

Wolfgang Böhme

### **Beitrag zu Thematik „Klima und Menschheit“**

Im Workshop des Arbeitskreises am 10.12.2004 gab ich in meinem Beitrag einen kurzen Überblick über die bisherigen internationalen Aktivitäten zur Klimaproblematik und zum Klimaschutz und schätzte ein, dass die Hauptkenntnisse und Schlussfolgerungen in dem gemeinsamen, am 25.11.1993 vorgetragenen Beitrag von K.-H. Bernhardt und W. Böhme (veröffentlicht im Heft 1/2, 1994 der Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät) mit einigen Ergänzungen und Präzisierungen weiterhin gelten. Kopien der Thesen zu diesem Vortrag des Jahres 1993 wurden an alle Teilnehmer am Workshop verteilt und sind hier als Anhang 1 beigefügt.

Von mir wurde ausgeführt, dass, auch international gesehen, Fortschritte beim Verständnis der Klimaproblematik u. a. bestehen in der deutlicheren Unterscheidung innerhalb der Systemhierarchie Atmosphäre-Klimasystem-Erdsystem, in einer enormen Leistungssteigerung der Atmosphäre- und Klimamodelle, im Fortschritt bei der Aufklärung und der modellgestützten Beschreibung der Klimageschichte (mit Übergang zu quantitativen Aussagen seit den letzten Glazialperioden) und in der gewachsenen Einsicht in die (von Bernhardt und Böhme schon 1993 hervorgehobenen) Gefahr abrupter Klimaänderungen für die Möglichkeit irreversibler Übergänge des Klimasystems in bisher nicht (oder sehr lange nicht) aufgetretene Zustände.

Ich hob hervor, dass es bei der Bewältigung der Klimaproblematik grundsätzlich darum geht, die Wechselwirkung zwischen sehr komplexen Vorgängen in der Natur und nicht weniger komplexen Vorgängen in den menschlichen Gesellschaften umfassend zu verstehen, wobei viele Vorgänge sowohl in den einzelnen Bestandteilen des Klimasystems wie auch zwischen den beiden Hauptbestandteilen nichtlinearer Natur sein können, was eine Grundlage dafür ist, dass abrupte Änderungen im Systemverhalten auftreten. Die Unkenntnis oder Nichtbeachtung von solchen Wechselwirkungen nichtlinearer Art kann sich (wie auch in der Diskussion unterstrichen wurde) sehr

wohl in gravierenden Unterschieden des Verhaltens einer Modellwelt und der realen Welt auswirken.

Von mir wurden ausgehend von einigen eigenen konkreten Beiträgen, die zu Veröffentlichungen in den Sitzungsberichten der Leibniz-Sozietät geführt haben, Vorschläge für weitere Aktivitäten im Zusammenhang mit dem zur Diskussion stehenden Projekt gemacht:

1. Grundsätzlich Behandlung von Wechselwirkungen zwischen natürlichen und gesellschaftlichen komplexen Systemen (einschließlich der Behandlung der Wechselbeziehungen zwischen den Hauptunsicherheiten im Verständnis des Verhaltens dieser Systeme)
2. Studium spezieller Moden (insbesondere sprunghafte Zustandsänderungen) des Verhaltens komplexer dynamischer Systeme (z.B. plötzliches Auftreten und Änderungen von analogen Zuständen)
3. Erarbeitung und Teilnahme an der Bearbeitung eines Forschungsprojektes etwa unter einem Titel „Ausdehnung der Anwendung der in der Wetter- und Witterungsvorhersage gesammelten Erkenntnisse mit der Nutzung von Ensemblemethodiken bei einer statistischen Vielfalt von Zuständen komplexer dynamischer Systeme auf das Klima- bzw. Erdsystem (Basis: u.a. paläologische, auf die Klimaentwicklung bezogene Zeitreihen von Proxydaten, d. h. von indirekt erschlossenen Daten z. B. über Temperatur und Niederschlag aus Eisbohrkernen, Baumringaufschlüssen usw.).

In der Zwischenzeit (bis September 2005) hierzu zum Teil in Abstimmung mit K.-D. Jäger entwickelte Gedanken für das praktische Vorgehen sind im Anhang 2 wiedergegeben.

Weitere Ausführungen bezogen sich insbesondere

- a. auf die Stellungnahmen des Zwischenstaatlichen Komitees für Klimaänderung (Intergovernmental Panel on Climate Change = IPCC), insbesondere seine Dritte Einschätzung aus dem Jahre 2001 in der Form des „Syntheseberichtes“<sup>1</sup>, wobei zunächst Aussagen zum Nachweis anthropogener Einflüsse, zur Nutzung von Szenarios, zu Aussagen über mögliche zukünftige Entwicklungen, zu sozioökonomischen Auswirkungen, zu Folgen der Trägheit des Klimasystems und zu den Hauptunsicherheiten der Aussagen aufgeführt wurden;
- b. auf die Stellungnahmen des Deutschen Rates für Nachhaltige Entwick-

---

1 Erhältlich in deutsch kostenlos von Dr. Helmut Kühn, DLR-PT, Königswinter Str. 522, 53227 Bonn, Tel. 0228-4492-411, helmut.kuehn@dlr.de ; in Englisch etc. von www.ipcc.ch

- lung<sup>2</sup>, in denen als Leitlinien einer Nachhaltigkeitspolitik insbesondere Lebens- und Umweltpolitik, Generationengerechtigkeit, globale Verantwortung und sozialer Zusammenhalt aufgeführt werden, die überwiegend enge Beziehungen zur Klimaproblematik und zum Klimaschutz haben;
- c. auf Forschungsarbeiten, insbesondere auf solche, die im Auftrag des Umweltbundesamtes (UBA) bzw. durch das UBA gefördert durchgeführt werden; eine dieser Studien<sup>3</sup> wägt eine größere Zahl von konzeptionellen Varianten für die weitere unter dem Aspekt der Gerechtigkeit international zu regelnde Klimaschutzpolitik ab, die den Festlegungen im Artikel 2 der 1992 beschlossenen UN-Klimarahmenkonvention (UNFCCC) genügen, und zwar hinsichtlich ihrer Potentiale, ihrer Machbarkeit und Effizienz. Ich regte an, die unter c) erwähnte Studie im Arbeitskreis von einem der Autoren oder einem Vertreter des UBA vorstellen zu lassen und zu diskutieren.

Ich dankte K.-H. Bernhardt für dessen Mitwirkung an wesentlichen Teilen dieses Beitrags.

## **Anhang 1**

### **Thesen zum Vortrag „Klima und Menschheit“ von K. Bernhardt und W. Böhme 1993**

1. Das Klima bezeichnet die statistische Gesamtheit der atmosphärischen Zustände und Prozesse in ihrer raum-zeitlichen Verteilung, Es schließt insbesondere seltene und extreme meteorologische Erscheinungen als integrierende Bestandteile ein und erfordert zur Beschreibung seines jeweiligen Zustandes langjährige Beobachtungen (z.B. über 30 oder 50 Jahre).
2. Das Klima eines gegebenen Naturraumes resultiert aus der Wechselwirkung zirkulations- und lagebedingter Faktoren, wobei erstere den Einfluss des gesamten klimatischen Systems, letztere die lokalen geographischen Bedingungen (geographische Breite, Meereshöhe, Beschaffenheit der Unterlage) zum Ausdruck bringen.
3. Die Einwirkung der atmosphärischen Umwelt auf den Menschen als bio-

---

2 [www.nachhaltigkeitsrat.de](http://www.nachhaltigkeitsrat.de)

3 „Evolution of commitments under UNFCCC: involving newly industrial economies and developing countries“ in UBA-Reihe „Climate Change“ als Nr .01/03 ; [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

psychosoziale Einheit bezieht sich auf alle Komponenten dieser Einheit, wobei der Einfluss auf die Physis, bereits von Hippokrates beschrieben und von Humboldt zu einem Element seiner Klimadefinition erhoben, im Morbiditäts- und Mortalitätsgeschehen besonders evident ist.

4. Im sozialen Bereich beeinflusst die atmosphärische Umwelt alle Seiten des Produktionsprozesses, bringt Gratisseffekte und Störfaktoren (einschließlich meteorologischer Ereignisse mit Katastrophencharakter) hervor und konstituiert Naturbedingungen für den gesellschaftlichen Reproduktionsprozess.
5. Die Anthropozoenogenese vollzog sich in der – bezogen auf geologische Zeiträume – Ausnahmesituation eines Eiszeitalters mit aufeinanderfolgenden Kalt- und Warmzeiten (charakteristischer Zeitmaßstab:  $10^5$  bzw.  $10^4$  Jahre) und war innerhalb dieses Rahmens mehrfach von abrupten Klimaänderungen (Zeitmaßstab unter  $10^2$  bis zu  $10^3$  Jahren) in vorgeschichtlicher Zeit begleitet. Solche abrupten Klimaänderungen sind nach neuesten Untersuchungsergebnissen an Eisbohrkernen sowohl für die vorletzte Warmzeit Eem-Interglazial), als auch für die beiden letzten Kaltzeiten (Saale- und Weichselglazial) nachgewiesen, fehlen aber augenscheinlich in der holozänen Warmzeit und hängen vermutlich mit untereinander verkoppelten Prozessen im System polarer Eisschilde – thermohaline ozeanische Zirkulation – Atmosphäre höherer Breiten zusammen.
6. Das relativ gleichförmige Klimaregime des seit ca.  $10^4$  Jahren andauernden Interglazials durchlief im zu Ende gehenden Jahrtausend eine vergleichsweise bedeutende Schwankung zwischen „mittelalterlichem Optimum“, „kleiner Eiszeit“ und nachfolgender stufenweiser Erwärmung, die zumindest zeitweise und regional (Erwärmung der Arktis im Zeitraum 1920–1940) abrupt erscheint.
7. Die Einwirkungen des Menschen auf das Klima durch Veränderungen der Erdoberfläche (Landnutzung) sowie durch Energie- und Stoffeintrag in die Atmosphäre betrafen in der Vergangenheit hauptsächlich lagebedingte Klimafaktoren, beeinflussen aber mit der weltweiten Gas- und Partikelemission – besonders in Hinblick auf strahlungsaktive („Treibhaus“) und für die Spurenstoffchemie wirksame Gase (FCKW) – zunehmend auch die allgemeine Zirkulation und alle Komponenten des klimatischen Systems.
8. Das Stadtklima mit seinen charakteristischen Besonderheiten in bezug auf das Temperatur-, Strahlungs-, Wind-, Bewölkungs- und Niederschlagsfeld sowie auf luftchemische Parameter stellt einen Modellfall für ein anthropogen beeinflusstes Lokalklima, zugleich aber die Lebensumwelt für

einen wachsenden Anteil der Weltbevölkerung dar.

9. Die Sensitivität der Gesellschaft gegenüber Zuständen und Prozessen in der atmosphärischen Umwelt und damit auch gegenüber Klimaschwankungen hat im Laufe der Geschichte nicht durchweg abgenommen, sondern gewinnt im Zusammenhange z. B. mit Bevölkerungswachstum und -konzentration, erhöhtem Energie- und Ressourcenbedarf, vermehrtem Anfall an Abprodukten, veränderten Technologien und Spezialisierung der Wirtschaftsstruktur (bis hin zur Monokultur bzw. -ökonomie) eine neue Qualität, wobei infolge der globalen ökonomischen Verflechtung auch lokale Witterungs- bzw. regionale Klimaereignisse weltweite Auswirkungen haben können.
10. Die gegenwärtige und die zu erwartende künftige Klimaänderung resultieren aus der Überlagerung natürlicher und anthropogener Einflussfaktoren; relevante Veränderungen werden sich voraussichtlich einstellen, noch bevor eine hinreichend zuverlässige Grundlage für ihre Vorhersage geschaffen sein wird. Infolge der Komplexität und Nichtlinearität des Klimasystems ist eine ausreichend zuverlässige Klimavorhersage, wenn nicht unmöglich, so doch zumindest außerordentlich schwierig. Andererseits ist das Klimasystem wegen des ständigen Durchflusses der von der Sonne zugestrahlten Energie zu interner Strukturbildung bzw. zur Aufrechterhaltung vorhandener Struktur fähig. Dies kann sich günstig auf die Vorhersagbarkeit auswirken.
11. Auf Grund der bereits anthropogen freigesetzten strahlungswirksamen bzw. chemisch wirksamen Spurenstoffe sind insbesondere globale Erwärmung und Abbau stratosphärischen Ozons zu erwarten, deren zeitlicher Ablauf und regionale Verteilung aber im einzelnen nicht vorhersagbar sind.
12. Ungeachtet der bestehenden Unsicherheiten im Detail sollte die weltweit zu verfolgende Strategie darin bestehen, den Ablauf der anthropogenen Klimaänderungen durch Reduktion der Emission zu verlangsamen und solche Anpassungsmaßnahmen vorzunehmen, die auch dann nutzbringend sind, falls die erwarteten Klimaänderungen nicht oder verspätet eintreten.

## Anhang 2

### **Gedanken und Möglichkeiten zur Einschätzung der Entwicklung des Klimas in Mitteleuropa in den ca. nächsten 50 Jahren**

#### ***I. Generelle Grundlagen:***

1. Als Grundlage für eine Einschätzung der globalen Klimaentwicklung kann zur Zeit der 3. Sachstandbericht des IPCC von 2001 hinsichtlich einer fortschreitenden, durch menschliche Aktivitäten (Emission von Treibhausgasen) bedingten globalen Erwärmung mit den entsprechenden Konsequenzen (u. a. Gletscherschmelzen, Meeresspiegelanstieg) gelten.
2. In den letzten 25 Jahren wurde eine enorme Leistungssteigerung der Atmosphären- und Klimamodelle erreicht.
3. Aber viele Vorgänge sowohl in und zwischen den einzelnen Bestandteilen des Klimasystems und zwischen dem Klimasystem und der menschlichen Gesellschaft sind nichtlinearer Natur. Sie können die Ursache für abrupte Änderungen im Verhalten des Klimasystems sein. Aus Proxydatenreihen wird immer deutlicher, dass solche rasche Zustandsänderungen des Klimasystems (z.B. hinsichtlich des Temperatur- und Niederschlagsverhaltens) in der Vergangenheit (auch innerhalb des Holozäns) mehrfach stattgefunden haben.
4. Die Unkenntnis oder Nichtbeachtung von solchen Wechselwirkungen nichtlinearer Art kann sich sehr wohl in einem Unterschied des Verhaltens der betrachteten Modellwelt und der realen Welt auswirken.
5. Die Menschheit kann auf die erwartete Entwicklung des Klimas durch Vermeidung von weiteren Störungen des Klimasystems (insbesondere durch Reduzierung der Treibhausgasemissionen) sowie durch rechtzeitige Anpassungsmaßnahmen auf mögliche Klimaentwicklungen reagieren.
6. Hinsichtlich der Notwendigkeit der globalen Verminderung der Treibhausgas-Emissionen besteht prinzipiell Übereinstimmung. Die regionalen Anpassungsmaßnahmen müssen jedoch die Vielzahl möglicher unterschiedlicher abrupter Klimamodifikationen (u.a. in thermischer und hygrischer Hinsicht sowie hinsichtlich der zeitlichen/jahreszeitlichen Strukturierung) berücksichtigen. – Da die konkreten Anpassungsmaßnahmen für die verschiedenen Klimavariationen oftmals sehr spezifisch sein müssen und zeit-, kosten- und materialaufwendig sein können, ist es sehr wünschenswert, möglichst frühzeitig in Erfahrung zu bringen, mit welcher Wahrscheinlichkeit die infrage kommenden abrupten Klimaänderungen erwartet werden müssen.

## **II. Speziellere problembezogene Erkenntnisse über das Verhalten von Atmosphäre und Ozean als Teil des Klimasystems:**

1. In den letzten 20 Jahren wurden bei der Einführung und zunehmenden Nutzung der Ensemblemethodik in der Wetter- und Witterungsvorhersage wesentliche Fortschritte gemacht und neue Erkenntnisse erschlossen. Dem Wesen nach besteht diese Methodik darin, dass die Vorhersage nicht nur für einen Fall von Anfangswerten und/oder Modellparametern, sondern für ein ganzes Ensemble unterschiedlicher Anfangswertverteilungen und/oder Modellparameter durchgeführt wird und dass dann die Aussagen der Vorhersage grundsätzlich probabilistischen, d.h. Wahrscheinlichkeitscharakter haben (z.B. Balzer und Emmerich 1992, Ehrendorfer 1997, Ziehmann 1998). Vom Autor wurde mit Erfolg eine Erweiterung auf Ensembles von statistischen Vorhersageverfahren vorgenommen (Böhme 1999, Böhme et al. 2001).
2. Diese Verfahren und Erkenntnisse lassen sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auch auf das Gebiet der Vorhersage des Zustandsablaufs von Klimasystemen ausdehnen. Folgendes wird hierbei benutzt bzw. erkannt:
3. Unbestritten ist: Die Wetter- und Witterungsprozesse in der Atmosphäre unterliegen den Grundsätzen des deterministischen Chaos (Lorenz 1963, Fraedrich 1996, z.B. auch Böhme 1999). Das bedeutet zumindest, dass die Vorhersagbarkeit des Wetterzustandes bzw. -ablaufes auf 5 bis 10 Tage begrenzt ist.
4. Andererseits gab es in zunehmenden Maße (Smith 1995, Böhme 1993, 1994, 1999 besonders Seiten 159-164, Bernhardt et al. 1994) Erkenntnisse, dass definitive kurzzeitige (d.h. im Extremfall impulshafte) Störungsvorgänge zu Abweichungsstrukturen führen, die das „Rauschen“ des deterministischen Chaos überstehen, obwohl die Amplituden der Komponenten des „Rauschens“ um den Faktor 10 größer sind als die Amplitude der durch die Störung generierten Abweichungsstrukturen. Zum Beispiel sind diese Abweichungsstrukturen nach hochreichenden Vulkaneruptionen über mehrere Jahre nachweisbar, obwohl die anfängliche Temperaturstörung nur wenige Zehntel °C beträgt.
5. Es ist dabei offensichtlich, dass es sehr bald nach solchen kurzzeitigen Störungen für den weiteren Ablauf der Abweichungsstrukturen nicht mehr von Belang ist, wie die Abweichungsstrukturen entstanden sind und ob sie eventuell von internen Prozessen des Klimasystems (und nicht von externen Anregungen) herrühren. Dies erleichtert es, das Auftreten analoger Zustände prognostisch zu verwerten.

6. Wenn man für einen bestimmten Witterungsablauf um einen Stichtag z. B. über 10 Tage in Mitteleuropa Analoga in der Vergangenheit mit gleichem Jahreszeitenbereich und mit einem Ähnlichkeitswert über einer bestimmten Grenze sucht, so findet man bei einer nicht zu hohen Grenze für den Ähnlichkeitswert leicht eine große Anzahl solcher Analoga, die aber mit ablaufender Vorhersagezeit recht schnell divergieren, also nur für einen relativ kurzen Zeitraum ein Vorhersagepotential haben. – Wenn man dann zum Witterungsverlauf zum gleichen Zeitpunkt (zum gleichen Stichtag) an anderer Stelle (zum Beispiel über Nordamerika) Analoga aus der Vergangenheit in ähnlicher Weise herausucht, so sind darunter im Allgemeinen auch Analoga, die denselben „Analogieabstand“ haben wie Analoga in Mitteleuropa. Das Ensemble von Analoga, die an beiden Stellen (z.B. Mitteleuropa und Nordamerika) den gleichen Analogieabstand haben, divergieren in der Regel wesentlich langsamer als das Ensemble des Gesamtkollektives, d. h. mit diesen Analoga gibt es ein höheres Vorhersagepotential (detailliertere Erläuterungen hierzu in Böhme 2004, S.104-106). Mit einem Ensemble solcher Witterungsanaloga in Mitteleuropa, die in ähnlicher Weise mit gleichen Analogieabständen zugleich in anderen Regionen auftreten, können Vorhersagen für einen Zeitraum gemacht werden, der in der Größenordnung um den Faktor 10 länger ist, als wenn man alle Analoga gleichzeitig benutzt, die sich in Mitteleuropa allein ergeben.
7. Generell hängt diese eigenartige Eigenschaft der atmosphärischen Vorgänge wahrscheinlich mit der Fähigkeit der Atmosphäre oder des Klimasystems (als komplexe nichtlineare Systeme) zur Selbstorganisation zusammen. Die in Selbstorganisation entstehenden atmosphärischen Strukturen haben die Eigenschaft, dass die Lebenszeit einer Struktur (und damit auch die oberer Grenze der Vorhersagbarkeit) umso größer ist (z. B. Fortak 1982 u.a. S.92 f., Böhme 2004), je größer die räumliche Struktur ist (zum Beispiel Windhose, Tornado, Tropischer Wirbelsturm, Zentraltieftief der gemäßigten Breiten).
8. Es gibt keine Anhaltspunkte dafür, dass diese Erkenntnisse nicht auch auf das Verhalten des Klimasystems anwendbar sind.

***III. Wie könnte man zur Nutzung dieser Eigenschaft und bei der Verwendung paläoklimatischer Datenreihen (Proxydaten) vorgehen, und zwar für einen Zeitraum von  $t = 0$  bis  $t = -T$  ?***

1. Wir gehen davon aus, dass wir an N Stellen Proxydatenreihen  $X_i$  ( $i = 1 \dots N$ ) haben. Dabei kann es sich um beliebige, unterschiedliche klima-

tologische Elemente handeln (z. B. Temperatur, Niederschlag, Jahresmittelwert, bzw. 0 – Summen, andere grob abgeschätzte Werte der Feuchteverhältnisse, Jahreszeitenverhältnisse, Häufigkeit von Extremverhältnissen etc., sie müssen nur objektiv definiert sein).

2. Aus der Reihe (1)  $X_1$  (z.B. Reihe aus Mitteleuropa) werden  $j$  analoge Verhältnisse aus der Vergangenheit (das können auch Zustandabläufe sein) festgestellt. Sie haben die Analogieabstände zu „heute“ von  $(A_j(X_1))$  mit  $j = 1 \dots D_{1,j}$ .
3. Von anderen Orten werden die Zeitreihen  $X_i$  anderer klimatologischer Größen auf ihre Analoga (der jeweils eigenen Reihe)  $A_j(X_i)$  mit  $j = 1 \dots D_{ij}$  untersucht, z.B. zunächst für eine Proxyreihe (2)  $X_2$  aus Südamerika usw.
4. Dann werden die Analogieabstände  $A$  der Reihe (1) gesucht, die auch in der Reihe (2) auftreten. Das Ensemble dieser in (1) und (2) gleichzeitig auftretenden Analogieabstände steht dann für eventuelle prognostische Aussagen zur Verfügung. Man kann aber auch gleichzeitig noch weitere Reihen auf parallel auftretende Analogieabstände untersuchen und hieraus gegebenenfalls weitere strukturelle und inhaltliche Schlüsse abzuleiten versuchen.

## Literatur

- Balzer, K., Emmrich, P., 1995: Gratis two-model-ensemble versus EPS (Ensemble Prediction System). Proceedings Fifth Workshop on Meteorological Operational Systems, ECMWF Reading Nov.1995.
- Bernhardt, K.-H., Böhme, W., 1994: Klima und Menschheit. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät 1994, Heft 1/2, 51–90.
- Böhme, W., 1993: Untersuchungen zur Reaktion des Klimasystems auf große vulkanische Eruptionen mittels Phasenebenen-Darstellungen. Meteorol. Zeitschrift N.F. 2, 76–80.
- Böhme, W., 1994: Comparison study of the response of the climate system to major volcanic Eruptions and El Niño events. In: Grasman, J., G. van Straten (Eds.): Predictability and nonlinear modelling in natural sciences and economics. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 65–85.
- Böhme, W., 1998: Atmosphärische Zirkulation und Chaos. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät Band 24, Heft 5, 151–182.
- Böhme, W., 1999: Anwendung der Methoden der Ensemblevorhersage bei komplexen dynamischen Systemen auf statistische Verfahren. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät Band 30, Heft 3, 145–151.

- Böhme, W., 2004: Nachweis von speziellen Zusammenhängen zwischen Teilsystemen von komplexen dynamischen Systemen – Beispiel: Southern Oscillation und Witterung in Mitteleuropa. – Sitzungsberichte der Leibnitz-Sozietät, Band 64, 91–109.
- Böhme, W., Enke, W. und Witt, A., 2001: Ein Zugang zur Langfristvorhersage mittels Nutzung von Ensembles unterschiedlicher Projektionen des Phasenraumes? Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Meteorologentagung 18. bis 21. September 2001. Österreichische Beiträge zur Meteorologie und Geophysik, Heft Nr. 27/ Publ. Nr. 399 (2001).
- Ehrendorfer, M., 1997: Predicting the uncertainty of numerical weather forecasts: a review. *Meteorol. Zeitschrift*. N.F. 6, 147–183.
- Fortak, H., 1982: *Meteorologie*. Dietrich-Reimer-Verlag Berlin, 294 S.
- Fraedrich, K., 1996: Das Lorenz-Modell: Ein Paradigma für Wetter und Vorhersagbarkeit. *promet* 25, 62–79.
- Lorenz, E., 1963: Deterministic nonperiodic flow. *J. Atm. Sci.* 20, 130–141.
- Smith, L.A., 1995: Ensemble predictions and chaotic systems. 6<sup>th</sup> International Meeting on Statistical Climatology, 19 – 23 June, Galway, Ireland, 599–602.
- Ziehmann, Chr., 1998: Comparison of ECMWF ensemble forecasts with a multi-model ensemble consisting of a few operational models. *Tellus*.