

Wolfgang Böhme

Struktur und Vorhersagbarkeit

In früheren Beiträgen, zuletzt in einer Sitzung der Klasse Naturwissenschaften im Juni 2003 (Böhme 2003), hatte ich schon einige Erkenntnisse zur Problematik „Struktur und Vorhersagbarkeit“ vorgelegt. Sie knüpfen in einem gewissen Sinne an Ertels Aussagen zur begrenzten Vorhersagbarkeit von atmosphärischen Strukturen und zu Vorgängen in begrenzten Teilgebieten der Erde an (Ertel 1941, 1944 und 1948).

Wenn man sich auf längerfristige Vorhersagen konzentriert, so spielt das Auffinden von vorangehenden analogen Abläufen mit statistischen Methoden eine Rolle (und damit auch das Auffinden der entsprechenden zeitlichen Abstände der Analoge vom aktuellen Fall, die ich kurz als Analogieabstände bezeichne); günstig erweist sich hierbei, wenn man dabei mit Kollektiven oder Ensembles von Analogon arbeitet, und zwar in einem doppelten Sinn. – Nämlich:

Naheliegender ist es *erstens*, eine Vielzahl von Zustandseigenschaften in die Betrachtungen des Systems (ebenfalls geeignet zur Bestimmung des Ähnlichkeits- oder Perfektionsgrades von Analoga) einzubeziehen. Man kann dabei an die Verwendung einer Verallgemeinerung der üblichen Delay-Koordinaten denken (also der Verwendung von Daten zu vielen Zeitpunkten der Vergangenheit). Bei der von mir bisher (Böhme 1999 und Böhme et al. 2001) und jetzt (Böhme 2003) angewandten Methode handelt es sich um eine Art einer 2-dimensionalen Delay-Koordinate, die es gestattet, die Variabilität über mehr als zwei Jahre (in unserem Fall genauer über 27 Monate) zu erschließen (z.B. auch um den Phasenzustand im Rahmen der quasizweijährigen Schwankung zu erfassen).

Die Feinstruktur, also der Monatsskala, wird dabei berücksichtigt, indem eine Zustandsgröße des Systems, die hier mit $P(n;q)$ bezeichnet wird, erfasst wird, und zwar zum Zeitpunkt n Monate vor dem Vorhersagemonat (wobei n zwischen 1 und 15 läuft) sowie gleichzeitig zusätzlich zu jeweils den 3 unmittelbar dem Monat n voranlaufenden Zeitpunkten und zu einem weiteren Zeit-

punkt, der noch zusätzlich q Monate voranläuft, wobei q zwischen 1 und 9 liegt. Es ist also $P(n;q) = P(n, n+1, n+2, n+3; n+3+q)$ mit n von 1 bis 15 und q von 1 bis 9. Man hat, wenn man alle Kombinationen von n und q heranzieht, damit ein Ensemble von $9 \times 15 = 135$ verschiedenen Zeitkoordinatenkombinationen. Wenn eine Analogie in allen 135 Zeitkoordinatenkombinationen gegeben ist, handelt es sich um ein perfektes Analogon, also um ein Analogon mit dem Perfektionsgrad $p = 1$ (d.h. 100%).

Zweitens wird für jeden Echtzeitpunkt nicht nur der beste analoge Fall gesucht sondern eine „Gruppe der besten Analogien“, deren Mitgliedschaft durch eine statistische Vorgabe definiert ist: „Die Anzahl Z des signifikanten Auftretens des Mitglieds in den 135 Koordinatenkombinationen muss größer als 9 sein, oder, falls es in der Gruppe nicht mehr als 4 Analoga mit $Z > 9$ gibt, sind die fünf Analoga mit den größten Z zu nehmen. Für den Fall, dass es weitere potentielle Mitglieder mit demselben Wert von Z gibt, den das 5. Mitglied hat, werden diese Analoga ebenfalls als Mitglieder der Gruppe betrachtet.

Eine wesentliche neue in Böhme 2003 hervorgehobene Erkenntnis besteht darin, dass in verschiedenen Teilgebieten der Erdatmosphäre unerwartet häufig gleichzeitig (also synchron) die gleichen zeitlichen Strukturen aufzufinden sind. Das manifestiert sich also in dem gleichzeitigen Auftreten gleicher Analogieabstände. Das habe ich an den Zeitreihen der Monatswerte der südlichen Oszillation (einer Oszillation des Druck- und Zirkulationsfeldes im tropischen Bereich des Pazifik) und der Zeitreihe der Witterung in Mitteleuropa (mittels der Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen) nachweisen können. Offensichtlich wird eine solche Art nichtlinearer Korrelation, und damit auch das Vorhandensein eines nutzbaren Potentials langfristiger Vorhersagbarkeit, dadurch gefördert, dass *grundsätzlich großräumige Strukturen in der Atmosphäre auch einen großen zeitlichen Scale, also auch eine lange Lebensdauer haben*. Das wird an der Abbildung 1 in der schon erwähnten früher Veröffentlichung (Böhme 2003) deutlich, die ich aus einem Lehrbuch von H. Fortak (1982) übernommen habe. Also: Je größer die räumliche Struktur eines Teilsystems in der Atmosphäre ist, desto größer ist seine Lebensdauer (und seine Stabilität). Weiter gilt: Großräumige Strukturen lassen sich im Allgemeinen auch nicht durch viele kleinräumige Störungen beseitigen. Das habe ich bei der Untersuchung des Ablaufs der (globalen) Wirkung von hochreichenden Vulkaneruptionen auch zeigen können (Böhme 1993 und 1994). Weiter zeigt sich übrigens bei den parallelen Analogieabständen, dass relativ häufig solche von 11 Jahren oder nahezu dem ganzen Vielfachen auftreten.

So kommen in den 15 Jahren von 1989 bis 2003 z.B. parallele (synchrone) Analogie der Zeitreihen der mitteleuropäischen Monatsmitteltemperatur und des Indexes der südlichen Oszillation mit den Analogieabständen von 10 und 11 Jahren 36 mal vor, während Analogieabstände über 2 Jahre sonst im Mittel nur etwa 4 mal auftreten. Es ist (damit allein) aber nicht klar, ob es sich um einen Einfluss der Sonneaktivität oder um einen eigenen Mode der atmosphärischen Zirkulation handelt, die sich gelegentlich bei numerischen Modellen der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre zeigt, ohne dass ein solarer Einfluss mit den Modellannahmen hineingetragen wurde.

Bei den synchronen Abläufen von Witterungsgrößen im tropischen Pazifik und in Mitteleuropa ist im Übrigen bisher auch nicht klar, ob der Pazifik die Zirkulation in Europa oder die Zirkulation in Europa die Zirkulation im pazifischen Raum beeinflusst. Wahrscheinlich ist, dass die Atmosphäre als Ganzes agiert. In diesem Sinne, aber noch allgemeiner, muss man auch die Frage stellen, ob die zeitlich synchronen Analogiebeziehungen durch eine gemeinsame Ursache hervorgerufen werden und ob es nicht Phasenverschiebungen (lags) zwischen den beiden Zeitreihen gibt, die noch deutlichere Ergebnisse liefern.

Zugleich haben wir aber auch im Auge, dass wir nach weiterem Potential für längerfristige Vorhersagen suchen. Zunächst kann man hierbei davon ausgehen, dass nach Systemen mit globaler Ausdehnung zu fragen ist, wie es etwa die Störungsstruktur der hochreichenden Vulkanausbrüche darstellt. Dabei kann man aber nur stehen bleiben, wenn man die oft in der numerischen Modellierung der atmosphärischen Zirkulation gemachte Voraussetzung trifft, dass die Erdatmosphäre als geschlossenes System behandelt wird (z.B. oberer Rand bei 100, 10 oder 1mb). In Wirklichkeit ist aber die Erde, vom interplanetaren Raum her gesehen und von in ihm ablaufenden Prozessen umspült, quasi nur ein Punkt, auf den die Eigenschaften des interplanetaren Raums (also in erster Linie die elektromagnetische Strahlung der Sonne und der Sonnenwind, die Partikelstrahlung) einwirken. Es ist also zu prüfen, ob sich hier und in der Erdatmosphäre ähnliche, d.h. synchrone zeitliche Strukturen, also gleiche Analogieabstände zeigen und, falls sich solche zeigen, sie prognostische Bedeutung haben. Die Sonnenfleckenzahl ist dafür wenig geeignet; einmal ist es eine relativ hoch aggregierte Größe, zum andern dominiert der etwa 11-jährige Zyklus zu stark. Besser erscheint es planetare Eigenschaften des Sonnenwindes, d.h. auch, des interplanetaren Magnetfeldes zu nehmen. Die Reihe des geomagnetischen Indexes aa ist dafür geeignet. Sie charakterisiert besonders die Intensität der geomagnetischen Störungen in den sich äquatorwärts an die beiden zirkumpolaren Polarlicht-

gürteln anschließenden Gürtel. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber anderen Indizes der geomagnetischen Störungen ist, dass diese Reihe seit mehr als 120 Jahren (Mayaud 1972) existiert. Es ist aber nicht nötig die vorhandenen 3-Stunden-Werte oder die Tageswerte zu verwenden. Für den monatlichen Scale genügt es, die monatlichen Maxima der Tagesmittel zu nehmen.

Ich habe nunmehr zur Feststellung von analogen Zustandsabläufen dieser Zeitreihe des geomagnetischen Indexes (oder allgemeiner gesagt zur Sondierung der Eigenschaften dieser Zeitreihe) die gleiche Methode wie bei der Behandlung der Zeitreihe der Abweichungen der mitteleuropäischen Monatsmitteltemperatur und der Zeitreihe des SOI angewandt. Dabei habe ich eine ganze Reihe von Ergebnissen erhalten, von denen einige den Erwartungen entsprechen oder sie auch übertreffen, und andere neuartige Erkenntnisse betreffen, die zum Teil noch detaillierter zu untersuchen sind.

Die Häufigkeit des Auftretens von Analogon, die einen bestimmten, schon erwähnten Perfektionsgrad Z überschreiten, also zur „Gruppe der besten Analogon“ gehören, ist bei der Reihe des geomagnetischen Indexes aa etwa doppelt so groß wie bei der mitteleuropäischen Temperaturreihe. Die Häufigkeit analoger Abläufe liegt bei der Zeitreihe des SOI zwischen den Häufigkeiten bei der Mitteleuropatemperatur und den geomagnetischen Störungen; die Häufigkeiten verhalten sich bei der Mitteleuropatemperatur, bei der SO und bei den geomagnetischen Störungen wie 8 zu 12 und zu 16 Fällen (d. h. etwa wie 1 : 1,5 : 2). Das ist nicht weiter verwunderlich, da die geomagnetischen Störungen von den relativ rhythmischen Aktivitäten der Sonne gesteuert werden und der Ablauf der Witterung in der Südlichen Oscillation regelmäßiger ist als in Mitteleuropa. Soweit also trivial und wie erwartet. Dies spricht zugleich für die Adäquatheit der Sondierungs- bzw. Analyseverfahren.

In diesem Zusammenhang ist es interessant, hier mit der Tabelle 1 einige Charakteristika der Häufigkeitsverteilung der aufgetretenen Analogieabstände aus dem Zeitraum Januar 1989 bis Dezember 2003 für die geomagnetische Reihe aa vorzustellen. Die erste Spalte dieser Tabelle enthält die Rangordnungszahl (Nr.) für die Reihenfolge der in der dritten Spalte genannten Häufigkeit (H) des Auftretens der in der zweiten Spalte aufgeführten Analogieabstände A in Jahren. Die vierte Spalte enthält eine normierte Häufigkeitsangabe (H'), die weiter unten erläutert wird. Am häufigsten ist in diesem Zeitraum der Abstand 41 Jahre aufgetreten (das bedeutet aber nicht, dass eine Periode von 41 Jahren vorhanden ist, dazu müsste der Abstand 41 ständig existieren; es bedeutet nur, dass es bei den geomagnetischen Störungen relativ häufig vorkommt, dass mit einem Abstand von 41 Jahren wieder ein analoger Zustandablauf erreicht wird). Danach folgt in der Skala der Häufigk-

eit der Analogieabstand von 30 Jahren (allerdings relativ ungleich über den 15-jährigen Zeitraum verteilt), danach finden wir mit gleicher Häufigkeit die Abstände 11 und 10 Jahre, also wenn man so will, die Spur des Sonnenaktivitätszyklus. Wenn man die zwei benachbarten Analogabstände zusammenfasst, haben 10 + 11 Jahre die größte Häufigkeit, danach folgt dann gleich das Aggregat der Abstände 5 und 6, also die erste Harmonische des Sonnenfleckenzklus.

Rang Nr.	Analogieabstand A	Häufigkeit H	Normierte H H'
1	41	78	117
2	30	54	71
3	10+11	je 53	50
4	44	52	81
5	5+6	je 49	51
6	39	48	61
7	48	47	77
8	37	47	67
9	34	42	58
10	17	40	46
11	53	39	69
12	51	37	63
13	32	37	50
14	14	33	37
15	1	32	32
16	20	31	36
17	75	30	78

Tab. 1: Jene Analogieabstände (A) (in Jahren) aus der Zeitreihe 1989 bis 2003 von monatlichen Werten des geomagnetischen Indexes aa, die in der Häufigkeitsverteilung des Auftretens der Analogieabstände mit Maxima dieser Häufigkeitswerte (H) verbunden waren, geordnet nach der Größe von H

Nun zur vierten Spalte: Es ist leicht zu bemerken, dass bei begrenzten Zeitreihen (wir haben etwa 120 Jahre) die Chance für das Auftreten eines Analogabstandes A = 1 (zum Beispiel) doppelt so groß ist wie die Chance für das

Auftreten eines Abstandes von etwa 60 Jahren. Um diesen Effekt zu berücksichtigen, muss sozusagen auf eine gleiche maximal mögliche Anzahl des Auftretens der Abstände normiert werden. Die (sich dann ergebende) normierte Häufigkeit H' ist in der vierten Spalte aufgeführt. Wegen der zunehmenden Streuung bei kürzeren Zeitreihen ist eine Angabe von H' nur bis etwa $A = 75$ Jahre (bei einer Zeitreihenlänge von 120 Jahren) sinnvoll. Relativ hohe Häufigkeiten von H , die einen recht großen Wert von H' mit sich bringen würden, sind bei den Abständen von 93, 98, 102, 108 und 120 Jahren zu finden. Sicherere Aussagen sind hierzu aber nur zu machen, wenn eine etwa doppelt so lange Zeitreihe vorläge und angenommen werden kann, dass die Dynamik des Systems über so lange Zeiten ungeändert bliebe.

Folgende Angaben lassen sich aber schon mit der 120 Jahre langen Reihe machen:

- Die Maxima treten näher beim Abstand 10 Jahre und seinen ganzzahligen Vielfachen als bei dem Abstand 11 Jahre und seinen ganzzahligen Vielfachen auf; das hängt wohl damit zusammen, dass über einen großen Teil der zweiten Hälfte des vergangenen Jahrhunderts der Sonnenaktivitätszyklus eine Periode von 10 Jahren hatte.
- Bei genauerer Durchsicht hier und auch bei der Analyse der Häufigkeit des Auftretens paralleler Analogieabstände erkennt man, dass sich die maximalen Abstände in den letzten 14 Jahre allmählich zu längeren Werten verschieben. Das entspricht einer sich andeutendem allmählichen Verlängerung des Sonnenflecken-zyklus seit etwa 20 bis 30 Jahren.
- Beachtenswert ist die relativ hohe Häufigkeit des Abstandes 1 Jahr, d.h. es gibt eine Tendenz, dass die geomagnetischen Störungen in aufeinanderfolgenden Jahren relativ häufig ähnlich ablaufen (was im übrigen schon am Vergleich des Ablaufs der Zeitreihe bei aufeinanderfolgenden Jahren zu erkennen ist). Diese Eigenschaft der Zeitreihe trägt wohl auch wesentlich dazu bei, dass relativ oft benachbarte Abstände hohe Häufigkeitswerte haben, wie z.B. 19, 20 und 21 Jahre.

Die detaillierte Analyse zeigt weiter, dass gleiche Analogieabstände synchron (d.h. gleichzeitig) paarweise zwischen den 3 Zeitreihen auftreten. Hierzu vermag allerdings schon der Zufall eine nicht zu vernachlässigende Rolle zu spielen. Zu dieser Abschätzung wird die Wahrscheinlichkeit für das zufällig gleichzeitige Auftreten des gleichen Analogabstandes in den betrachteten beiden Zeitreihen, die wir für den Moment hier R und S nennen, benötigt. Diese Wahrscheinlichkeit ist das Produkt der Wahrscheinlichkeiten für das zufällige Auftreten des Analogieabstandes in jeder der beiden Zeitreihen. Wenn

man zu jedem Zeitpunkt (Monat) jeweils nur das beste Analog von den insgesamt 120 möglichen nehmen würde, wäre jeder dieser Wahrscheinlichkeiten $1/120$, die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines parallelen Analogs $0,6944 \cdot 10^{-4}$. Da wir aber eine begrenzte, definierte Anzahl $r(R)$ und $s(S)$ von besten Analogon zu jedem Zeitpunkt für die beiden Zeitreihen zulassen, ist die gesuchte Zufallswahrscheinlichkeit für das Auftreten paralleler Analogabstände $r \times s \times 0,6944 \cdot 10^{-4}$. Diese Zufallswerte hängen von den gewählten Zeitpunkten ab, da r und s zeitvariabel sind.

Bei der Anwendung auf die 3 Paare unserer Zeitreihen finden wir bei der Verwendung der Mitteleuropa-Zeitreihe und der geomagnetischen Zeitreihe, dass im Mittel über die Fälle der 15 Jahre als durch den Zufall 0,70 Fälle (pro Termin) erzeugt zu verstehen sind, während die mittlere Häufigkeit der beobachteten parallelen Analoga im Mittel 1,30 Fälle, also fast die doppelte Zahl gegenüber den zufällig zu erwartenden, zeigt. Die Differenz von 0,60 Fällen ist mehr als das 2fache der Streuung der Zufallswerte. Bei der Anwendung auf die Kombination Mitteleuropa/südliche Oszillation reduziert sich der den Zufall übersteigende Effekt auf die Hälfte, d.h. also etwa auf die Streuung der Zufallsfehler. Bei der Anwendung auf die Kombination SO/Geomagnetische Störungen ist kein den Zufall übersteigender Effekt zu finden.

Diese Feststellungen legen nahe, dass eine deutliche Tendenz für einen Einfluss des interplanetaren Raums, und damit vor allem der Sonnenaktivität, auf Teile des Erdsystems und damit auf seine Atmosphäre besteht. Diese Art des Einflusses des interplanetaren Raumes und der Sonnenaktivität vor allen auf ein Gebiet in mittleren Breiten und nicht auf ein Gebiet der Tropen spricht übrigens dafür, dass der Einfluss tatsächlich über den Polarlichtgürtel, den Einflussbereich des sogenannten Sonnenwindes erfolgt. Für eine definitive Schlussfolgerung sind aber sicher noch weitere Untersuchungen nötig, wozu wahrscheinlich weitere ähnliche strukturvergleichende Zeitreihenuntersuchungen dienen können.

Dafür würden wohl auch Untersuchungen der zeitlichen Strukturierung der Vorgänge auf der Sonne und im umgebenden interplanetaren Raum nützlich sein. Wenn man als noch größerer räumlicher Skale den intragalaktischen Raum mit einbezieht, kann man wahrscheinlich auch Anhaltspunkte für die zeitliche Strukturierung von Klimafluktuationen im „paläoklimatischen“ Skale finden.

Kehren wir aber hier zu den globalen Dimensionen zurück: Bei der Anwendung der Analoganalysemethode auf die Mitteleuropatemperatur und den SOI haben sich oft relativ lang bestehende Analogieabstände gezeigt. Das gilt

auch für die geomagnetische Zeitreihe. Auf das auf solcher langdauernden Existenz von Analoga beruhenden prognostischen Potential, das sich jetzt auch bei der geomagnetischen Zeitreihe zeigt, haben wir, Frau Witt, Herr Enke und ich schon in einem Vortrag in Wien (Böhme et al. 2001) und bei späteren Gelegenheiten hingewiesen. Wir konnten an Hand der Mitteleuropa-Temperaturzeitreihe zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit des Fortbestand eines Analogs zunächst bis zumindest acht Monaten im Mittel zunimmt (Abb. 6 in Böhme et al. 2001), dass also die Gefahr nicht groß ist, dass, wenn man ein Analogon entdeckt und es prognostisch verwerten will, es gerade seine Existenz beendet.

Ich wende mich jetzt mehr unmittelbar den prognostischen Aspekten dieser strukturellen Verhältnisse zu. Hierzu gehören die Abbildungen 1, 3 und 4, die einer Erläuterung bedürfen.

Wenn man für eine Illustration der Verhältnisse eine vertikale Zeitachse einführt, also oben 1989 mit nach unten zunehmender Zeit und horizontal den Analogieabstand, dann zeigen die vertikal angeordneten Eintragungen das Auftreten und den Fortbestand der parallelen Analoge. Das Symbol # betrifft die Kombination von Analogen für den Ablauf der Mitteleuropatemperatur und des SOI, das Symbol o die Kombination Mitteleuropatemperatur und geomagnetische Störung, das Symbol + die Kombination von SOI und geomagnetischer Störung, das Symbol & das gleichzeitige Auftreten aller drei Kombinationen.

Das erste Beispiel (Abb. 1) hier ist ein Ausschnitt für den Zeitraum von Mitte 1998 bis Ende 2000. Dieses Beispiel betrifft das sehr stabile Auftreten des parallelen Analogieabstandes von 10 Jahren in den Zeitreihen der mitteleuropäischen Monatsmitteltemperaturen und des SOI. Dieser Zeitraum ist eingebettet in den Zeitraum von Dezember 1997 bis April 2001, bei dem eine sehr stabile Analogie mit dem Abstand 10 Jahre bezüglich der Mitteleuropatemperatur bestand. Wir hatten darüber schon bei unserem Wiener Vortrag berichtet (Böhme et al. 2001, Abb. 5). Wir hatten gefolgert: Wenn man die eingetretenen Monatsmitteltemperaturen 10 Jahre vorher als Vorhersagen aufgefasst hätte, so hätte dies bei einer Sextilklasseneinteilung einen Mittleren Absoluten Fehler (MAF) von 0,97 Klasseneinheiten ergeben. Die Zufallsprognose hätte einen Fehler von 1,94, die Persistenzprognose einen Fehler von 1,66 Klasseneinheiten gehabt. Die synchronen Analogieabstände mit $A = 10$ Jahren bestanden für den kürzeren Zeitraum von Dezember 1998 bis Oktober 2000. Eine Vorhersage über diesen Zeitraum hätte einen MAF von 0,96 Klasseneinheiten ergeben, während der MAF einer Zufallsprognose 1,94, und der

Persistenzprognose für diesen Zeitraum 1.42 betragen hätte. Dass die parallele Analogie nur einen kleineren Zeitraum einnimmt, liegt daran, dass das Analogon mit dem Abstand 10 bei der SOI-Zeitreihe vorher und nachher nicht auftrat. Die Verhältnisse der beiden Komponenten der parallelen Analogie werden aus der Darstellung des Verlaufs der beiden reziproken Rangzahlen W (Abb. 2) besonders deutlich. Wenn man als Rangzahlen R die Ränge eines Analogons nach seinem Perfektionsgrad verteilt, also den Rang 1 dem Analogon mit dem höchsten Perfektionsgrad zuordnet usw. (z.B. den Rang 5 dem Analogon mit dem 5.-niedrigeren Perfektionsgrad), so ist $W = 1/R$ der reziproke Rang, der maximal 1 sein kann und für hohe R gegen 0 geht. Der Übergang von R zu W ermöglicht kompaktere Darstellungen. Die ausgezogene Kurve gibt den Verlauf des reziproken Rangs W der Analogie $A = 10$ bei der mitteleuropäischen Temperatur, die punktierte Kurve den Verlauf des reziproken Rangs der Analogie $A = 10$ beim SOI wieder. Es sieht so aus, als ob die Analogabstände etwa gleichzeitig im Teilsystem Europa wie in der südlichen Oszillation auftauchten. Aber schon vom Dezember 1999 an ging der Perfektionsgrad beim SOI zurück und vom Oktober 2000 an war das Analogon $A = 10$ nicht mehr in den Gruppen der besten Analogieabstände bei der südlichen Oszillation vorhanden. – Die Untersuchung des Verlaufes der beiden Komponenten bei weiteren Beispielen synchroner Analogien dürfte sehr interessant und wahrscheinlich aufschlussreich sein, konnte aber bisher noch nicht vorgenommen werden.

Das zweite Beispiel (Abb. 3) betrifft – statt des Vorherrschens eines einzigen parallelen Analogons – das gleichzeitige Auftreten einer Gruppe paralleler Analogien (nämlich $A = 5, 8, 11$ und 51 Jahre) bei der mitteleuropäischen Mitteltemperatur und der südlichen Oszillation von Ende 2002 bis Anfang 2004. Mit diesen Analoga konnten in diesem Zeitraum gute Langfristvorhersagen verfasst werden und auch Aussagen über den Witterungsablauf im kurzzeitigeren Detail erstellt werden. Einzelheiten hierzu habe ich vor der Klasse Naturwissenschaften am 19.6.2003 vorgetragen (Böhme 2003). In diesem Fall hatte die Vorhersage für den Zeitraum von Juli 2002 bis Februar 2004 einen MAF von 1.25 Klasseneinheiten, während die monatsweisen Persistenzprognosen einen MAF von 1.55 aufwiesen.

Das dritte Beispiel (Abb. 4) betrifft einen Fall, der im wesentlich synchrone (parallele) Analoga in einer Kombination mit einem geomagnetischen Analogon und die Analogieabstände 15, 30 und 46 Jahre aufweist. Die Ergebnisse sind mindest so günstig wie bei der sonst verwendeten Kombination der Zeitreihen für die Witterung in Mitteleuropa und der SO. Der MFA der Vor-

hersage hätte 0.95 betragen, der der monatsweisen Persistenzvorhersagen 1.68.

Insbesondere dieses Beispiel und auch die gesamten Ausführungen zeigen, dass der Witterungsablauf und seine Vorhersage in unseren mittleren Breiten im Sinne der zeitlichen Strukturierung mit den zeitlichen Vorgängen im interplanetarem Raum und damit (zumindest soweit es den Monats- bis Jahresscale betrifft) wohl in erster Linie mit dem zeitlichen Ablauf von Vorgängen auf der Sonne verknüpft zu sein scheint. Weiter detaillierte Untersuchungen sind sicher erforderlich, um diese Aussagen zu bekräftigen und weitere schon gestellte, d.h. hier in diesem Vortrag aufgeworfenen Fragen zu beantworten.

In diese Untersuchungen könnten vielleicht Erkenntnisse aus der Waveletanalyse genutzt werden einschließlich der von Frau Witt vorgenommenen Weiterentwicklungen. Ich kann hier mit ihrer Zustimmung erste Resultate der Anwendung dieser Methode auf die Mitteleuropa-temperaturzeitreihe hinsichtlich der Signifikanz des Auftretens der elementaren Wellenpakete (mit denen die Waveletanalysen durchgeführt werden) vorstellen (Abb. 5). Die x-Achse ist die Zeitachse, die y-Achse gibt die Periode der beteiligten elementaren Wellen an. Alle helleren Grautöne zeigen eine Signifikanz von mehr als 98% für die Existenz von Wavelets mit der entsprechenden Periode an. Die Waveletanalyse unterscheidet sich von der MESA (der Maximum-Entropie Spektralanalyse) darin, dass bei der Waveletanalyse das gleitende Filterfenster mit abnehmender Periode schmaler wird (und im allgemeinen eine Breite hat, die der 2 – 3-fachen Periode entspricht), während bei der MESA mit einem Filter mit konstanter Breite gearbeitet wird. Die MESA unterscheidet sich ihrerseits von der normalen Fourier-Spektralanalyse darin, dass die Fortsetzung der Entwicklung an den Enden der vorliegenden Datenintervalle nicht periodisch sondern unter Anwendung des Prinzips maximaler Informationsentropie auf den Fortsetzungsprozess erfolgt.

Die Ergebnisse zeigen eine Reihe interessanter Strukturen. Sichtbar ist insbesondere, dass erst von 1935 an Schwingungen mit einer Periode von etwa 12 bis 13 Jahren (von etwa 1935 bis 1955) und solche von 9 bis 10 Jahren von etwa 1940 bis 1980 mit deutlicher Signifikanz vorhanden sind. Von 1985 bis 2000 zeigt sich eine Verlängerung einer Periode auf 11 bis 12 Jahre. Das ist erneut in Übereinstimmung (vor allem die Verlängerung in den letzten Jahren) mit den Fluktuationen der Periode der Sonnenaktivität. Es besteht also Übereinstimmung zwischen dem zeitlichen strukturellen Verhalten der Analogieabstände dieser Temperaturzeitreihe und der Geomagnetismuszeitreihe, was die weiter oben getroffenen generellen Aussagen bekräftigt.

Abbildungen

Jahr, Monat	I	A (Jahre)																											I													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27														
1998, 6	I					#																											I									
7	I					#																											I									
8	I					#	#																										I									
9	I					#																											I									
10	I																					+											I									
11	I					#																			#									I								
12	I									#														#										I								
1999, 1	I					#				#					#									#	#									I								
2	I					o																		#										I								
3	I					o				#														#											I							
4	I									#									+					#											I							
5	I									#														#												I						
6	I									#														#												I						
7	I									#						o								#												I						
8	I					o	o			#						o									#											I						
9	I						o			#															+	#											I					
10	I									#																											I					
11	I									#																												I				
12	I					o	o			#				o	o	o	o								#													I				
2000, 1	I						o			#																												I				
2	I									#																													I			
3	I									#																+	#													I		
4	I					o	o			#					o																									I		
5	I									#																														I		
6	I									#																															I	
7	I									#																															I	
8	I									#																															I	
9	I									#																															I	
10	I										#																														I	
11	I											#																														I
12	I					o																																				I

Abb. 1: Synchrones Auftreten gleicher Analogieabstände A in den Zeitreihen der Mitteleuropatemperatur und der südlichen Oszillation (#), der Mitteleuropatemperatur und des geomagnetischen Indexes aa (o), der südlichen Oszillation und des geomagnetischen Indexes aa (+), in allen drei Zeitreihen (&)
 im Zeitraum Juni 1998 bis Dezember 2000. Die Vorhersage der monatlichen Mitteleuropatemperaturen mit A = 10 für Januar 1999 bis Dezember 2000 führt zu einem Mittleren Absoluten Fehler (MAF) von 0.96 Klasseneinheiten (gegenüber einem MAF von Zufallsvorhersagen von 1.94 und von monatsweisen Persistenzvorhersagen von 1.42).

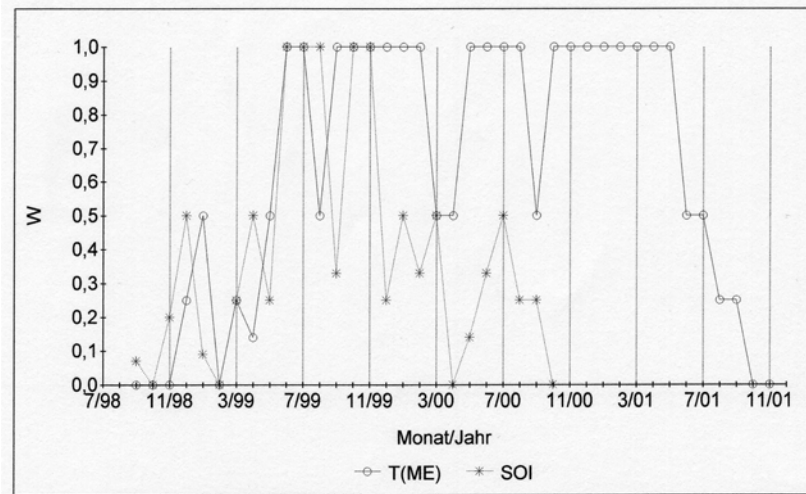


Abb. 2: Verlauf des reziproken Ranges $W = 1/R$ der synchronen Analoge $A = 10$ der Temperaturzeitreihe Mitteleuropas (T(ME)) und der SOI-Zeitreihe in der jeweiligen Gruppe der besten Analoge in diesen Zeitreihen von September 1998 bis November 2001 [Rang des besten Analogs $R = 1$, was $W = 1$ entspricht; Rang des Analogs mit dem 2-höchsten Perfektionsgrad $R = 2$, was $W = 0.5$ entspricht usw.].

Jahr, Monat	I	A (Jahre)																										I	
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	()	18	19	20	21	22	23	24	25	26	()	49	50	51	52		
2002, 4	I																												I
5	I																												I
6	I										#																		I
7	I										o																		I
8	I		o								o	&	o														+		I
9	I										#																		I
10	I										#																		I
11	I			#							#																#		I
12	I			#			#				#															#			I
2003, 1	I			#			#				#															#			I
2	I			#			#				#															#			I
3	I			#			#				#															#			I
4	I			#			#				#						#									#			I
5	I			#			#				#															#			I
6	I																								#				I
7	I							o			#																		I
8	I			#							#																+		I
9	I			#							#																		I
10	I																												I
11	I			&			#		o																			o	I
12	I			o						o		&															o		I
2004, 1	I			o				o									o												I
2	I																												I

Abb. 3: Synchrones Auftreten gleicher Analogieabstände A in den Zeitreihen der Mitteleuropatemperatur und der südlichen Oszillation (#), der Mitteleuropatemperatur und des geomagnetischen Indexes aa (o), der südlichen Oszillation und des geomagnetischen Indexes aa (+), in allen drei Zeitreihen (&)
im Zeitraum April 2002 bis Februar 2004. Die Vorhersage der monatlichen Mitteleuropatemperaturen mit A = 5, A = 8, A = 11 und A = 51 für Juli 2002 bis Februar 2004 führt zu einem Mittleren Absoluten Fehler (MAF) von 1.25 Klasseneinheiten (gegenüber einem MAF von Zufallsvorhersagen von 1.94 und von monatsweisen Persistenzvorhersagen von 1.55).

Jahr, Monat	I	A (Jahre)																												I
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	()	28	29	30	31	()	44	45	46	47	48	49	I			
1989,	5	I																											I	
	6	I				+																							I	
	7	I				&												o				o	o						I	
	8	I			+	+											+												I	
	9	I				+																o	o						I	
	10	I																											I	
	11	I																											I	
	12	I				+		+										o											I	
1990,	1	I																o	o				o						I	
	2	I																					o						I	
	3	I					+		+									o											I	
	4	I					+	&																					I	
	5	I						+																					I	
	6	I				+													o										I	
	7	I				+																						o	I	
	8	I			+				+									o					o						I	
	9	I																											I	
	10	I						+											o										I	
	11	I																	#										I	
	12	I																					o			o			I	

Abb. 4: Synchrones Auftreten gleicher Analogieabstände A in den Zeitreihen der Mitteleuropatemperatur und der südlichen Oszillation (#), der Mitteleuropatemperatur und des geomagnetischen Indexes aa (o), der südlichen Oszillation und des geomagnetischen Indexes aa (+), in allen drei Zeitreihen (&)

im Zeitraum Mai 1889 bis Dezember 1990. Die Vorhersage der monatlichen Mitteleuropatemperaturen mit $A = 15$, $A = 30$ und $A = 46$ für Juni 1889 bis Dezember 1990 führt zu einem Mittleren Absoluten Fehler (MAF) von 0.95 Klasseneinheiten (gegenüber einem MAF von Zufallsvorhersagen von 1.94 und von monatsweisen Persistenzvorhersagen von 1.68).

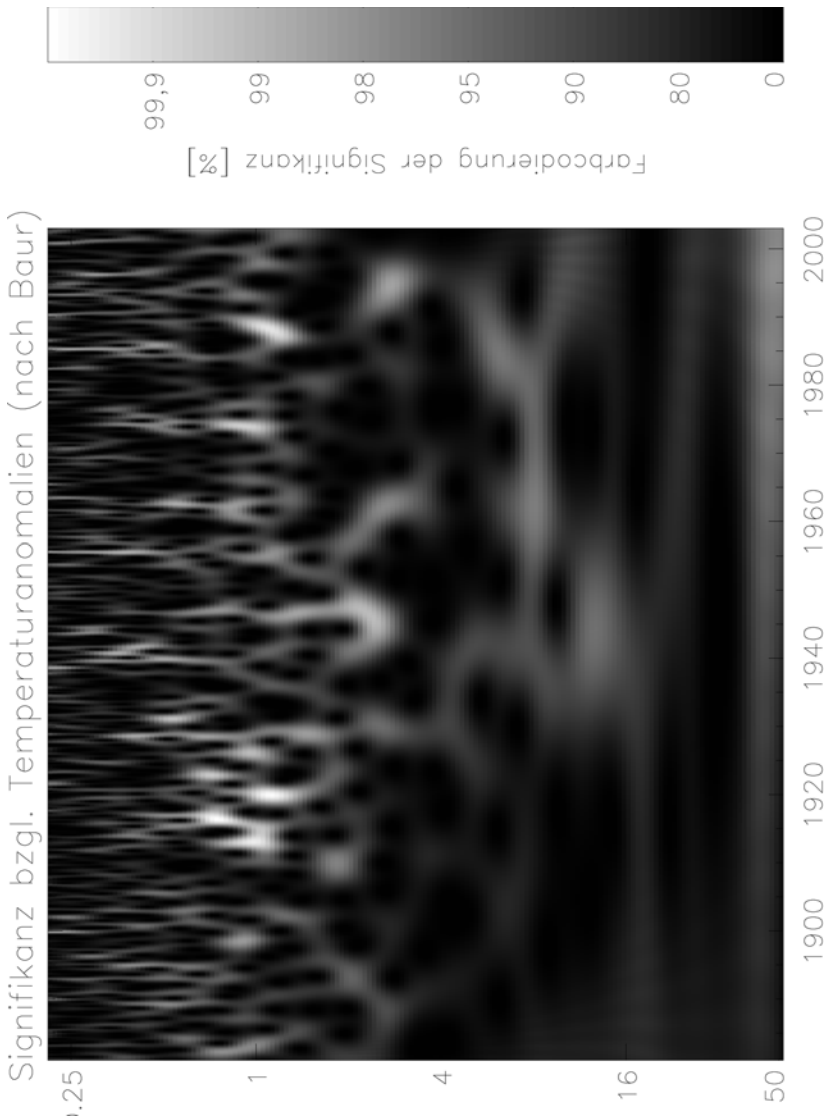


Abb. 5: Signifikanz (als Graustufen) des Auftretens von Wavelets bei der Anwendung der Waveletanalyse auf die Abweichungen der monatlichen Mitteltemperaturen Mitteleuropas (unter Verwendung von Baur 1962)

Literatur

- Baur, F., 1962 u. ff.: Abweichungen der Monatsmittel der Temperatur Mitteleuropas. – U.a. in Linke, F., 1962.: Meteorologisches Taschenbuch Neue Ausgabe I, Akademische Verlagsgesellschaft, Leipzig, S. 740–745.
- 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 Nin.o events. In: Grasmann, J., van Straten, G. (Hrsg). Predictability and nonlinear modelling in natural sciences and economics. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 65–85.
- Böhme, W., 1999: Anwendung der Methoden der Ensemblevorhersage bei komplexen Dynamischen Systemen auf statistische Verfahren. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät Band 30, 145–151.
- Böhme, W., 2003: Nachweis von speziellen Zusammenhängen zwischen Teilsystemen von komplexen dynamischen Systemen – Beispiel: Southern Oscillation und Witterung in Mitteleuropa. Sitzungsberichte der Leibniz-Sozietät (im Druck).
- Böhme, W., Enke, W., und Witt, A., 2001: Ein Zugang zur Langfristvorhersage mittels Nutzung von Ensembles unterschiedlicher Projektionen des Phasenraumes? Deutsch-Österreichisch-Schweizerische Meteorologische Tagung 18. bis 21. September 2001.
- Österreichische Beiträge zur Meteorologie und Geophysik, Heft Nr. 27/Publ.-Nr. 399.
- Ertel, H., 1941: Die Unmöglichkeit einer exakten Wetterprognose auf Grund synoptischer Luftdruckkarten von Teilgebieten der Erde. Meteorol. Zeitschrift 58, 309–313.
- Ertel, H., 1944: Wettervorhersage als Randwertproblem. Meteorol. Zeitschrift, 61, 181–190.
- Ertel, H., 1948: Das Problem der Wettervorhersage vom Standpunkt der theoretischen Meteorologie. Z. Meteorol. 2, 97–106.
- Mayaud, P. N., 1972: The aa Indices: A 100-Year-Series characterizing the magnetic activity. J. Geophys. Res. 77, 6870–6874.