

## Literatur

- [1] Gupta, A.K.; Smith, R.W.: Kinetic study of the reaction of acids with asbestos minerals; Proc. Int. Symp. Water-Rock Interact., Meeting Date 1974, p. 417–425; edited by Cadek, J.; Paces, T., Ustred Ustav Geol. Prague
- [2] Hinz, W.: Silicat-Lexikon; Akademie-Verlag Berlin 1985
- [3] DE-OS 4027844; Legat, W.; Zimmermann, F.; Hüge, W.: Verfahren zur Zersetzung von Asbest
- [4] Knop: Jahresberichte über die Fortschritte der Chemie 1858, S. 148; nach Beilsteins Handbuch der Organischen Chemie, Bd. III, S. 55; Julius-Springer-Verlag Berlin 1921
- [5] Zhang, Z.; Shao, M.; Xu, X.; Tang, Y.; Tu, Y.: Kexue Tongbao 27 [1982] 658
- [6] Calov, U.; Forkel, K.; Wilde, W.; Adam, K.; Elies, G.; Jungnickel, R.; Brink, E.: 12. ibasil (Weimar) 1994, 228
- [7] Ullmanns Encyclopädie der Technischen Chemie, 4. Aufl., Bd. 8, S. 339; Verlag Chemie Weinheim/Bergstraße 1974
- [8] DE-OS 4314824 (O.T. 03.11.1994); Calov, U.; Forkel, K.; Wilde, W.; Elies, G.; Adam, K.; Jungnickel, R.; Brink, E.: Mittel zur Durchführung von Stoffwandlungsprozessen für anorganisch-nichtmetallische Faserstoffe, insbesondere für Stoffe aus der Gruppe der Asbestmaterialien
- [9] DE-OS 19509707 (O. T. 12.09.1996); Calov, U.; Forkel, K.; Brink, E.: Mittel und Methode zur Durchführung von Stoffwandlungsprozessen im Zusammenhang mit der Beseitigung gesundheitsschädlicher faserförmiger Feststoffe zumindest in der Oberfläche asbestbelasteter Bauteile, insbesondere sämtlicher im Baugewerbe eingesetzten alten Isoliermaterialien, Spritzputze und andere Faserstoffe enthaltende Materialien auf Basis von Asbestfasern oder gesundheitsgefährdenden künstlichen Mineralfasern
- [10] DE-OS 19523735 (O. T. 27.12.1995); Calov, U.; Emmrich; Forkel, K.; Unger; Wihmann, F. G.: Reaktives Mittel zur Bindung und chemischen Veränderung von gesundheitsgefährdenden Faserstoffen, insbesondere von Asbest, sowie Verfahren zur Behandlung der diese Faserstoffe enthaltenden Baustoffe

Wolfgang Böhme

**Information über die 4. Internationale Konferenz über die Modellierung von globalen Klimaänderungen und globaler Klimavariabilität (Hamburg 13. – 17. Sept. 1999)\***

Die Konferenz wurde wie die vorangehenden 3 vom Max-Planck Institut (MPI) für Meteorologie Hamburg veranstaltet. Die erste hatte vor ca. 10 Jahren stattgefunden. Auf der 4. Konferenz wurden insgesamt über 80 Vorträge gehalten; die Zahl der vorgestellten Poster betrug etwa 180. Die Abstracts sind in einem Tagungsband vereint (MPI, 1999).

Es wurde faktisch eine Bilanz über die Entwicklung der Klimamodellierung und Klimavorhersage in den vergangenen 10 Jahren, insbesondere in den letzten 3 Jahren seit der 3. Konferenz dieser Art gezogen. Besonders hervorgehoben sind:

(1.) der rasche Fortschritt bei der Entwicklung gekoppelter Ozean/Atmosphäre-Modelle für jahreszeitliche und Jahresvorhersagen, der sich unter anderem in der jetzt erreichten Fähigkeit zeigt, El-Nino-Ereignisse etwa über ein Jahr im Voraus vorherzusagen (worüber insbesondere unser Mitglied Karl Lanius hier einige Male Informationen gegeben hat);

(2.) die deutliche Verbesserung der Nachbildung von Klimaänderungsprozessen, wozu einleitend Lennart Bengtsson als einer der 3 maßgeblichen Veranstalter vom MPI für Meteorologie schon konstatieren konnte, daß es möglich wurde sowohl die beobachtete Entwicklung des Klimas in den letzten Dezennien mit den Modellresultaten in gute Übereinstimmung zu bringen wie auch Entwicklungen in der prähistorischen Zeit (abgeleitet aus Eisbohrkernen, Baumringen u. ä.) besser zu verstehen. „Die Ähnlichkeit zwischen den Modellresultaten und den Beobachtungsergebnissen verstärkt das Vertrauen in die Modellierungsergebnisse für das zukünftige Klima, wobei im übrigen der ausgeprägte Erwärmungstrend in diesem Jahrhundert in Übereinstimmung steht mit der anwachsenden Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre“. Und er fährt fort: „Trotz dieses Fortschrittes

\* (als Kurzfassung) vorgestellt vor der Klasse Naturwissenschaften am 16.12.1999.

sind die erzielten Ergebnisse nur der allererste Schritt zum Aufbau einer robusten Kapazität für Klimaüberwachung und -vorhersage – einem Aufbau, der wahrscheinlich viele von uns ‘gemeint sind die Modellierer’ in der Zukunft beschäftigen und gewiß eine dominierende Rolle in den nächsten Dezennien spielen wird ähnlich wie es die Modellierung in der numerischen Wettervorhersage in den 80 und 90er Jahren getan hat“.

Eine Illustration für die Nachbildung der ablaufenden Erwärmung durch Modelle, die die Treibhausgase bzw. die Treibhausgase und das Sulfataerosol einbeziehen, zeigt die Abb. 1.

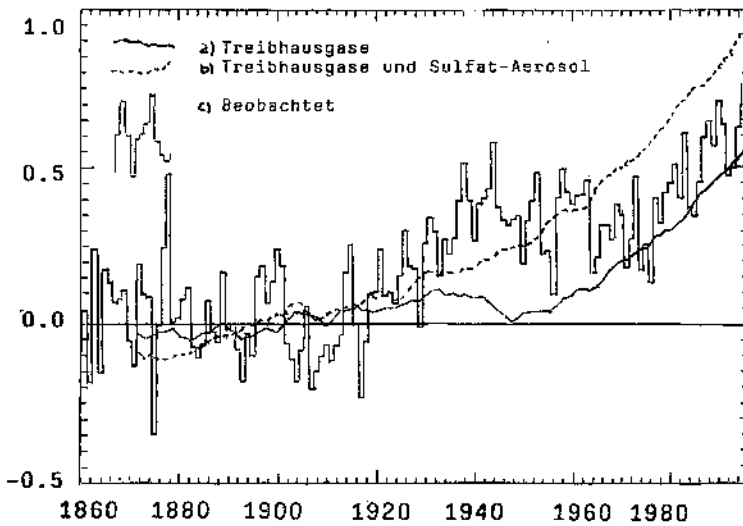


Abb. 1: Abweichungen der globalen Jahresmitteltemperaturen an der Erdoberfläche entsprechend a) einem Modell mit Berücksichtigung der Zunahme der Treibhausgaskonzentration, b) einem Modell mit zusätzlicher Berücksichtigung des direkten Effektes des Sulfat-Aerosols, gegenübergestellt den c) Beobachtungen (zusammengestellt vom britischen Hadley-Zentrum für Klimaänderungen und Klimaforschungen, übernommen aus einer Veröffentlichung „A Research Programme on Climate Variability and Predictability for the 21st Century“ zum Programm CLIVAR (Climate Variability and Predictability) des WCRP (Weltklimaforschungsprogramms) von 1997).

(3.) das gegenwärtige rasche Voranschreiten der Einbeziehung weiterer Komponenten des Klimasystems (zusätzlich zur Ozean-Atmosphäre-Wechselwirkung) in die Modellierung. Insbesondere betrifft dies jetzt in sehr umfassender Weise die atmosphärische Chemie wie auch verschiedene biogeochemische Prozesse (wie z. B. des Ozons oder auch des Methanhaushaltes). Hier sind im nächsten Dezennium wahrscheinlich sehr wesentliche neue Erkenntnisse zu erwarten.

(4.) ein sehr bedeutsamer Punkt betrifft Fortschritte bei den numerischen Experimenten mit den komplexer werdenden Klimamodellen, insbesondere wurde auf verschiedenem Wege festgestellt, daß es bisher nicht erschlossenes prognostisches Potential für die Vorhersage der Entwicklung über Monate bis Dezennien gibt. Zu den verschiedenen Möglichkeiten, dieses Potential nutzbar zu machen, gehören die weitere Entwicklung der Ensemblemethodik und der Kombination von numerischen und statistischen Verfahren.

Es wurde auf dieser Konferenz mehrfach und massiv belegt, worauf wir, K. Balzer vom DWD, Bereich Potsdam, und ich schon früher hingewiesen haben (s. hierzu u. a. Böhme, 1998, Balzer et. al, 1995, Balzer et al., 1998), daß Ensembles von Vorhersagen mit verschiedenen Modellen den Ensembles mit einem Modell, aber variierten Anfangsbedingungen, hinsichtlich der Güte der Vorhersagen fast immer deutlich überlegen sind.

Auf eine weitere Verbesserungsmöglichkeit, d. h. auf ein recht hohes zusätzliches Vorhersagepotential, das etwa in der Zielrichtung meines Vortrages im Jahre 1998 (Böhme, 1998) liegt, haben Krishnamurti und Mitarbeiter von der staatlichen Universität in Florida in eindrucksvoller Weise hingewiesen (Krishnamurti et al., 1999a und 1999b). Sie konnten am Lorenzmodell aus dem Jahre 1963 (Lorenz, 1963) für ein nichtlineares, dynamisches System zeigen, daß die multiplen Regressionskoeffizienten zwischen einer Lösung des Systems bei einem bestimmten Wert der im System wirkenden Kräfte und einem großen Ensemble von Lösungen mit jeweils verschiedenen Werten dieser Kräfte (also unterschiedlichen physikalischen Bedingungen, was der Verwendung unterschiedlicher Modelle entspricht) eine deutliche zeitliche Invarianz (oder zumindest nur eine geringe zeitliche Veränderlichkeit) aufweisen. Das war nicht erwartet worden.

Krishnamurti et al. haben jedenfalls dieses Herangehen an ein nichtlineares System auf die Wetter- und Klimaproblematik übertragen und gezeigt, daß die Anwendung der Ergebnisse der multiplen Regression von

Multimodellensembeln auf unabhängige neue Daten (was dann von K. als Multimodell-Superensemble bezeichnet wird) von sehr hohem prognostischen Wert ist.

Sie haben das an mehreren, sehr unterschiedlichen Anwendungen mit unterschiedlichem Zeitscale belegt. Die Fehler werden dabei durch die mittlere quadratische Abweichung der Modellergebnisse gegenüber der beobachteten Wirklichkeit (also durch den rms error) charakterisiert. – Die Abb. 2 zeigt für den meridionalen Wind in der 850-hPa-Fläche über dem indischen Monsungebiet für die Anwendung des Superensembles wesentlich günstigere Ergebnisse als für die Anwendung jedes einzelnen Modells. Der mittlere quadratische Fehler des Superensembles beträgt nur noch ca. 1 ms<sup>-1</sup>, was in der Nähe der Meßgenauigkeit liegt.

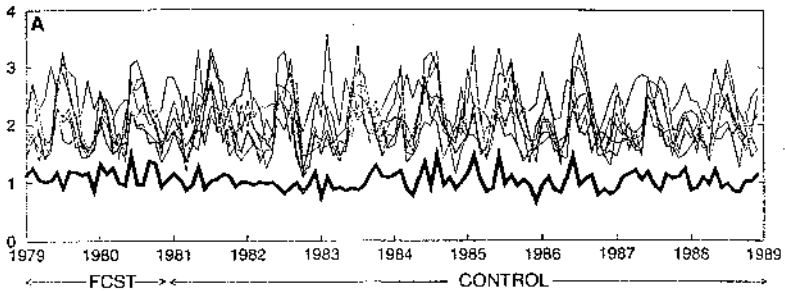


Abb. 2: Mittlerer quadratischer Fehler des Superensembles (dick ausgezogene Kurve) und verschiedener einzelner Modelle (dünne Kurven) für den mittleren meridionalen Wind des indischen Monsungebietes in der 850-hPa-Druckfläche (ca. 1 km Höhe). Hier wurde der Zeitraum 1979/1980 für die Bestimmung der multiplen Korrelationskoeffizienten genutzt. (Aus Krishnamurti, T. N. et al., 1999b).

Die zitierte Originalarbeit von Krishnamurti et al. (1999b) enthält eine ähnliche Abbildung für den monatlichen mittleren Niederschlag der Monsunregion Indiens. Der mittlere quadratische Fehler der vom Superensemble gelieferten Vorhersagen beträgt mit durchschnittlich 2 mm/Tag nur noch etwa die Hälfte bis 1/3 der Fehler der einzelnen Modelle. – Weiter wird u. a. auch belegt, daß auf dem schwierigen Gebiet einer 3-Tage-Vorhersage des Verhaltens tropischer Wirbelstürme (Zugbahn und Intensität) noch deutliche Fortschritte möglich sind.

Insgesamt kann man wahrscheinlich den Schluß ziehen, daß mit der (an einfachen Systemen nachgewiesenen und an komplexeren hinsichtlich ihrer Auswirkungen bestätigten) Zeitinvarianz der multiplen Regressionskoeffizienten zwischen den Mitgliedern von Modellensembeln bei nichtlinearen Systemen ein wesentlicher Teil der Dynamik des nichtlinearen Systems (oder anders gesagt: der wesentliche Teil der Freiheitsgrade des Systems) erfaßt wird. Die Bedeutung dieser Erkenntnisse geht sicher über Meteorologie und Klimatologie hinaus, da es überall komplexe dynamische Systeme gibt.

Wir sollten die Entwicklung auf diesem Gebiet zumindest mit großer Aufmerksamkeit weiter verfolgen oder vielleicht selbst hier ein Projekt gestalten, wobei man davon ausgehen muß, daß man auch für die statistische Seite der Berechnungen (multiple Regression von Feldverteilungen) eine leistungsfähige Computerausstattung benötigt.

### **Literatur:**

- Balzer, K., Emmrich, P., 1995: Gratis two-model-ensemble versus EPS. Proceedings Fifth Workshop on Meteorological Operational Systems, ECMWF Reading Nov. 1995
- Balzer, K., Enke, W., Wehry, W., 1998: Wettervorhersage, Menschen und Computer – Daten und Methoden. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Böhme, W., 1998: Atmosphärische Zirkulation und Chaos – Ergebnisse und Konsequenzen. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät, Band 24, Heft 5 (1998), 151–182
- Krishnamurti, T. N., et al., 1999a: Multi-Model Ensembles for Weather and Seasonal Climate Forecasts. In: MPI für Meteorologie, S. 85
- Krishnamurti, T. N., et al., 1999b: Improved Weather and Seasonal Climate Forecasts from Multimodel Superensemble. Science Vol. 285 (3 September 1999), 1548–1550
- Lorenz, E., 1963: Deterministic nonperiodic flow. J. Atm. Sci., 20, 131–141
- MPI für Meteorologie, 1999: 4th International Conference on Modelling of Global Climate Change and Variability, 13–17 September 1999: Abstracts, 234 Seiten