' verwendetes Zirkulationsmodell der Atmosphäre von der völligen Ruhe aus startend nach 30 - 60 Tagen Integrationszeit und Januarsonne das typische Januarklima in diesem 30-Tage-Mittel liefern, sofern klimatologische Werte der Ozeanoberflächentemperatur vorgegeben werden. Die noch immer auftretenden Fehler werden aus zwei Quellen gespeist:

1. Numerik, d.h. Näherung bei der Diskretisierung von Differentialgleichungen und
2. Parametrisierung, d.h. nicht ausreichend genaue Darstellung kleinskaliger vom Rechengitter nicht aufgelöster physikalischer Vorgänge durch mittlere Werte an den Gitterpunkten.

Diese letzten Behauptungen implizieren, daß wir - bei hypothetischer extremer räumlicher Auflösung - schon wüßten, wie das Problem zu formulieren ist: Durch Massenerhaltung, den ersten und den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik, das zweite Newtonsche Axiom (Im-

pulssatz) und die Zustandsgleichungen der Systemkomponenten, also der Luft, des Wassers, des Eises und der Böden sowie die den Wasser- und Energiehaushalt beeinflussenden Eigenschaften der Biosphäre ist das Klimasystem ausreichend genau beschrieben. Danach ist jeder größere Rechner, da er ja eine Reduktion der Gitterabstände erlaubt, in zweifacher Weise günstig: numerische wie Parametrisierungsfehler nehmen ab.

Nicht unerwähnt bleiben sollte die Anwendung von Modellergebnissen bei der Planung von Feldexperimenten und bei der Festlegung von Teilbereichen des Systems mit eindeutigster Reaktion auf anthropogene Störungen.

6. Lücken

Die wesentlichste Lücke ist die noch nicht geglückte Kopplung der wesentlichsten Klimakomponenten, denn sie stellt extreme Anforderung an die Genauigkeit der Parametrisierung einzelner Prozesse. So wird eine nur um wenige Watt pro Quadratmeter falsche Strahlungsbilanz an der Ozeanoberfläche bei einer Umwälzzeit des Ozeans von Jahrhunderten nach dieser Zeit zu einem weit von der Realität entfernten Klimazustand führen. Weiterhin ist die Wechselwirkung mit der Biosphäre ein Stiefkind der Klimaforschung.

Für den mesoskaligen Bereich, aber auch mittelbar für den globalen wegen der Parametrisierung, werden all die Prozesse wichtig, die früher im Bereich zwischen Mikroturbulenz und synoptischer Skala im Minimum der Energiespektren angesiedelt waren. Sie haben dennoch große Bedeutung, wie zum Beispiel die schraubenförmigen Bewegungen in Wolkenstraßen und einzelnen Cumulonimben, die Anordnung der Konvektionselemente in offenen oder geschlossenen Zellen, die Ausbildung kleinräumiger polarer Tiefdruckgebiete, die ozeanischen Wirbel an der Eiskante, um nur einige zu nennen. Auch zu diesen Lücken gibt es Beiträge in diesem Band.