

# Ein stochastisches Modell der natürlichen Klimavariabilität

K. HASSELMANN<sup>1</sup>

Ein charakteristisches Merkmal natürlicher Klimaschwankungen ist die quasi-kontinuierliche Verteilung der Schwankungsenergie auf ein sehr breites Frequenzspektrum, ohne ausgeprägte Periodizitäten, bei einer Zunahme der Energie zu längeren Perioden hin. Dieser "rote" Charakter klimatischer Varianzspektren läßt sich qualitativ – im Einzelbeispiel sogar quantitativ – mit einem einfachen stochastischen Modell erklären, bei dem langperiodische klimatische Schwankungen auf die Einwirkung kurzzeitiger Wetterschwankungen zurückgeführt werden. Die Umwandlung kurzzeitiger Wettereinwirkungen in langperiodische Klimaschwankungen beruht auf der integrierenden Eigenschaft einiger großer, sehr träger Wärmespeicher im Klimasystem, vorwiegend im Ozean und in den polaren Eismassen. Im klimatisch relevanten Periodenbereich, d.h. für Perioden, die groß sind gegen die charakteristischen Zeitskalen der Wetterveränderlichkeit, kann das Spektrum der natürlichen Wettervariabilität praktisch als konstant ("weiß") angesehen werden. Die Ozeane und Eiskappen, die mit der Atmosphäre über den Wärmekreislauf eng gekoppelt sind, erfahren diese atmosphärische (Wetter-)Variabilität als eine Veränderlichkeit des atmosphärischen Wärmestroms. Da die Temperaturen der Wärmespeicher Ozean oder Kryosphäre sich in erster Linie durch Aufsummation dieses veränderlichen Wärmestromes bestimmen, wird dann das weiße Anfachungsspektrum des Wärmestromes durch Integration in ein rotes Temperaturvarianzspektrum umgewandelt, das näherungsweise dem Quadrat der Periode proportional ist. Das Modell wurde im Zeitbereich von Monaten bis einigen Jahren anhand gemessener natürlicher Fluktuationen der Meeresoberflächentemperaturen getestet und qualitativ bestätigt. Hierbei wurde der Ozean in Form eines flachen Deckschichtmodells erfaßt. Die Anwendung auf ein einfaches zonal gemitteltes Budyko-Sellers Energiebilanzmodell unter Berücksichtigung der Wärmespeicherung des tiefen Ozeans ergab dann Klimaschwankungen im Periodenbereich von 10 bis  $10^4$  Jahren, die ebenfalls größenordnungsmäßig mit beobachteten Klimaschwankungen übereinstimmten. Für die Anwendung auf noch längere Perioden müßte das Modell durch Berücksichtigung der Dynamik der polaren Eiskappen noch erweitert werden. Eine detaillierte, quantitative Prüfung der Grundvoraussetzungen des stochastischen Modells im Periodenbereich größer als etwa 10 Jahre ist allerdings zur Zeit noch nicht möglich. Dies erfordert die Entwicklung eines ins einzelne gehenden Klimamodells, unter Berücksichtigung der globalen ozeanischen Zirkulation, der biologischen und chemischen Kreisläufe und vieler anderer Faktoren, die den Langzeitresponse des Systems unter Einwirkung der kurzzeitigen Wetterschwankungen im einzelnen bestimmen. Unabhängig von der detaillierten Struktur des Modells läßt sich jedoch aus dem stochastischen Modell allgemein ableiten, daß künftige natürliche Klimaschwankungen prinzipiell nur beschränkt vorhersagbar sind, da die Ursachen der Schwankungen in kurzzeitigen Wetterschwankungen der Atmosphäre liegen, die ihrerseits über längere Zeiten wegen der inhärenten Instabilität der atmosphärischen Zirkulation nicht vorhersagbar sind.

---

<sup>1</sup>Max-Planck-Institut für Meteorologie, D-2000 Hamburg

Literatur

- Frankignoul, C.: Stochastic forcing models of climate variability. Rep. JOC/SCOR Joint Study Conf. Gen. Circul. Models of the Ocean and their Relations to Climate, Helsinki 1977, V72-91
- Frankignoul, C., Hasselmann, K.: Stochastic climate models, Part 2. Application to sea-surface temperature anomalies and thermocline variability. *Tellus* 29, 289-392 (1977)
- Hasselmann, K.: Stochastic climate models, Part 1. Theory. *Tellus* 28, 473-485 (1976)
- Hasselmann, K.: The dynamical coupling between the atmosphere and the ocean, WMO Reports on Marine Science Affairs, Report No. 11, The Influence of the Ocean on Climate, Lectures presented at the 28. session of the WMO Executive Committee, 31-44 (1977)
- Lemke, P.: Stochastic climate models, Part 3. Application to zonally averaged energy models. *Tellus* 29, 385-392 (1977)
- Reynolds, R.W.: Sea surface temperature anomalies in the North Pacific Ocean. *Tellus* 30, 97-103 (1978)