

A n n a l e n
der
M e t e o r o l o g i e

Neue Folge Nr. 2

DK 551.509.33

**Der internationale Stand des Problems
der Langfrist-Vorhersage**

von

Alfred Hofmann

(mit 11 Abbildungen und 11 Tabellen im Text)

Offenbach a. M. 1963

Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes

Gesamtherstellung: G. Braun GmbH, Karlsruhe

Inhalt

	Seite
Zusammenfassung	3
Abstract	4
1. Grundlagen und Definitionen	5
1.1. Informationsgehalt	5
1.2. Berechtigung der Vorhersage zeitlicher Mittelwerte	5
1.3. Nachweis der grundsätzlichen Möglichkeit langfristiger Vorhersagen	7
2. Methoden	12
2.1. Empirische Verfahren	12
2.1.1. Extrapolationsmethoden	12
2.1.1.1. Großwettersynoptik	12
2.1.1.2. Extrapolation von Perioden	20
2.1.2. Lineare Beziehungsgleichungen und einfache Korrelationen	26
2.1.3. Mehrfachkorrelationstabellen II. Art mit festen Klassengrenzen	28
2.1.4. Kontingenzmethode	31
2.1.5. Mehrfachkorrelationstabellen mit variabler Klasseneinteilung, Anpassungsverfahren	34
2.1.5.1. Auswahl nach wechselnden Charakteristiken	34
2.1.5.2. Auswahl nach der Morphologie von Zeitreihen	35
2.1.5.3. Auswahl nach Karten der Verteilung von Zirkulationsanomalien	36
2.1.6. Reine Analogien	41
2.2. Numerische Verfahren (Quasidynamische Methoden)	41
2.2.1. „Mean Circulation Method“ des US Weather Bureau	41
2.2.2. Die russische Methode	43
3. Prediktoren	43
3.1. Atmosphäre	43
3.2. Lithosphäre und Hydrosphäre	44
3.3. Kosmos	44
3.3.1. Sonne	44
3.3.2. Mond	45
3.3.3. Planeten	45
3.4. Geophysikalische Einflüsse	45
3.4.1. Vulkanausbrüche	45
3.4.2. Polschwankung	45
4. Prüfungsmethoden und Ergebnisse	46
4.1. Vorbemerkungen	46
4.2. Die bisher bekannt gewordenen Prüfungsergebnisse	46
5. Internationale Zusammenarbeit	49
6. Bilanz, Kritik und Ausblick	50

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. A. Hofmann, Offenbach a. M., Frankfurter Straße 135
 Deutscher Wetterdienst, Zentralamt, Abt. Forschung

Zusammenfassung

Die Langfristvorhersage verlangt, daß die Atmosphäre als ein offenes System behandelt wird, das Einflüsse aus dem Weltraum, hauptsächlich der Sonne, und Einflüsse der Unterlage in Form der sogenannten allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre verarbeitet. Die Schwankungen dieser Zirkulation sind vorherzusagen. Mit theoretischen Mitteln, etwa durch Aufstellung eines „Zirkulationsmodells“ ist das Problem z. Z. ungeklärt. Da die praktische Bedeutung von Langfristvorhersagen jedoch ungeheuer groß ist, wurde und wird das Problem empirisch und meist nur regional bearbeitet.

Nach einer kurzen statistischen Betrachtung über den Umfang der Information, die dabei erwartet werden kann, und über die grundsätzliche Möglichkeit, empirisch Gesetzmäßigkeiten aufzufinden, wurden im vorliegenden Bericht die gebräuchlichen Verfahren, soweit sie dem Verfasser zur Kenntnis kamen, erläutert. Dabei wurde zwischen Extrapolationsmethoden und statistischen Methoden unterschieden. Die ersteren haben den Vorteil der Anschaulichkeit, da sie von der klassischen Synoptik ausgehen. Hierunter fallen u. a. die Methoden von Multanowsky-Pagawa und die Betrachtungen der Chikagoer Meteorologenschule zur Umwandlung des „Low-“ in den „Highindex“ und umgekehrt. Hierunter fallen aber auch die Methoden zur Extrapolation von Perioden, sei es aufgrund einer Periodogrammanalyse wie in Deutschland und Japan oder aufgrund der Rossbyformel wie vorzugsweise in den USA.

Die statistischen Methoden der zweiten Gruppe sind weniger anschaulich, haben aber den Vorteil einer weitgehend objektiven Behandlung eines sehr umfangreichen Beobachtungstoffs. Die klassische Anwendung von Regressionsgleichungen zur Vorhersage des indischen Monsuns wie die modernen Methoden der Mehrfachkorrelations- bzw. Kontingenztabellen wurden beschrieben, ebenso die Tendenz, von festen Klasseneinteilungen abzugehen und einen aktuellen Fall am Beobachtungstoff möglichst weitgehend zu approximieren. Das führt schließlich zur reinen Analogiebetrachtung.

Die wenigen Ansätze, die Dynamik zu verwenden, wurden zum Schluß dieses Kapitels kurz erwähnt.

Unabhängig von der Form der Methodik ist die Aufführung der verwendeten Prediktoren, die nicht nur aus inneratmosphärischen, sondern auch aus externen Parametern bestehen. Dabei wurde auf die aktuelle Frage eines Einflusses nuklearer Explosionen nicht eingegangen, da sie z. Z. noch nicht statistisch behandelt werden kann.

So wichtig wie die Methoden zur Gewinnung von Langfristprognosen ist die Verifizierung, die in einem besonderen Kapitel behandelt wurde, obwohl die Literaturangaben darüber sehr spärlich sind.

Im Kapitel: „Internationale Zusammenarbeit“ wurden die staatlichen Wetterdienste aufgezählt, von welchen Langfristvorhersagen ausgearbeitet werden, ebenso die Versuche zu einem gegenseitigen Austausch.

Abschließend wurden Wege angedeutet, wie das Problem weiter bearbeitet werden kann, auch wenn es noch nicht mit theoretischen Mitteln an der Wurzel angefaßt wird.

Abstract

Long range forecasting requires that the atmosphere should be dealt with as an open system which is working under the influences from space, mainly the sun, and the influences of the groundwork in form of the so-called general circulation of the atmosphere. The fluctuations of the circulation have to be forecast. By theoretical means, e. g. by setting up a "circulation model", the problem could not yet be solved. Due to the vast practical importance of long-range forecasts, the problem was and is being dealt with by empirical means, mostly on a regional basis only.

After a brief statistic consideration of the quantity of information to be expected and of the possibility to find empirical conformities, the author explains the usual methods as far as they came to his knowledge. A difference was made between methods of extrapolation and statistical methods. The former have the advantage of plasticity, as they are based on classical synoptics. To this group belong the methods by Multanowsky-Pagawa and the studies of the Chicago school of meteorologists on the transition of the "Low-index" into the "High-index" and vice versa. Furthermore the methods of extrapolating periods have to be mentioned in this connexion which are based either on the analysis of the periodogram, e. g. in Germany and Japan, or on the Rossby formula as preferably in the USA.

The statistic methods of the second group are less plastic, but advantageous with respect to the extremely objective treatment of very comprehensive observational material. The classical application of regression equations for forecasting the Indian monsoon is described as well as the modern methods of multiple correlation tables and contingency tables, furthermore the tendency to abolish strict classifications and to approximate an actual weather situation to the observational material as far as possible: this finally leads to pure analogy.

The few starts to utilize dynamics are briefly referred to at the end of this chapter.

Independent of the form of methodology, a list is established of the predictors used which consist of parameters within and outside the atmosphere. The influence from nuclear test explosions, a question of topical interest, was not introduced, since this subject cannot yet be studied by statistical means.

As important as the methods of preparing long-range forecasts is the verification being dealt with in another chapter, though bibliography on this subject is hardly available.

The chapter "International cooperation" provides a list of the national weather services preparing long-range forecasts; the efforts to establish an exchange of information are also mentioned.

Finally suggestions are made how the problem may be treated in the future, though theoretical means did not get at its root.

1. Grundlagen und Definitionen

1.1. Informationsgehalt

Das Ideal einer Langfristvorhersage wäre ein Wetterkalender. Darin wäre für jeden Tag des kommenden Jahres das individuell zu erwartende Wetter verzeichnet, etwa in Stil und Umfang der täglichen Vorhersagen für einen Wetterdienstbezirk. Es würden sogar die allgemeineren Angaben genügen, wie sie im sogenannten „Hundert-jährigen Kalender“ gemacht werden (41) oder wie sie aus den Kurven zu entnehmen sind, die als „Wetterkalender“ Bestandteile der Werbung für manche Industrieprodukte bilden. Daß dieses Ideal in der Öffentlichkeit durchaus nicht a priori für eine Utopie gehalten wird, beweisen erstens die Beliebtheit der genannten Kalender, zweitens die durchaus ernst zu nehmenden Anfragen nach dem Wetter eines bestimmten Tages weit im voraus. Die Termine von Veranstaltungen sollen damit festgelegt werden, oder es sollen wirtschaftliche Dispositionen beim Einkauf oder bei der Werbung für wetterabhängige Waren getroffen werden, um nur einige Beispiele anzuführen.

Man kann den Informationsgehalt einer 24stündigen Vorhersage nach Hofmann (47) mit etwa 11 bit ansetzen. Ein idealer Wetterkalender von 365 Tagen würde dann weitere 8 bis 9 bit erfordern *), und man käme auf mehr als 19 bit. Diese Ansprüche können bei weitem nicht erfüllt werden. Soll die regelmäßige Ausgabe von Langfristvorhersagen überhaupt wissenschaftlich vertretbar sein, dann muß ein erheblicher Informationsverzicht in Kauf genommen werden. Die Weltorganisation für Meteorologie (WOM) versandte 1958 einen Fragebogen nach dem Stand der Langfristvorhersage in den nationalen Wetterdienst-Organisationen. Aus den Antworten (67) geht hervor, daß Vorhersagen vom Informationsgehalt einer 24-Stunden-Vorhersage, also etwa von 11 bit höchstens bis auf 3 Tage ausgedehnt werden. Solche Vorhersagen werden allgemein als Mittelfristvorhersagen bzw. als „extended forecasts“ bezeichnet. Alle anderen, über diesen 3tägigen Zeitraum hinausgehenden eigentlichen Langfristvorhersagen befassen sich nur mit der Vorhersage zeitlicher Mittelwerte, genauer gesagt ihrer Abweichungen von den langjährigen Normalwerten. Gegenstand der Vorhersage sind in erster Linie Temperatur- und Niederschlagsanomalien, teilweise auch Druck- bzw. Strömungsanomalien. Mag es sich dabei um Wochen-, Monats- oder Jahreszeitvorhersagen handeln, der Informationsgehalt beträgt oft nur 2 bit, wie z. B. bei den Monatsvorhersagen des Deutschen Wetterdienstes. Hier werden Temperatur- und Niederschlagsanomalien nur in den Klassen „zu warm — zu kalt“ bzw. „zu trocken — zu naß“ vorhergesagt. Die Genauigkeit der Monatsvorhersagen des US Weather Bureau in Washington und des Zentralen Prognosen-Instituts in Moskau beträgt etwa 4 bit. Washington gibt die Temperaturanomalie in 5 Klassen, die Niederschlagsanomalie in 3 Klassen an. Moskau zeichnet vorhergesagte thermische Isanomalien von 2 zu 2° und gibt die Niederschlagsanomalien in 3 Klassen an.

1.2. Berechtigung der Vorhersage zeitlicher Mittelwerte

Wären zeitlich aufeinanderfolgende meteorologische Beobachtungen als Glieder einer Zeitreihe voneinander unabhängig, dann hätte die Vorhersage zeitlicher Mittelwerte

*) $8 \text{ bit} = 2^3 = 256$

keinen Sinn. In Wirklichkeit sind diese Glieder jedoch untereinander mehr oder weniger stark verkettet.

Es läßt sich zeigen, daß

$$\sigma_s \sqrt{s} = \sigma$$

wenn σ_s die Streuung der Mittelwerte aus s aufeinanderfolgenden äquidistanten Gliedern einer Zeitreihe, σ die Streuung der Einzelwerte der Glieder bei sehr großer Anzahl der Glieder bedeutet. Das gilt für den Fall der Unabhängigkeit der Glieder untereinander (15, S. 240). Die Glieder meteorologischer Zeitreihen sind jedoch mehr oder weniger stark voneinander abhängig. Infolgedessen ist $\sigma_s \sqrt{s} > \sigma_1$. Für den Luftdruck in 3 Punkten und die 3609 Tage der Wintermonate 1. Dezember 1899 bis 28. Februar 1939 wurde $\sigma_s \sqrt{s}$ für $s = 1, 2, 3 \dots 90$ Tage berechnet. Im Falle der Unabhängigkeit müßten die Kurven in Abb. 1 Gerade parallel zur Abszisse durch σ_1 sein. In Wirklichkeit steigen sie aber an, d. h. die reduzierte Streuung der über viele Tage gebildeten Mittelwerte ist größer, als sie bei Unabhängigkeit der Glieder zu erwarten wäre. Diese den meteorologischen, aber auch anderen Zeitreihen eigentümliche Eigenschaft ist als „Erhaltungsneigung“ oder Persistenz bekannt. Wegen der durch sie bedingten Häufung gleichsinniger Abweichungen vom langjährigen Mittel hat die Benutzung zeitlicher Mittelwerte überhaupt einen Sinn.

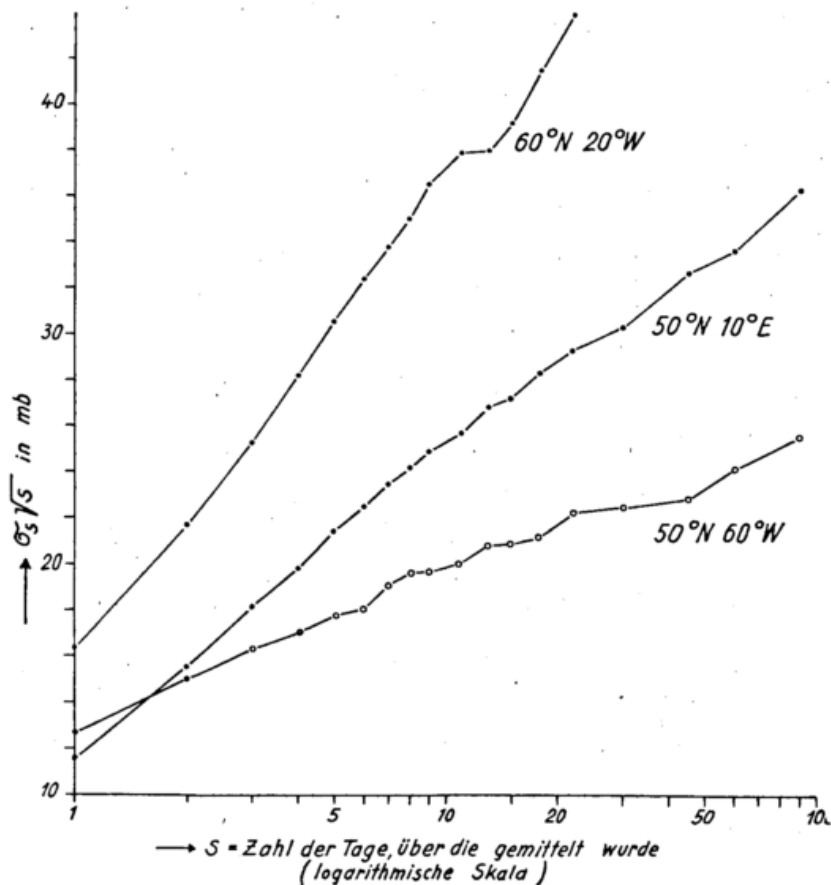


Abb. 1

Die auf Einzelwerte reduzierte Streuung $\sigma_s \sqrt{s}$ der Mittelwerte in Abhängigkeit von der Zahl s der zur Mittelbildung benutzten Tage für den Luftdruck in 3 Punkten der Nordhalbkugel. Wegen der Erhaltungsneigung ist $\sigma_s \sqrt{s} > \sigma_1$ und steigt mit wachsendem s . (σ_1 = Streuung der ungemittelten Luftdruckwerte)

Bei Mittelbildungen über mehr als nur wenige Tage kommen zwar auch Reihen entgegengesetzter Abweichungen vor, doch bleibt eine Tendenz zur Wiederherstellung vorhanden, die Baur (14) als „Wiederholungsneigung“ bezeichnet hat. Die Verkettung der Werte aufeinanderfolgender Tage läßt sich bequem an den zeitlichen Differenzen zeigen. Berechnet man z. B. für den Luftdruck die Änderungen von einem Ausgangstag zum ersten, zum zweiten, zum dritten usw. Folgetag und bestimmt aus einer sehr großen Zahl dieser Änderungen deren Streuung $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \dots$ so streben diese einem Maximum zu, das mit etwa 5—6 Tagen erreicht ist und gleich der Streuung der täglichen Abweichungen des Luftdrucks vom Normalwert ist (46).

Namias (61) drückte den Abfall der Erhaltungsneigung durch folgende einfache Formel aus:

$$r_n = r_1^n.$$

Darin sind r_n bzw. r_1 die Korrelationskoeffizienten zwischen dem Luftdruck am Ausgangstag und dem n -ten bzw. ersten Folgetag. Nan stellt die Erhaltungsneigung bei seinem kombinierten Verfahren (siehe 2.2.1.) der „mean circulation methods“ bewußt als prognostisches Element in Rechnung.

Erhaltungsneigung und Wiederholungsneigung berechtigen nicht nur zur Bildung von Mittelwerten über vorgegebene feste Zeiträume, wie Pentaden-, Dekaden-, Monats-, mitteln usw. Sie legen es auch nahe, die Mittelbildung nur über so viel Tage zu erstrecken als ununterbrochen gleichsinnige Abweichungen vorhanden sind. Da eine solche Folge nun nicht nur bei einem Element auftritt, sondern bei vielen Elementen wegen ihrer starken Abhängigkeit sowohl untereinander als auch von Ort zu Ort, so kommt man zu einem relativ gut, wenn auch nicht exakt zu definierenden neuen komplexen Begriff. Multanowsky spricht von „natürlicher synoptischer Periode“ in einem „natürlichen synoptischen Gebiet“, zitiert bei Pagawa (31) oder bei Kaz (50). Baur (10) spricht von „Großwetterlage“ und „Witterung“ im Gegensatz zum Wetter. Beide Autoren verstehen darunter einen Zeitabschnitt, in welchem in einem natürlichen synoptischen Gebiet die großräumige Strömungsverteilung und daraus folgend die Witterung im wesentlichen gleich bleiben. Multanowsky und seine Schüler behandeln nur das Territorium der UdSSR und die unmittelbare Nachbarschaft. Baur's „natürliches synoptisches Gebiet“ ist Europa, östlicher Nordatlantik mit besonderer Betonung Mitteleuropas. Eine Ausdehnung räumlicher und zeitlicher Art durch Definition einer „Weltgroßwetterlage“ wurde nur skizziert. Von der russischen Schule wurde der Gedanke durch Definition der „natürlichen synoptischen Jahreszeiten“ konsequent weitergeführt. Das Resultat aller dieser Bemühungen ist eine Klassifikation und die Aufstellung eines Kalenders der Großwetterlagen durch Baur, Hess und Nagel (9), Hess und Brezowsky (42) und seiner laufenden Ergänzung durch den Deutschen Wetterdienst (38) bzw. Listen über Beginn, Dauer und Ende der natürlichen synoptischen Jahreszeiten, z. B. bei Girs (37). Von amerikanischer Seite wurde diese Konzeption nicht verfolgt. Im indischen Monsungebiet dagegen taucht der Gedanke der natürlichen synoptischen Jahreszeit wieder auf in den Versuchen, Beginn und Ende der Trockenzeit vorherzusagen (20).

1.3. Nachweis der grundsätzlichen Möglichkeit langfristiger Vorhersagen

Wenn auch infolge der Erhaltungsneigung die Benutzung zeitlicher Mittelwerte gerechtfertigt ist, so darf man nicht ohne weiteres annehmen, daß es grundsätzlich möglich ist, diese Mittelwerte auch vorherzusagen. Wir haben zwar keinen Grund, daran zu zweifeln, daß die Vorgänge kausal ablaufen. Aber die das Großwetter bestimmenden Be-

dingungen sind außerordentlich zahlreich und alle von nahezu derselben Größenordnung. So ist es durchaus naheliegend, die Aufeinanderfolge der atmosphärischen Zustände nur als das Ergebnis des Zusammenspiels von Zufall und Erhaltungsneigung aufzufassen. Erfahrungen im kurzfristigen Bereich mit thermodynamischen und hydrodynamischen Labilitäten zeigen, daß — immer in der Größenordnung des betrachteten Vorgangs — aus kleinen Ursachen große Wirkungen entstehen können. Ähnlich ist es mit der Kolloid-Labilität bei der Niederschlagsbildung und den daran anknüpfenden Versuchen einer technischen Beeinflussung. Ob bzw. inwieweit das auch in der ganz anderen Größenordnung der Langfristvorhersage gilt, ist durchaus diskutabel. Wenn das Großwetter allein aus Erhaltungsneigung und Zufall gebildet wird, dann ist es prinzipiell aussichtslos, wissenschaftliche Methoden zur Gewinnung von Langfristvorhersagen zu entwickeln. Die Ergebnisse würden nicht über die reine Blindlingsleistung hinausgehen.

Ein Vertreter dieser Anschauung war z. B. A. Schmauß (76). Er brachte dafür das folgende, scheinbar sehr eindrucksvolle Beispiel: „Im Vorwinter kommt es ganz wesentlich für die weitere Witterungsgestaltung darauf an, ob das vorangehende Tief von Regen oder von Schnee begleitet war. Hat es Regen gebracht, dann wird es im darauffolgenden Hoch nicht so kalt, weil der noch offene Boden Wärme an die Luft abgibt; hat es Schnee gegeben, so kann das Aufklaren zu strengem Froste führen, da frischer Schnee überaus gut Wärme ausstrahlt, aber ein schlechter Wärmeleiter ist. Vom Verhalten des Zwischenhochs hängt aber das Verhalten des darauffolgenden Tiefs ab. War es verhältnismäßig warm, so erfolgen die Niederschläge der Vorderseite wieder als Regen; war es kalt, dann gibt es schon im Anlaufstadium des Tiefs festen Niederschlag, und so geht das oft weiter, so daß die Frage: Milder oder strenger Winter? oft schon im November entschieden wird. Und dabei hängt der Aggregatzustand der ersten Winterniederschläge oft nur von ein paar Zehntel Grad ab.“

Es hat sich inzwischen herausgestellt, daß dieses Beispiel zwar eine sehr geistreiche Gedankenkonstruktion ist, sich aber aus den Beobachtungen nicht beweisen läßt. Das gilt sowohl für Einzelbeispiele, wie sie im synoptischen Dienst anfallen, als auch generell. Es ist das große Verdienst von F. Baur (6), (8), die Methodik einer solchen generellen Beweisführung aufgezeigt und den Beweis selbst an europäischen Beobachtungsreihen durchgeführt zu haben. Die beiden Arbeiten, nicht nur die letzte, sind leider international kaum beachtet worden. Das mag z. T. am Erscheinungsjahr 1944 der letzten Arbeit liegen, vielleicht auch daran, daß die abstrakten Gedankengänge der theoretischen Statistik in der Meteorologie noch ungewohnt waren.

Es scheint daher notwendig zu sein, auf Baur's Beweisführung an Hand eines seiner Beispiele etwas anschaulicher einzugehen, als er es in den Originalarbeiten selbst tut, und dabei abweichend von ihm Begriffe der modernen statistischen Testmethoden zu verwenden, die auch in der Meteorologie inzwischen Eingang gefunden haben.

Abb. 2 gibt für jeden der 50 Hochsommertage vom 1. Juli bis 19. August der 50 Jahre 1888—1937 an, ob in Potsdam meßbarer Niederschlag (■) gefallen war oder nicht (□). Es handelt sich also um Alternativ-Aussagen. Diese Darstellungsweise wurde von Bartels (4) für ähnliche Zwecke verwendet. Sowohl die Zeilenhäufigkeiten Z als die Kolonnenhäufigkeiten K werden als Ergebnisse von Stichproben im Umfang von je 50 Zügen aus dem gesamten Material von 2500 Werten aufgefaßt. Diese Häufigkeiten sind in Abb. 2 in Säulendarstellung an den Rändern eingetragen.

Die Verteilung dieser Häufigkeiten ist in Abb. 3 aufgezeichnet worden. Die Baur'sche Beweisführung beruht auf einem Vergleich der Verteilung der kalendergebundenen

(Abb. 3a) und der gestaltenden (Abb. 3b) Wahrscheinlichkeiten mit der (binomischen) Verteilung der Zufallswahrscheinlichkeiten (Abb. 3c). Schon der Augenschein zeigt, daß b keineswegs der Verteilung c ähnelt, sondern wesentlich breiter gestreut ist, also überzufällige Bestandteile enthalten muß. Da allen Verteilungen derselbe Mittelwert zugrundeliegt, kann man sie durch ihre Streuungen σ charakterisieren.

Die Zufalls-Streuung σ_B ist dabei gegeben durch

$$\sigma_B = \sqrt{s \cdot p_0(1-p_0)}.$$

Dabei ist $s = 50 =$ Umfang der Stichprobe, $p_0 = 0,484 =$ Grundwahrscheinlichkeit für das Auftreten von Niederschlag. Der Vergleich gipfelt in der Berechnung des Verhältnisses

$$Q = \frac{\sigma_K}{\sigma_B}$$

das als Divergenzkoeffizient nach Lexis bekannt ist. Ist $Q > 1$, dann sind überzufällige Bestandteile für die gestaltenden Wahrscheinlichkeiten bestimmend. Im behandelten Beispiel ist $Q = 1,56$. Die Anwendung auf die Verteilung Abb. 3a, die zu einer Kritik der Singularitäten führt, braucht hier nicht weiter verfolgt zu werden.

Meteorologische Ereignisse, auch die Niederschlagshäufigkeit, sind jedoch als Bestandteile von Zeitreihen nicht unabhängig voneinander, sondern durch die Erhaltungsneigung sind aufeinanderfolgende Ereignisse miteinander verkettet. Durch Anwendung der Markoffschen Theorie verketteter Ereignisse und Beschränkung auf Alternativenketten kommt Baur zu einer Erweiterung von σ_B auf

$$\sigma_M = \sqrt{s \cdot p_0(1-p_0) \frac{1+\Delta}{1-\Delta}}.$$

Darin ist Δ ein Maß für die Erhaltungsneigung. Es ist Null bei Fehlen einer solchen. σ_M geht dann in σ_B über. Das Verhältnis

$$D = \frac{\sigma_K}{\sigma_M}$$

ist das erweiterte Maß für das Vorhandensein überzufälliger Bestandteile, wenn die Erhaltungsneigung berücksichtigt wird. Im vorliegenden Fall ist $\sigma_M = 4,59$ und $D = 1,19$. Außer der als Beispiel herausgegriffenen Niederschlagshäufigkeit im Hochsommer in Potsdam berechnete Baur noch weitere Divergenzkoeffizienten D aus Hochwinter und Hochsommer im europäischen Raum und fand D in allen Fällen größer als 1,00, häufig größer als 1,15.

Er faßt das Ergebnis wie folgt zusammen (8):

- 1) „Es bestehen übergeordnete veränderliche Bedingungskomplexe, durch welche die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der das Witterungsgepräge längerer Zeiträume (Monate und Jahreszeiten) bestimmenden Merkmale von Jahr zu Jahr verschieden sind.“
- 2) „Diese Schwankungen der gestaltenden Wahrscheinlichkeiten sind — abgesehen vom großen Jahresgang — für das Witterungsgepräge von erheblich größerem Einfluß als die kalendergebundenen Wahrscheinlichkeiten.“

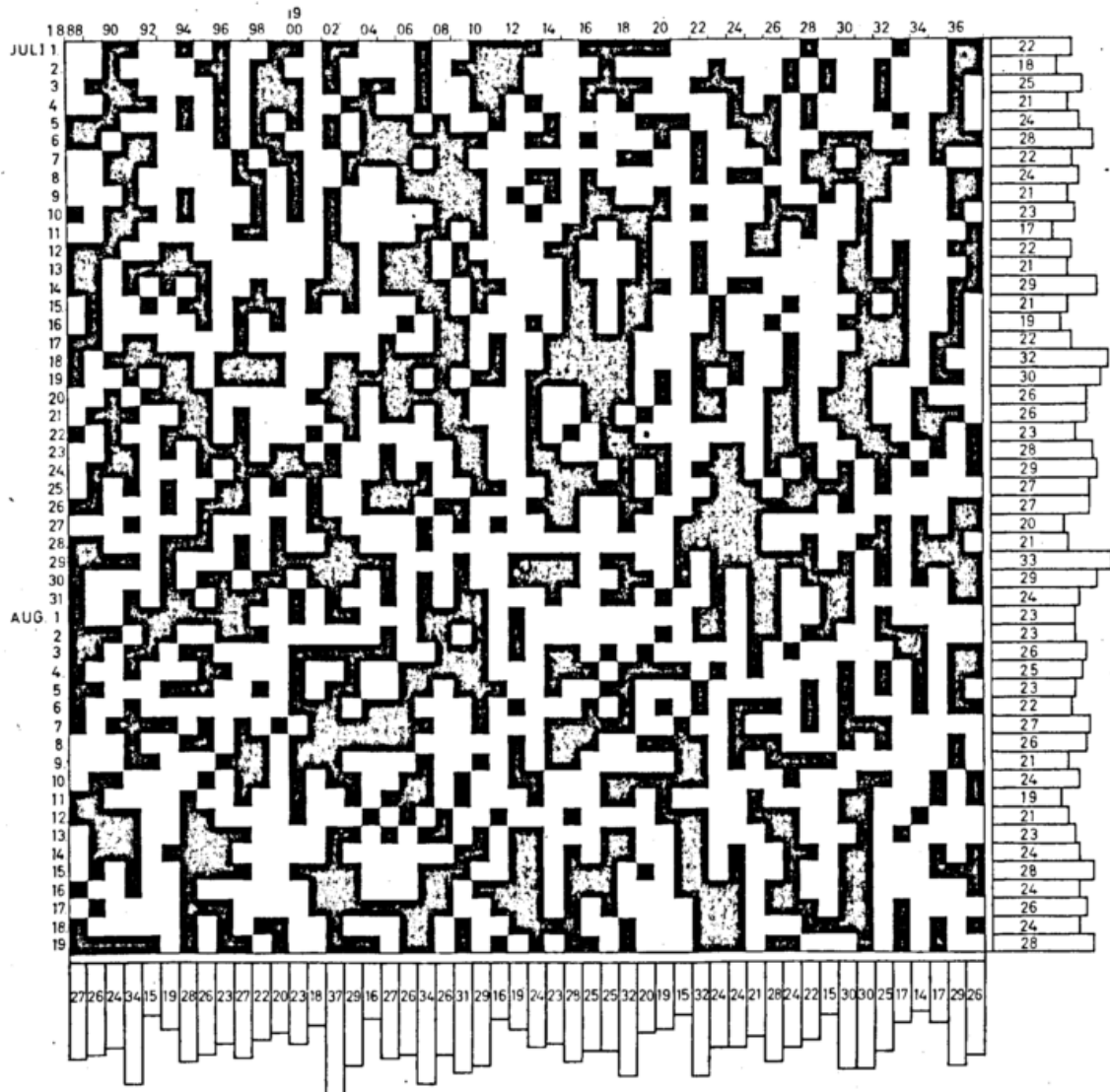


Abb. 2

Das Auftreten von meßbarem Niederschlag (■) in Potsdam, 1. Juli—19. Aug. 1888—1937. Die Säulen am unteren und rechten Rand stellen die Häufigkeiten von Jahr zu Jahr bzw. von Kalendertag zu Kalendertag dar (nach Bartels bzw. Baur). Die Darstellung veranschaulicht die Anwendung der Lexis'schen Dispersions-theorie auf meteorologische Reihen.

Daraus folgt unmittelbar, daß es durchaus erfolgversprechend sein wird, nach diesen übergeordneten veränderlichen Bedingungskomplexen im Einzelfall zu suchen. Da das Ergebnis für Alternativaussagen abgeleitet wurde, müßte es grundsätzlich möglich sein, Langfristvorhersagen vom Informationswert 1 bit (Alternativ-Aussagen) für jedes Element im Sinne der Ausführungen des Abschnitts 1.1 zu geben, wenigstens für Mitteleuropa und für die Sommer- und Wintermonate.

Es wurde bisher nicht versucht, wäre aber dringend zu wünschen, solche Untersuchungen auch für außereuropäische Räume, Nordamerika, Ostasien, für die Tropen und die Subtropen, für die Südhalbkugel anzustellen und sie nicht auf Hochwinter und Hochsommer zu beschränken, sondern den Jahresgang in anderer Weise auszuschalten.

Merkmal-Skala: Anzahl der ■ in Abb. 2

13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37
14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38

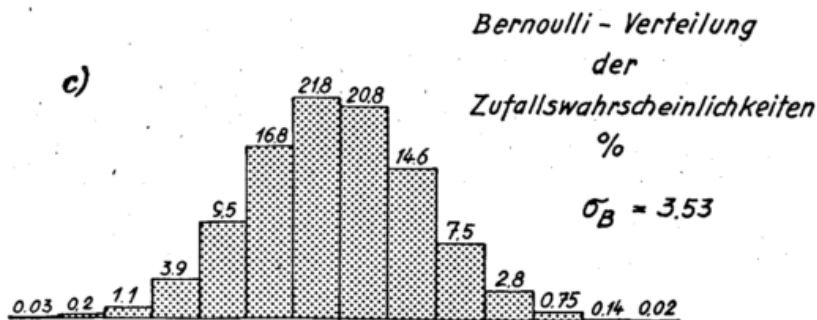
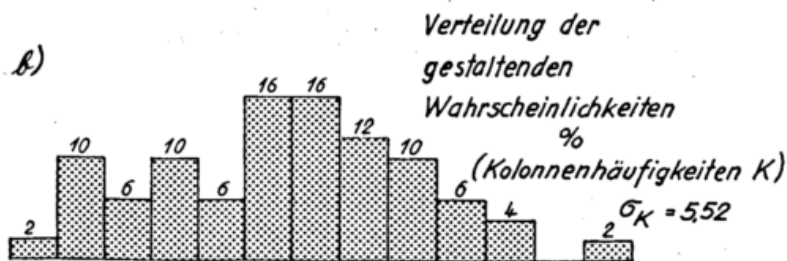
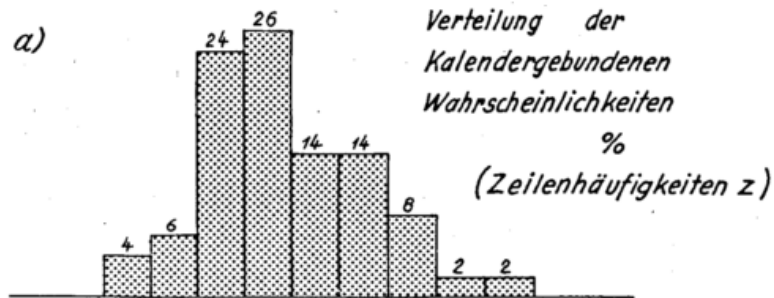


Abb. 3

Häufigkeitsverteilungen der Zeilen- und Kolonnenhäufigkeiten von Abb. 2 im Vergleich mit Zufallswahrscheinlichkeiten. Aus der wesentlich breiteren Streuung von b) verglichen mit c) wird auf übergeordnete Bedingungskomplexe beim Zustandekommen der gestaltenden Wahrscheinlichkeiten (Häufigkeiten von Jahr zu Jahr in Abb. 2) geschlossen.

Die „übergeordneten veränderlichen Bedingungskomplexe“ können verschiedener Natur sein. Abgesehen von einzelnen seltenen äußeren Einflüssen, z. B. von vulkanischen Locker-Ausbrüchen, kommen in Betracht:

- 1) Einflüsse aus der Atmosphäre selbst,
- 2) solare Einflüsse verschiedenster Art, vor allem auf dem Weg über die Hochatmosphäre,
- 3) Einflüsse aus der Hydrosphäre.

Im Falle 1. und 3. müßten letzten Endes Perioden auftreten. Wegen der 10000mal größeren Wärmekapazität der Hydrosphäre gegenüber der Atmosphäre und der langen Verweilzeit eines Wasserteilchens in der Tiefsee werden jedoch die periodischen Einflüsse aus der Hydrosphäre sicher von höherer Größenordnung sein als die Vorhersagezeiten der Langfristvorhersage. Sie werden also, ebenso wie die solaren Einflüsse, aperiodisch auftreten.

2. Methoden

Die übergeordneten veränderlichen Bedingungskomplexe des vorhergehenden Abschnitts waren die Folgerung aus einer grundlegenden empirisch-statistischen Art der Betrachtung. In die Sprache der theoretischen Physik übersetzt, wären sie in folgender Weise zu formulieren: Die Gleichungen der Hydrodynamik und der Thermodynamik sind für die ganze Erde mit den Anfangsbedingungen des Vorhersagetags in der Zeitskala der Langfristvorhersage zu integrieren. Dabei ist die zu- und abgeführte Energiemenge dQ nicht mehr wie bei den Modellen der numerischen Kurz- und Mittelfristvorhersage gleich Null oder gleich einer gegebenen Funktion zu setzen, sondern durch Hinzunahme der Strahlungsgleichungen und der entsprechenden Anfangsbedingungen zu berücksichtigen.

Die Randbedingungen ergeben sich aus der Abgrenzung der Gesamtatmosphäre einerseits gegen Litho- und Hydrosphäre, andererseits gegen die Hochatmosphäre bzw. gegen den Weltraum. Wegen der Berücksichtigung des Energieaustauschs mit beiden Grenzen kann die Atmosphäre nicht mehr wie bei der augenblicklichen numerischen Vorhersage als geschlossenes System behandelt werden. Wahrscheinlich ist die jeweilige Energiebilanz beim Langfristproblem sogar dominant.

Das Problem der Langfristvorhersage ist damit ein Teilproblem einer theoretischen Klimatologie, sofern man von dieser Disziplin nicht nur die mathematische Deduktion eines mittleren Zustandes der Atmosphäre, sondern auch der Schwankungen verlangt. Es gipfelt in der Erklärung der Schwankungen der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre.

Solange ein passendes, der numerischen Vorhersage im Kurzfristbereich vergleichbares Zirkulationsmodell noch nicht entwickelt ist, muß das Problem mit empirischen Methoden angegangen werden, so wie es im Kurzfristbereich mit den Extrapolationsmethoden der Synoptik der Fall ist.

2.1. Empirische Verfahren

2.1.1. Extrapolationsmethoden

2.1.1.1. Großwettersynoptik.

Die Grundlage einer solchen Synoptik bildet die Loslösung von den Augenblickszuständen der Atmosphäre durch eine geeignete Zusammenfassung. Wie schon in Abschnitt 1.2 ausgeführt, weist die Tatsache der Erhaltungsneigung in allen meteorologisch wichtigen Größen auf eine Art Quantelung des atmosphärischen Geschehens hin und führt zu einem neuen Begriff. Etwa 1922 wurde von Multanowsky die „natürliche synoptische Periode“ definiert. Die Definition lautet in der Fassung von Pagawa (64):

„Mit einer natürlichen synoptischen Periode bezeichnet man den Zeitraum, in dessen Verlauf das thermobarische Feld in der Troposphäre von beständiger Natur ist und dementsprechend der Verlagerung der barischen Gebilde an der Erdoberfläche eine bestimmte Orientierung verleiht und gleichzeitig eine beständige Verteilung der barischen Zentren an der Erdoberfläche im Bereich des natürlichen synoptischen Gebiets bewirkt. Mit anderen Worten: Im Verlauf der Periode erhält sich eine beständige geographische Verteilung sowohl der Herdgebiete der Warmluft und Kaltluft in der Troposphäre als auch der barischen Gebilde in der Höhe, die die Komponenten des Deformationsfeldes sind. Mit der Bildung neuer hoher Deformationsfelder, die der Verlagerung der barischen Gebilde an der Erdoberfläche eine neue Orientierung verleihen, beginnt eine andere natürliche Periode.“

Unabhängig davon wurde etwa 1936 von Baur (7) der Begriff der „Großwetterlage“ entwickelt, der in der Fassung von (10) lautet:

„Unter Großwetterlage verstehen wir heute die mittlere Luftdruckverteilung über einem größeren Gebiet während eines Zeitraumes, in welchem die Luftdruckverteilung und die Steuerung (d. h. die Bahnen aufeinanderfolgender 24stündiger Drucksteig- und -fallgebiete) im wesentlichen unverändert blieben.“

Der neue Begriff bedingte neue Arbeitsmittel, die besonders von der russischen Schule, andeutungsweise auch in Deutschland entwickelt wurden. Neben der zeitlich gemittelten Verteilung ist es die sogenannte „Sammelkarte“ (russ. *sbornaja karta*), die man am bequemsten im Referat von Neis (63) studieren kann. Auf diesen Karten werden atmosphärische Prozesse und ihre Entwicklung in einer besonderen Symbolik dargestellt. Da sich die von der russischen und der deutschen Schule benutzten „natürlichen synoptischen Gebiete“ stark überschneiden, ist es möglich, die Darstellungsarten beider Schulen, die unabhängig voneinander arbeiten, an einem Beispiel für denselben Zeitraum zu vergleichen (Abb. 4).

Als natürliche synoptische Periode war 31. Dezember 1937 bis 6. Januar 1938 bei Girs (37) bzw. Pagawa (31) angegeben worden. Abb. 4 oben zeigt die zugehörige „Kinematische Sammelkarte“, in welcher für den festgelegten Zeitraum die jeweilige Lage der Zentren der Antizyklogen und Zyklonen bzw. deren Teil- und Randgebilde mit dem Datum eingetragen sind. Die Positionen wurden durch Linien miteinander verbunden, falls eine eindeutige Bahn erkennbar ist. Die antizyklonalen bzw. zyklonalen Symbole sammeln sich, falls eine natürliche synoptische Periode wie im vorliegenden Beispiel zugrunde gelegt wurde, in bestimmten Gebieten, die man durch eine „Demarkationslinie“ voneinander trennen kann.

Die deutsche Darstellung der Großwetterlage vom 30. Dezember 1937 bis 5. Januar 1938 in Abb. 4 unten erfaßt denselben Zeitraum von 7 Tagen, nur ist die Datierung um einen Tag vorverlegt. Sie wurde aus (58) umgezeichnet. Die mittlere Höhen-Luftdruckverteilung zeigt ein steuerndes Hoch bei Irland, Tief über Rußland, Nordströmung über West- und Mitteleuropa. Die danebenstehende Karte könnte man mit gleichem Recht wie die russische eine kinematische Sammelkarte nennen. Sie zeigt nicht die Bewegung der zyklonalen und antizyklonalen Gebilde selbst, sondern die Verlagerung der zugehörigen 24stündigen Änderungen des Luftdrucks. Die Trajektorien charakterisieren in diesem Falle eine ausgeprägte Nordsteuerung und sind in Mitteleuropa mit folgendem Witterungscharakter gekoppelt:

„Bei Zufuhr arktischer Luftmassen kalt und meist wolkig. Verbreitet leichte bis mittlere Schneefälle. Höchsttemperaturen nur selten über 0°. Tagesmittel bis zu 10° unternormal. Ab 1. Januar fast allenorts geschlossene Schneedecke.“

Analoge Witterungsbilder sind auch mit der russischen Darstellungsweise verbunden.

Das Ganze ist zunächst nichts anderes als eine übersichtliche Analyse. Die russische Schule knüpft daran jedoch wesentliche prognostische Gesichtspunkte und sagt: 1) Erfahrungsgemäß haben alle natürlichen synoptischen Perioden — innerhalb der Jahreszeiten mit nur unbedeutenden Schwankungen — dieselbe Dauer (zwischen 5 und 8 Tagen). 2) Das Ende einer bestehenden Periode wird durch das Eindringen zyklonaler bzw. antizyklonaler Gebilde (Symbole) in einen durch die Demarkationslinie abgegrenzten antizyklonalen bzw. zyklonalen Raum angezeigt. Im Beispiel der Abb. 4 ist es das Auftauchen eines zyklonalen Symbols am 7. Januar bei Schottland. Damit wird

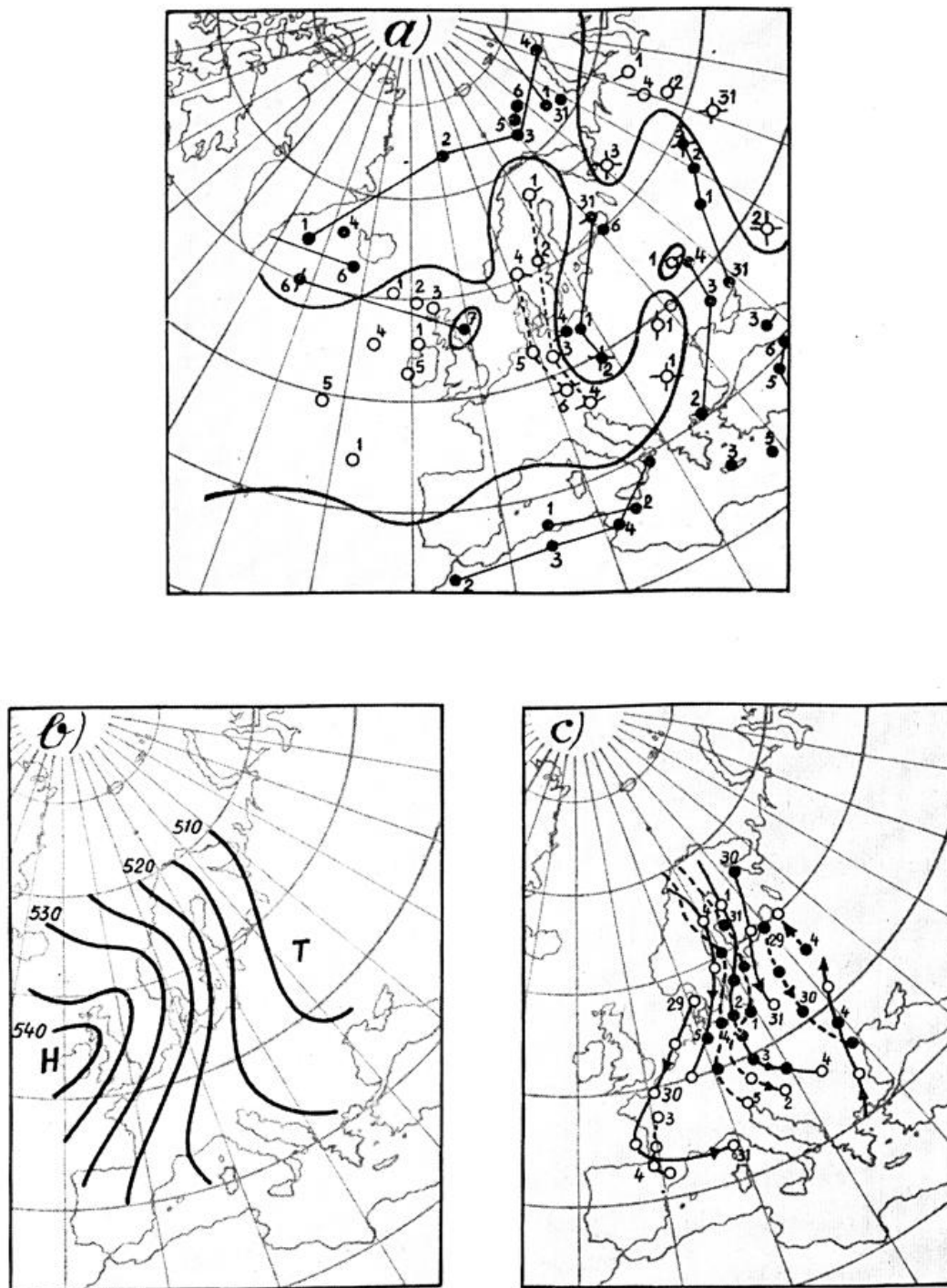


Abb. 4

Vergleich der russischen und der deutschen Darstellungsart für die gleiche Großwetterlage (die Zahlen bezeichnen den Monatstag)

- a) Kinematische Sammelkarte für die natürliche synoptische Periode vom 31. Dez. 1937—6. Jan. 1938
(●—● = zyklonale Druckgebilde, ○---○ = antizyklonale Druckgebilde und deren Zugbahnen)
- b) Mittleres Geopotential der 500-mb-Fläche in geodyn. Dekameter
- c) Verlagerung der 24stdg. Steig-(○--○) und Fallgebiete (●—●) des Luftdrucks im Meeresniveau.
Großwetterlage vom 30. Dez. 1937—5. Jan. 1938.

eine neue Periode eingeleitet, deren Art man in den ersten beiden als „Tendenz“ bezeichneten Tagen feststellen kann. Kritschak (53) formuliert dieses prognostische Prinzip wie folgt: „Zu Beginn der Periode stellt man die Richtung der Entwicklung der synoptischen Prozesse und ihre Dauer nach der Dauer der vorausgegangenen Periode fest.“ Im vorliegenden Fall würde man — für Mitteleuropa — eine bis zum 13. Januar anhaltende Westlage, d. h. Tauwetter, vorhersagen, falls sich die zum 7. angedeutete Tendenz auch am 8. noch bestätigt.

Die nächste natürliche synoptische Periode ist bei Pagawa (31) ebenfalls als Beispiel angegeben. Sie läuft vom 7.—12. Januar 1938. Die nächste Großwetterlage in (58) läuft vom 9.—12. Januar 1938. Zwischen ihr und der vorhergehenden Großwetterlage liegen 3 als Übergang bezeichnete Tage (6., 7. und 8. Januar), in welchen der am 5. angedeutete Abbau des steuernden irischen Hochs Wirklichkeit wird. Sie könnten der „Tendenz“ der russischen Schule zur Seite gestellt werden. Das Vorhersageprinzip bringt es mit sich, daß solche Prognosen nicht an festen Terminen ausgegeben werden können, sondern daß die Prognosentage von der großwetter-synoptischen Entwicklung abhängen. Das prognostische Prinzip ist eine aus der Erfahrung gewonnene Arbeitshypothese, deren Berechtigung, wie besonders in den jüngeren zusammenfassenden Arbeiten, z. B. bei Kritschak (53), betont wird, im Einzelfall durch Analogiebetrachtungen bestätigt wird.

Während die russische Schule ihre Großwettersynoptik für prognostische Zwecke voll ausgebaut hat, gilt das für die später einsetzende parallel laufende deutsche Entwicklung nicht. Zwar wird der Begriff der Großwetterlage für beschreibende Zwecke auch in der Klimatologie häufig benutzt. Der Kalender der Großwetterlagen (9) (42) und die Weiterführung in (38) zeugen davon, ebenso Erweiterungen im Hinblick auf eine Typisierung der Witterungsumschläge, der Übergänge von einem quasistationären Zustand (Großwetterlage I) in den folgenden (Großwetterlage II), z. B. Grünwald (39).

Prognosen in größerem Umfang wurden aber auf dieser Basis der Quantelung des Wettergeschehens in Deutschland nicht gegeben. Ist der subjektive Spielraum bei Benennung und Abgrenzung der Großwetterlagen im Einzelfall sowieso schon relativ groß, so wächst die Unsicherheit noch weiter an, wenn diese Bestimmung nicht rückblickend, sondern täglich vorgenommen werden muß. Einigermaßen objektiv gelingt das dann nur noch bei blockierenden Lagen. Fehlen diese Lagen oder treten sie nur selten auf, dann stößt die Quantelung des Wettergeschehens auf Schwierigkeiten. Es ist daher nicht verwunderlich, daß sich eine Großwettersynoptik auf dieser Basis in Nordamerika, wo Blockierungen selten sind, nicht entwickelt hat.

Die russische Schule überträgt das Prinzip der Quantelung, über das Zeitintervall einer Großwetterlage weit hinausgehend, auch auf den großen Jahresgang der allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre, wenigstens für den Bereich ihres „Arbeitsterritoriums.“

Der analoge Begriff zur natürlichen synoptischen Periode ist die „natürliche synoptische Jahreszeit“. Multanowsky unterscheidet 5 solcher Zeitabschnitte: Frühling, Sommer, Herbst, Vorwinter und Winter. Sie beginnen und enden jedes Jahr mit einem anderen Datum. Tabelle 1 gibt mittlere und extreme Daten an.

Das Arbeitsmittel zur Festlegung dieser Zeitabschnitte ist wieder in der Hauptsache eine Sammelkarte. Nur ist sie insofern vereinfacht, als sie nicht mehr die einzelnen synoptischen Prozesse enthält, sondern nur die einzelnen natürlichen synoptischen Perioden in Trajektoriendarstellung. Durch weitere Typisierung und Zusammenfassung

Tab. 1

Die natürlichen synoptischen Jahreszeiten im Europäischen Rußland
(nach Multanowsky)

Jahreszeit	Beginn			Dauer Mittel
	Mittel	Frühestens	Spätestens	
Herbst	13. August	1. August 1903, 15, 19, 20, 22	28. August 1901, 08, 11	53 Tage
Vorwinter	5. Oktober	20. September 1893, 1933	28. Oktober 1923	67 Tage
Winter	11. Dezember	2. November 1882	18. Januar 1923	92 Tage
Frühling	13. März	1. März 1920	1. April 1883, 88	66 Tage
Sommer	18. Mai	27. April 1919	1. Juni 1918	87 Tage

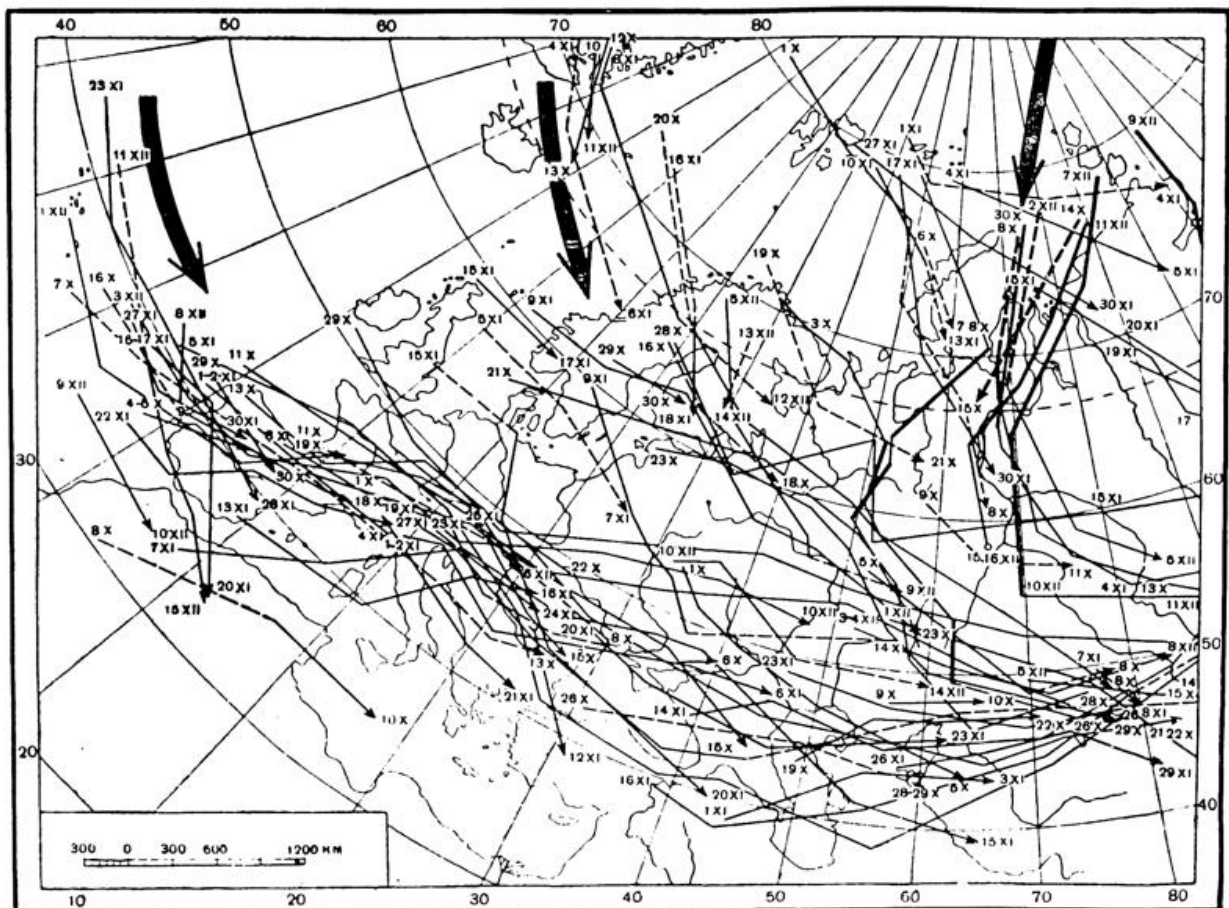


Abb. 5

Vorwinter 1938 (4. Okt.—14. Dez.) nach Multanowsky-Pagawa (31). Antizyklonale und zyklonale Trajektorien mit Datum. Die Trajektorien bündeln sich um die Azoren-Achse, die Isländische und die Karische Achse (→).

kommen Multanowsky und seine Schüler zu den, auch außerhalb der russischen Fachliteratur bekannt gewordenen „Achsen“.

Als Beispiel der Kartendarstellung einer natürlichen synoptischen Jahreszeit sei der Vorwinter 1938 gebracht (Abb. 5), der sich mit deutschen Darstellungen vergleichen läßt. Er wird mit 71 Tagen angegeben und vom 4. Oktober bis 14. Dezember datiert. Die Trajektorien der Druckgebilde bündeln sich bei etwa 45° N. Das Bündel (Azoren-Achse) läuft zonal von den Azoren bis zum Balkaschsee. Eine zweite Bündelung nimmt ihren Ausgang bei Ostgrönland und führt nördlich Island vorbei nach Finnland und weiter quer durch Rußland zum Aralsee (Isländische Achse), eine dritte Bündelung zieht sich von der Kara-See nach Süden (Karische Achse). Die letzten beiden werden als polare Achsen bezeichnet. Die Karte vermag in äußerst eindrucksvoller Weise die Großzirkulation der betreffenden Zeitspanne wiederzugeben. Nach der mittleren Druckverteilung (Abb. 6), die aus (58) unter Vernachlässigung des 1.—14. Dezember gebildet wurde, könnte man z. B. nur auf die als Azorenachse bezeichnete sehr südliche Lage der nordatlantischen Frontalzone und ihr abnorm weites Eindringen in den Kontinent schließen.

Der Umbruch von Vorwinter zum Winter (15. Dezember 1938 bis 18. März 1939) erfolgte durch plötzliches Auftreten der „ultrapolaren Achse“. In der deutschen Literatur wurde dieser Vorgang in (58) festgehalten und von Scherhag (75) eingehend beschrieben. Dieser konnte ein aerologisches Kältegebiet von Sibirien („auf einer ultrapolaren Achse“) bis nach Mitteleuropa verfolgen, wo es vom 14. zum 18. Dezember 1938 die Mitteltemperatur der Schicht zwischen 500 und 1000 mb um 20° C erniedrigte. Mit diesem Termin begann auch in Mitteleuropa der Winter.

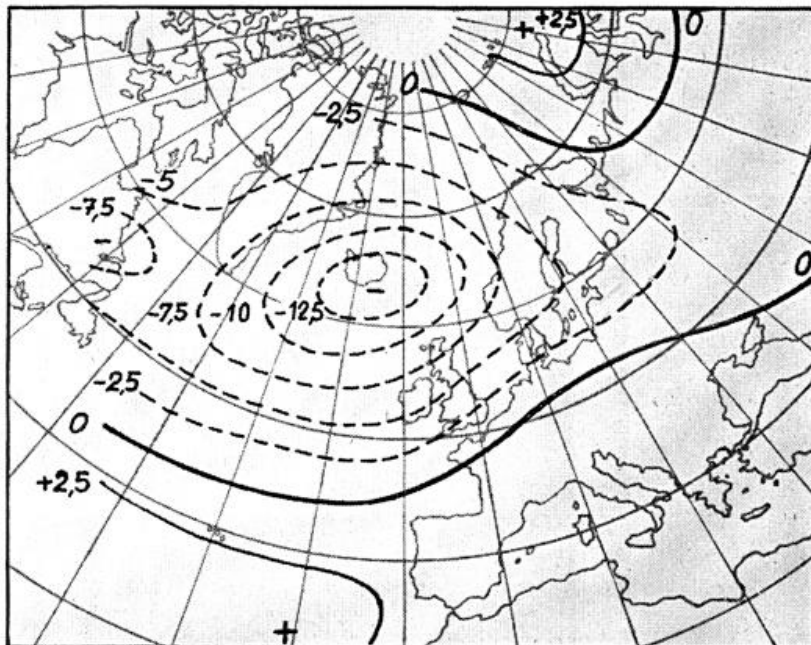


Abb. 6

Abweichung der mittleren Luftdruckverteilung in mb im Meeresniveau vom Mittel für die Zeit vom 1. Okt. bis 30. Nov. 1938 zum Vergleich mit der natürlichen synoptischen Jahreszeit des Vorwinters 1938 nach Multanowsky-Pagawa Abb. 5.

Solche Analysen der Großwettervorgänge sind äußerst eindrucksvoll und für die Zeit ab 1881 konsequent durchgeführt. Die Prognose für die ganze Jahreszeit kommt allerdings mit einer einfachen Extrapolation nach dem Prinzip der natürlichen synoptischen Periode: Tendenz + Erhaltung, nicht aus. Neben einer Typisierung der Umbruchsvorgänge beim Wechsel der Jahreszeiten versucht die russische Schule Rhythmen und Symmetrien in diesen Erscheinungen zu benutzen.

Außer in der UdSSR werden mit dieser Methode keine regelmäßigen Prognosen ausgearbeitet, jedoch spielen ihre Gedankengänge bei vorbereitenden Arbeiten oft eine beherrschende Rolle wie z. B. bei Krastanoff und Ganjeff (52) in Sofia, bei Topor (83) in Bukarest, bei Teich (81) in Potsdam und bei Kopcewicz (51) in Warschau. Über eine Typisierung von Witterungs- und Zirkulationsanomalien und ihrer Änderungen gehen diese Arbeiten aber kaum hinaus und liefern keine neuen für eine Prognose wesentlichen Gesichtspunkte. Eine unveränderte Übertragung des Multanowsky-Pagawa-Verfahrens auf China wurde durch Ku Tschien-Tschau (54) in Peking versucht.

Eine reine Extrapolation und gleichzeitig die Aufstellung zweier gegenläufiger Typen auf der Ebene der Jahreszeitvorhersage versuchte Rodewald (71). Er zeichnete Karten der Änderungen der über einen Monat gemittelten Anomalien des Luftdrucks im Meeresniveau von einem Monat zum anderen und versuchte, diese „Isallobaro-Anomalien“ sinnvoll zu verlagern. Dabei stellte er zwei Typen für das Zustandekommen strenger bzw. milder mitteleuropäischer Hochwinter (Januar + Februar) heraus. Die Zentren der Änderungsgebiete und ihre Verlagerungsrichtung bündelten sich mit erträglicher Streuung in einer „Isallobarischen Achse“, die sich aus dem Seeraum westlich der Kapverden in großem Bogen nach dem Golfstromgebiet westlich Schottland und weiter nach Westrußland zieht. Westlich Schottland lag dabei vor strengen Wintern Druckabbau vom Oktober zum November, Druckaufbau vom November zum Dezember. Vor milden Wintern war es umgekehrt. Das Verfahren hat berechnete Kritik durch Hußlein (48) hervorgerufen. Dieser zeigt, daß ein empirisches Extrapolationsverfahren vor seiner Anwendung am gesamten zur Verfügung stehenden Beobachtungsmaterial statistisch gesichert werden muß.

Von ähnlichen Gedankengängen ließ sich Péczely (65) leiten. Seine Karte (a. a. O. Abb. 10), die hier als Abb. 7 wiedergegeben wird, zeigt zwar, daß die Kerne skandinavischer positiver Druckanomalien, die im Hochwinter im eingerahmten Abschnitt lagen, einen bzw. zwei Monate vorher in einem westlich dieses Abschnitts liegenden Gebiet angetroffen wurden. Der Versuch, durch Pfeile eine individuell über drei Monate anhaltende Zuordnung der Kerne herzustellen, ergibt jedoch kein überzeugendes Argument. Solche einfachen Verlagerungen von Druckanomalien gehören zu den seltenen Ausnahmen. Ein solcher Ausnahmefall trat im Herbst 1961 auf, vergleiche (38, Jg. 1961, S. 97). Eine Extrapolation würde kein verantwortungsbewußter Prognostiker gewagt haben.

Waren die bisher geschilderten Gedankengänge einer Großwettersynoptik nur auf den europäischen Sektor beschränkt, so versucht die Chicagoer Meteorologenschule auf einer ganz anderen Grundlage eine voll-hemisphärische Betrachtungsweise durchzuführen, wie Riehl und Mitarbeiter (69) (70) und F. Defant (25) zeigen.

Ausgang ist die Unterscheidung von zwei Typen der Zirkulation an Hand eines einfachen Parameters. Dieser ist das hemisphärische Mittel über alle meridionalen Druckunterschiede quer zur Zone der stärksten Westwinddrift (35° — 55° N) bzw. die daraus ermittelte zonale Komponente des geostrophischen Windes. Dieser einfache Parameter wurde als „Zonalindex“ bekannt. Hohe Werte (High Index) charakterisieren einen

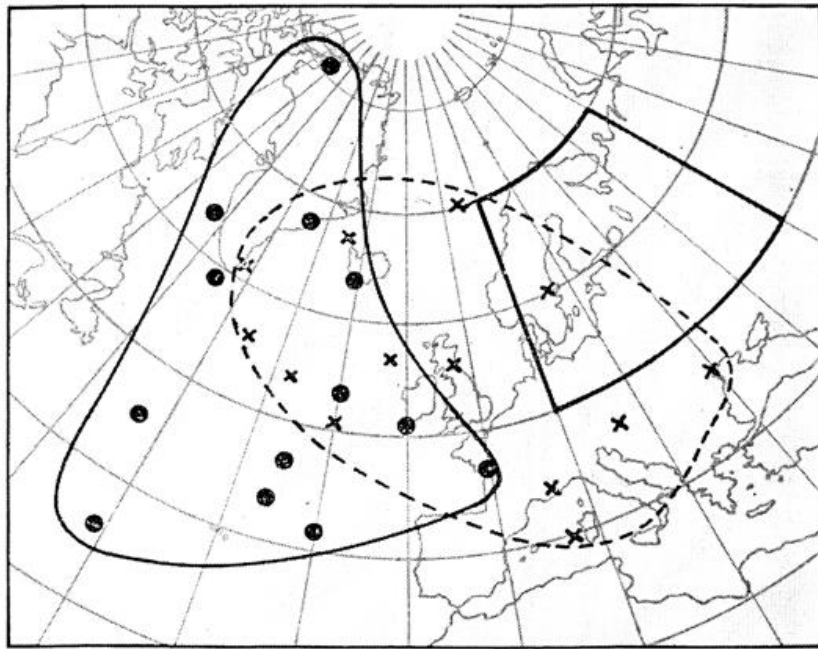


Abb. 7

Die Lage positiver monatlicher Druckanomalien im Winter in je 3 aufeinanderfolgenden Monaten. Wenn eine winterliche positive Druckanomalie im eingerahmten Gebiet lag, dann lag sie einen Monat vorher (×) in dem durch eine gebrochene Linie, zwei Monate vorher (●) in dem durch eine ausgezogene Linie umschlossenen Raum (nach Péczeley).

Zirkulationstyp mit einer gegenüber dem Jahresmittel beträchtlich verstärkten Westdrift, die in mittleren und höheren Breiten verläuft. Niedrige Werte (Low Index) zeigen eine abgeschwächte Westdrift in der mittleren, eine gesteigerte in der niederen Breitenzone der Nordhalbkugel (bzw. der Erde überhaupt). Der High-Index-Typ weist einen eng begrenzten zirkumpolaren Wirbel mit sehr kalter Polarkalotte auf. Der Low-Index-Typ zeigt mehrere Kältezentren außerhalb der relativ warmen engeren Polarkalotte, die sich in bevorzugten Gebieten (Nordostsibirien, Nordkanada, Nordeuropa) südwärts verlagern.

F. Defant (25) entwickelte am weltweiten Material des Winters 1951/52 die Umwandlung beider Typen ineinander nach folgendem Schema:

1) Ausgang Low Index:

- a. Auftreten eines gut ausgebildeten Druckanstiegs (500 mb) und gleichzeitige troposphärische Erwärmung im subtropischen West-Atlantik bzw. im subtropischen West-Pazifik.
- b. Fortbewegung dieser „Wärmequelle“ auf einer bevorzugten Bahn rund um die Nordhalbkugel mit einer Geschwindigkeit von 20–30 Längengrad pro Tag. Dabei Zerstörung der Kältezungen oder der Tröge des Druckfeldes mit sukzessiver Neubildung von Frontalzonen weiter nordwärts.
- c. Resultat des Gesamtprozesses ist die Kontraktion des zirkumpolaren Wirbels (High Index).

2) Ausgang High Index:

- a. Kälteausbrüche aus der sehr kalten Polarkalotte, meist in der zeitlichen Reihenfolge: Ostküste Asiens nach Westpazifik, Alaska nach Westkanada, Grönland—Island nach Europa.
- b. Sekundäre Ausbildung von Warmluftvorstößen (grundsätzlich anderer Art als die Wärmequellen unter 1. b) in Richtung auf die Polarkalotte. Diese wird erwärmt, und der Zustand des Low Index ist die Folge.

Das Schema entspringt klassischer synoptischer Arbeitsweise und erlaubt eine Extrapolation und laufende Berichtigung über viele Tage im voraus. Wenn es auch bisher an keinem der nationalen Wetterdienste in reiner Form eingeführt wurde, so ist diese Art, Großwittersynoptik zu treiben, einer der Bestandteile bei den 6tägigen und den 30tägigen hemisphärischen Vorhersagen des US Weather Bureaus unter der Leitung von Namias (61) (62), auf welche später eingegangen wird.

2.1.1.2. Extrapolation von Perioden

Wenn die in 1. 3. erwähnten „übergeordneten veränderlichen Bedingungskomplexe“ nur aus der Atmosphäre selbst als einem in sich geschlossenen System stammen, müssen klar erkennbare Periodizitäten auftreten. Das gilt für die wichtigsten meteorologischen Elemente und ihre räumlichen Verteilungen in gleicher Weise. Wegen der unmittelbaren Verbindung mit der allgemeinen Zirkulation genügt es, das Druckfeld (am Boden oder in der Höhe) allein zu analysieren.

Wie bekannt, läßt sich eine beliebige Zeitreihe, wie sie der Verlauf des Luftdrucks an einem Punkt (die Barometer-Registrierung) darstellt, durch Reihen vorgeschriebener Funktionen ausdrücken, die ein vollständiges Orthogonalsystem bilden. Ihre Koeffizienten haben dabei die Form von Produktintegralen. Von Ausnahmen abgesehen wurden beim Luftdruck nur die Fourierschen Reihen benutzt, die sich bei der Entwicklung periodischer Funktionen ergeben. Hat eine Zeitreihe, die so behandelt werden soll, die Länge d , so besteht die Gleichung:

$$p = f(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos n \frac{2\pi}{d} t + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin \frac{2\pi}{d} t.$$

Dabei sind die Koeffizienten

$$\begin{aligned} a_n &= \frac{2}{d} \int_0^d f(t) \cos n \frac{2\pi}{d} t dt \\ b_n &= \frac{2}{d} \int_0^d f(t) \sin n \frac{2\pi}{d} t dt \end{aligned}$$

d. h. die Reihe wird durch eine Summe harmonischer Sinus- und Cosinusfunktionen angenähert.

Es ist anschaulicher, entsprechende Sinus- und Cosinusglieder zusammenzufassen und zu schreiben

$$p = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \sin n \frac{2\pi}{d} (t - \varphi_n),$$

wobei

$$A_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2} \quad \text{tg } \varphi_n = -\frac{a_n}{b_n}.$$

Diese Transformation ist zunächst nur formaler Natur und gilt nur für die an sich willkürlich zu wählende Länge d und ihre rationalen Teile d/n , die als „Perioden“ fungieren. Benutzt man die Arbeitshypothese, daß der Luftdruckverlauf eine Superposition quasipersistenter Perioden (Schwingungen) ist, so braucht man nur noch ein Verfahren, das aus der Fülle der formalen harmonischen Bestandteile willkürlich gewählter „Grundperioden“ d die Bestandteile herausfiltert, die das Kriterium einer Persistenz mindestens eine Zeitlang erfüllen. Dieses Kriterium ist die Amplituden- bzw. Phasenkonstanz der durch Probieren mit verschiedenem d gewonnenen Perioden bei Hinzunahme weiterer Glieder der Zeitreihe. Das Verfahren selbst ist als Periodogramm-Analyse bekannt. Die Arbeiten der Leipziger Schule, die auf L. Weickmanns „Wellen im Luftmeer“ folgten, legten ein solches Verfahren nahe, ohne es bereits zu praktizieren.

Während des zweiten Weltkrieges und kurz danach wurden in Deutschland Luftdruckverteilungen nach diesem Verfahren extrapoliert. Neben großen Erfolgen wie z. B. der rechtzeitigen Vorhersage eines Hochdruckgebietes über Mittel- und Westeuropa vom 11.—13. Mai 1940 stellten sich auch viele völlige Mißerfolge ein. Eine homogene Reihe von Vorhersagen, die rückschauend erkennen ließen, wie weit man in Europa mit der benutzten Arbeitshypothese als alleinigem Verfahren Erfolg hat, liegt leider nicht mehr vor.

In Japan wird diese Arbeitshypothese seit 1944 für eine Reihe von Vorhersagen benutzt und zwar für 10 Tage (2mal wöchentlich dienstags und freitags), 1 Monat (2mal monatlich am 5. und 15.), 3 Monate (am 5. jeden Monats), 6 Monate (2mal jährlich Anfang April und Anfang Oktober). Näheres darüber bei Nakada (60) und Fukuoka (35).

Je nach der Länge des Vorhersagezeitraums werden kurze bzw. lange „Versuchsperioden“ gewählt, so daß sich die Extrapolation auf Schwankungen von säkularem Ausmaß bis herunter zu Perioden von wenigen Tagen stützt. Analyse und Extrapolation erfolgen punktweise für den ostasiatischen Raum. Die Resultate werden zu Karten der Druckverteilung zusammengezeichnet, z. B. bei einer 10-Tage-Vorhersage für den 1., 3., 5., 7., 10. Folgetag. Sie werden bei den längerfristigen Vorhersagen als Abweichungen vom normalen Monatsmittel dargestellt. Außer wenigen Gegenüberstellungen von vorhergesagten und beobachteten Druckverteilungen für ausgewählte Vorhersagen sind Prüfungsergebnisse bisher nicht bekannt geworden.

Statt mit Versuchsperioden zu arbeiten, kann man auch die gesuchten periodischen Bestandteile aus dem gesamten Spektrum durch übergreifende Mittelbildung herausfiltern. Dabei sind bei gegebener Vorhersagezeit nur bestimmte Teile dieses Spektrums wichtig. Ist die Vorhersagezeit T_v , dann liegt diese optimale Periodenlänge T bei etwa $4 T_v$. Wellen mit längeren Perioden bewirken zu langsame Änderungen innerhalb der Vorhersageperiode, so daß sie für die Vorhersage unwesentlich sind. Wellen mit wesentlich kürzeren Perioden bewirken schnellere Änderungen, die im Verhältnis zur Vorhersageperiode als ungeordnet angesehen werden und damit für die Vorhersage ausfallen.

Die übergreifende Mittelbildung erfolgt zweckmäßig mittels graphischer Addition ganzer Druckverteilungen. Die Analyse besteht darin, zwischen den verschiedenen Wellen zu unterscheiden, die auf Karten durch Pfeile mit verschiedener Länge und Richtung entsprechend den einzelnen Wellenbewegungen dargestellt werden. Die Prognose kommt dadurch zustande, daß die Wellenbewegungen weitergeführt und aufs Neue nach dem Superpositionsprinzip überlagert werden. In Anlehnung an die amerikanischen Monatsvorhersagen nach Namias (62) wurde dieses Verfahren von Grytöyer (40) in Norwegen entwickelt.

Tab. 2

Die im europäischen Raum seit November 1946 festgestellten Periodizitäten, die länger als 2 ganze Perioden hindurch anhielten, nach (38)

Nr.	Zeitraum	Länge der Periode in Tagen	Länge der Sequenz in ganzen Perioden	Amplituden- Maximum
1.	6. 11. 46—14. 2. 47	20	5	Skandinavien
2.	26. 4. —31. 5. 47	12	3	Mitteleuropa
3.	23. 12. 47—31. 1. 48	10	4	Westeuropa
4.	7. 4. —24. 5. 48	12	4	Nordmeer
5.	6. 4. — 4. 8. 48	24	5	Nordmeer
6.	1. 1. —30. 4. 49	20	6	Skandinavien Westsibirien nördl. Alaska
7.	6. 1. —17. 5. 49	11	12	Ostatlantik Westeuropa
8.	1. 8. —31. 10. 49	15	5	Ostatlantik bis Osteuropa
9.	1. 10. —23. 11. 49	18	3	Nordmeer
10.	24. 11. —29. 12. 49	12	3	Nordmeer
11.	25. 12. 49—23. 1. 50	10	5	Skandinavien
12.	18. 6. —23. 7. 50	6	6	Nordsee
13.	5. 10. 50— 2. 2. 51	9	13	?
14.	7. 1. — 7. 2. 52	8	4	Mitteleuropa
15.	26. 4. —31. 5. 52	12	3	Nordatlantik Skandinavien
16.	10. 11. 52— 3. 1. 53	18	3	?
17.	23. 4. —25. 6. 53	16	4	?
18.	9. —27. 7. 53	4.5	4	Ostatlantik Nordmeer
19.	24. 10. 53— 7. 1. 54	25	3	Nordsee
20.	17. 11. 53—20. 2. 54	24	4	Skandinavien
21.	30. 6. —31. 8. 55	16	4	Nordmeer
22.	13. 10. —29. 11. 56	12	4	Ostatlantik Finnland
23.	23. 8. 56—21. 1. 57	19	8	Skandinavien
24.	25. 2. — 7. 5. 57	24	3	Island
25.	1. 4. —15. 5. 59	14	3	?

Der Grund, warum die Arbeitshypothese in Deutschland aufgegeben wurde, war die bei jeder Prognose aufgeworfene Frage nach der physikalischen Realität einer oder mehrerer durch die Periodogramm-Analyse oder durch übergreifende Mittelbildung herauspräparierter Perioden. Dadurch wurde nicht nur die Zahl der verwendbaren Perioden auf eine einzige dominante beschränkt, sondern das Problem verschob sich immer mehr auf die Frage nach dem Beginn und dem Ende einer Sequenz von dominant-

periodischen Schwankungen. Folge davon war, daß Perioden nur noch als ein Hilfsmittel neben anderen Verfahren benutzt werden konnten, und auch das nur noch sporadisch.

Tabelle 2 enthält eine Zusammenstellung der seit November 1946 auf diese Weise festgestellten und in (38) veröffentlichten Perioden.

Die Verschiebung der Fragestellung bedingte auch eine Änderung der Analyse-methode. Bei der Luftdruckkurve einer einzigen Station genügte der bloße Augenschein, um eine dominante Periode zu erkennen. Die Fourier-Analyse diente dann nur noch dazu, für die einmal erkannte und in ihrer Länge festgelegte Periode die A_n und φ_n zu berechnen, wobei n gleich der Anzahl der Vollperioden im Zeitraum war. Für das verschobene Problem war es jedoch wesentlich, A_n und φ_n nicht nur in einem Punkt zu kennen, sondern die räumliche Verteilung beider Größen darzustellen. Das hatten zwar schon Weickmann und seine Schüler in mühseliger Arbeit Punkt für Punkt getan ((66), (55), (90) u. a.), aber erst das graphische Verfahren von Egersdörfer (32) lieferte die Möglichkeit, eine solche, tunlichst vollhemisphärische Analyse in erträglicher Zeit durchzuführen.

Abb. 8 zeigt das Beispiel Nr. 20 aus Tabelle 2 und stellt für den Winter 1953/54 die Periode von 20—24 Tagen dar, die in vielen Wintern auftritt und auch häufig untersucht wurde, so durch Pflugbeil (66) u. a., ohne daß es allerdings bisher gelungen wäre, die Frage nach Einsatz und Abbruch zu lösen. Ist sie gut ausgebildet, dann sind wie 1953/54 ihre Maximalphasen über Skandinavien mit Frostwetter in Mitteleuropa, ihre Minimalphasen über Skandinavien mit mildem Wetter in Mitteleuropa gekoppelt. Nachdem sie einmal erkannt war, wurde sie mit Erfolg auf jeweils eine halbe Periodenlänge extrapoliert.

Die synoptische Darstellung der A und φ einer eine Zeitlang persistenten Periode ist zweifellos geeignet, zur Klärung ihrer Struktur beizutragen, insbesondere zeigt sich sofort, ob es sich um eine mit wenig veränderter Amplitude wandernde Welle handelt oder um eine stehende Schwingung, wie es in großartiger Weise bei der Analyse der Jahresperiode zum Ausdruck kommt. Solche Schaukelbewegungen — Schwankungen in der Richtung des meridionalen Austausches — sind charakteristisch für Perioden von mehr als 10 Tagen.

Die kürzeren Perioden von 4—10 Tagen sind meist wandernde Wellen. Aus ihrer Isophasenkarte läßt sich ohne weiteres ihre Wellenlänge ablesen (in km), die mit der Dauer T der Periode durch den Ausdruck

$$v = \frac{\lambda}{T}$$

verbunden ist, wobei v die „Phasengeschwindigkeit“ ist, mit der sich die Welle fortbewegt. Diese Bewegung erscheint auf einer Höhenkarte als Verlagerung der Tröge und Rücken, so daß man diese „long waves in the westerlies“ der amerikanischen Literatur ohne die zeitraubende Perioden-Analyse durch direkte Ausmessung der Wellenlänge λ charakterisieren kann. λ ist dann der Abstand von Trog zu Trog oder der doppelte Abstand von Rücken zu Trog. Um nach der Zeit extrapolieren zu können, muß man noch die Phasengeschwindigkeit v kennen. Rossby (72) konnte dafür, allerdings unter stark vereinfachenden Annahmen, die bereits berühmt gewordene Formel ableiten:

$$v = U - \frac{\beta}{4\pi^2} \lambda^2$$

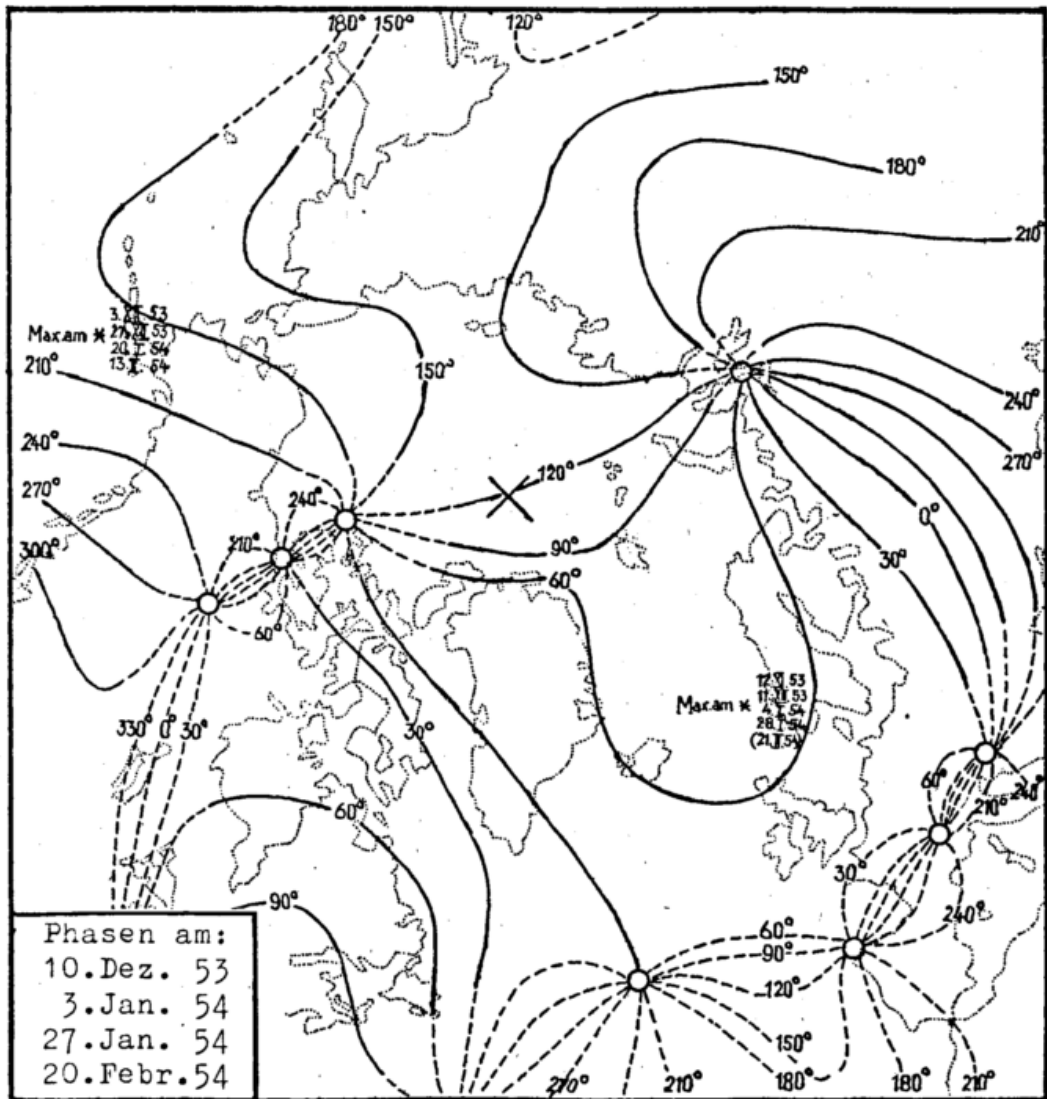


Abb. 8a

4 Perioden von 24 Tagen im Winter 1953/54 auf der Nordhalbkugel. Annäherung des Luftdrucks im Meeresniveau durch vier 24tägige Sinusschwingungen im 96tägigen Zeitraum 17. Nov. 1953—20. Febr. 1954
— Phasen —

Darin ist zusätzlich: U = Zonalgeschwindigkeit der „Westerlies“ und $\beta = \frac{df}{d\varphi} =$ Breitenänderung des Coriolisparameters f . Die Rossbyformel erlaubt (unter der Annahme einer konstanten Amplitude) eine echte Extrapolation des Höhendruckfeldes, solange die mittlere zonale Windkomponente U als quasikonstant angesehen werden darf. Sie enthält auch den Sonderfall der Stationarität $v = 0$. Dann ist $\lambda_s = 2\pi \sqrt{\frac{U}{\beta}}$. In 50° Breite und bei $U = 50$ km/h ist λ_s etwa 6000 km. In diesem Fall, dem Fall der „Blockierung“ kann nicht mehr extrapoliert werden. Gerade diese Fälle sind aber für Europa bis nach Rußland hinein von besonderer prognostischer Bedeutung. So kommt es, daß die Rossbyformel wohl ein wesentliches prognostisches Element im Mittelfristdienst des US Weather Bureau durch Namias (61) geworden ist, auf der östlichen Hemisphäre dagegen nicht. Bei Essenwanger (33) sind weitere Gründe dafür zu finden.

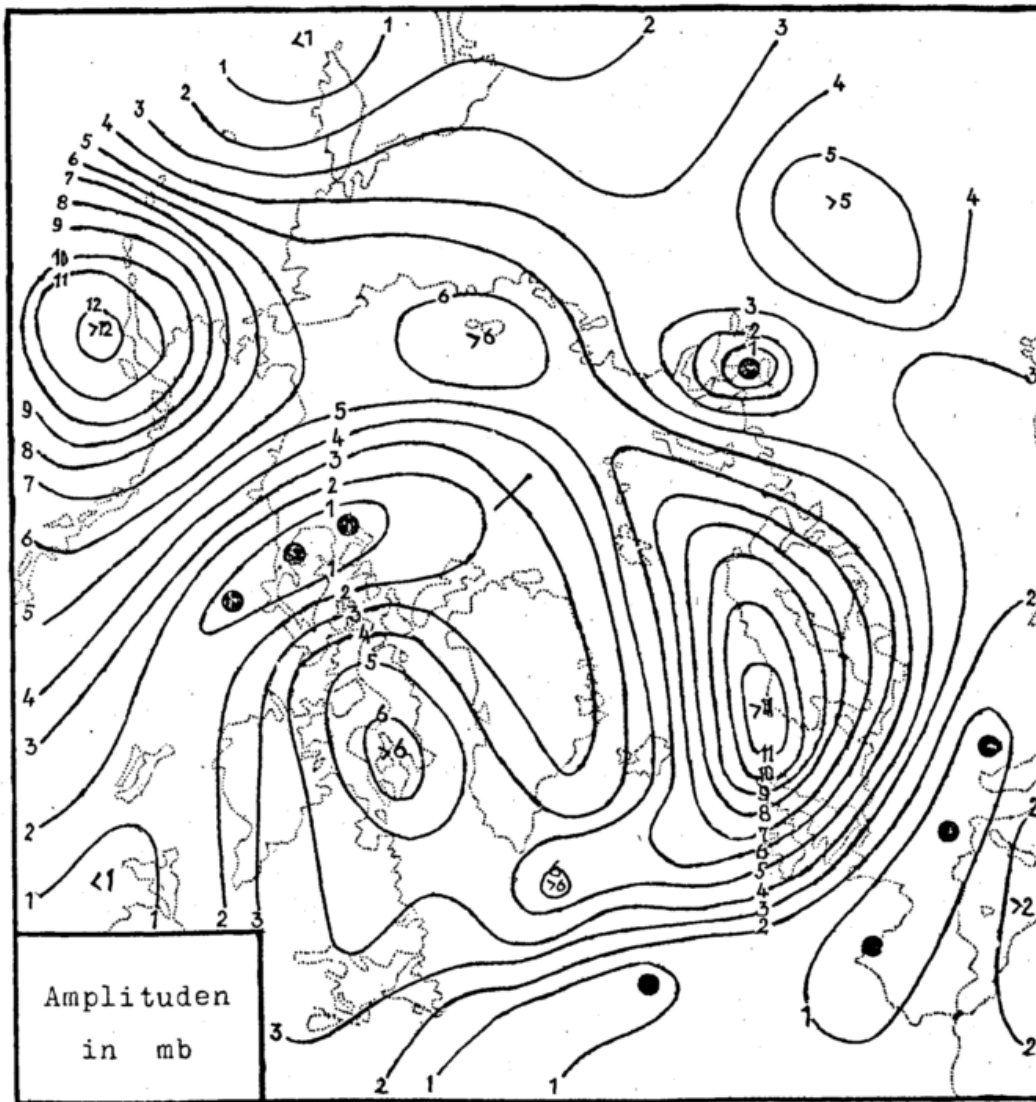


Abb. 8b

Wie Abb. 8a — Amplituden —

Auf der Südhalbkugel sind die Aussichten einer erfolgreichen Anwendung der Rossbyformel zweifellos günstiger, da blockierende Effekte kaum auftreten. Außer einigen orientierenden Arbeiten, über die Radok (68) referierte, ist über eine konsequente Verwendung in einem mittel- oder langfristigen Dienst bisher nichts bekannt geworden.

Für die längeren Perioden, etwa vom Typus der Abb. 8, besteht z. Z. nur die rein formale Extrapolationsmöglichkeit. Auch wenn damit prognostische Erfolge erzielt werden, bleibt die Methode so lange unbefriedigend, als nicht eine plausible Erklärung des Einsetzens und des Abbruchs und eine klare Idee angegeben werden können, wie man sie laufend überwachen kann. Eine Möglichkeit zur zweitgenannten Forderung eröffnet vielleicht eine Erweiterung der bereits im Abschnitt 2.1.1.1 angeführten Defant-schen Untersuchungen über die Umwandlung des „High Index“ in den „Low Index“ und umgekehrt, die, wenn auch nicht periodisch, so doch wenigstens rhythmisch erfolgen müßte.

Die russische Schule verwendet Perioden im erweiterten Sinne. Nach dem zusammenfassenden Referat von Kritschak (53) wurden gewisse Symmetrien im Ablauf der synoptischen Prozesse gefunden, derart, daß „manche Gruppen synoptischer Prozesse, z. B. solche, die an ultrapolaren Achsen auftreten, sich bei gewissen Bedingungen wiederholen.“ Die dabei auftretenden Perioden sollen 3 bzw. 5 Monate betragen. Sie werden „Reper“-Prozesse genannt nach dem russischen Wort für „Fixpunkt“. Bei Kritschak heißt es davon: „Man muß bemerken, daß bis heute die physikalische Natur der rhythmischen Tätigkeit der Atmosphäre noch ganz ungeklärt ist, und darum sind Regeln zur Bestimmung von „Reper“-Prozessen und analogen Prozessen noch nicht deutlich und objektiv genug.“

Die am Anfang dieses Abschnitts erwähnte Arbeitshypothese, daß man den Luftdruckverlauf eines Punktes als Superposition periodischer Bestandteile auffaßt, bedingt, daß in diesem Kurvenzug Symmetriepunkte auftreten müssen. Das Aufsuchen solcher, einfacher, wie doppelter Spiegelungspunkte, geht auf die schon erwähnten Leipziger Arbeiten zurück, ist aber z. Z. von untergeordneter Bedeutung.

2.1.2. Lineare Beziehungsgleichungen und einfache Korrelationen

Die Prognose eines meteorologischen Elementes Y ist möglich, wenn man eine Beziehung kennt von der Form

$$Y = f(X_1 X_2 \dots X_n)$$

wobei sich die X_i auf eine frühere, Y auf eine spätere Zeit beziehen. In der amerikanischen Literatur werden die X_i Prediktoren, Y der Prediktand genannt, eine sehr glückliche Namensgebung. Die Form der Funktion kann auf theoretischem Weg durch Deduktion aus den physikalischen Gesetzen, sie kann aber auch empirisch aus dem bisher aufgelaufenen Beobachtungsmaterial gewonnen werden.

Der einfachste Ansatz ist dabei ein linearer:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots a_n X_n$$

Mittels der Ausgleichsrechnung werden die Koeffizienten a_i , die bei mehr als $n + 1$ Beobachtungen überbestimmt sind, so ermittelt, daß die Summe der Fehlerquadrate ein Minimum wird. Die Funktion ist als lineare Regressions- oder Beziehungsgleichung bekannt, ihre Koeffizienten als Regressionskoeffizienten. Inwieweit der Ansatz eine tatsächliche Beziehung wiedergibt, wird durch den totalen Korrelationskoeffizienten R ausgedrückt. In der Wahl der X und Y herrscht volle Freiheit. Man wählt diejenigen aus, die ein möglichst großes R ergeben.

Die ersten Langfristvorhersagen waren auf dieser Basis ausgearbeitet worden. Es waren Vorhersagen für die Ergiebigkeit der indischen Sommermonsunregen (Beginn 4. Juni 1886 durch Blanford. Die erste auf eine exakte Beziehungsgleichung gegründete Prognose wurde allerdings erst 1909 durch Walker ausgegeben, als die Korrelationsrechnung durch K. Pearson und Mitarbeiter entwickelt worden war. (Siehe bei Savur (74)).

Die Zahl der in Indien, Pakistan und Indonesien verwendeten Beziehungsgleichungen ist sehr groß, da sie, im Aufbau unter sich verwandt, in den Koeffizienten auch die lokalen Eigentümlichkeiten enthalten. Im folgenden werden nur charakteristische Beispiele angeführt:

1) Der Prediktand, die Abweichung des Flächenmittels der Niederschlagsmenge über Nordwestindien im Mittel der Monate Juni bis September (NWR) ist nach Doraiswamy und Satakopan (29) gegeben durch 5 Prediktoren:

$$(NWR) = + 0,30 (SAP) - 0,31 (SRR) - 0,08 (DHT) - 0,06 (EQP) - 0,28 (Snow)$$

Darin bedeutet:

SAP = Luftdruckmittel April + Mai im Durchschnitt der drei südamerikanischen Stationen Buenos Aires, Cordoba, Santiago

SSR = Flächenmittel der Niederschlagsmenge über dem Gesamtgebiet von Süd-Rhodesien Oktober bis April

DHT = Temperatur März—April von Dutch Harbour (Alaska)

EQP = Luftdruckmittel von 4 Stationen (Port Darwin, Batavia, den Seychellen und Sansibar) aus der Äquatorialzone im Mai

Snow = Schneehöhe im West-Himalaja Ende Mai.

Die Vorhersage kann in den ersten Tagen des Juni ausgegeben werden. Dabei wird jedoch nicht der rechnerisch genaue Wert des Prediktanden (NWR) mitgeteilt, sondern die Vorhersage enthält nur die Angabe einer der 3 Möglichkeiten: zu naß — normal — zu trocken. Die Grenzen dieser Anomalien sind so gewählt, daß die klimatologische Klassenhäufigkeit $33\frac{1}{3}\%$ beträgt.

Der totale Korrelationskoeffizient dieser Gleichung ist $R = 0,64$, dahingehend zu interpretieren, daß $R^2 = 41\%$ aller Einflüsse auf den Prediktanden erfaßt sind, wenigstens in dem Zeitraum, aus dessen Beobachtungen die Gleichung abgeleitet wurde.

2) Der Prediktand T betrifft die Dekade des September bzw. Oktober, in welche in Batavia (bei einem gegebenen Kriterium) der Beginn der Regenzeit fällt (nach de Boer (20)). Dieser Beginn schwankt zwischen der 1. Septemberdekade und der 1. Dezemberdekade, er fällt im Mittel in die 3. Oktoberdekade. T wird berechnet in Abweichungen von diesem Mittel in ganzen Dekaden (-5 bis $+4$).

Die Regressionsgleichung lautet für den Fall, daß die Vorhersage bereits am 1. August ausgegeben werden soll:

$$T = 0,95 Kp + 0,11 Hl + 0,18 M - 0,07 Hk$$

Die Prediktoren bedeuten:

Kp = Luftdruckabweichung Kupang auf Timor
(Junimittel minus 0,14 Septembermittel)

Hl = Luftdruckabweichung Honolulu, Dezember

M = Luftdruckabweichung Mauritius, Januar

Hk = Temperaturabweichung Mai.

Dabei beträgt $R = 0,81$. Erfaßt sind $R^2 = 66\%$ der Einflüsse. Wird die Vorhersage erst am 1. September ausgegeben, dann lautet die Regressionsgleichung:

$$T = 0,98 Kp' + 0,24 Hl + 0,26 M' - 0,22 Hk'$$

Die Prediktoren enthalten dieselben Stationen, nur zum Teil andere Zeiten, nämlich

Kp' bezieht sich auf Julimittel minus 0,20 Januarmittel, M' bezieht sich auf März. HK' bezieht sich auf Juli.

Einen Monat später, unmittelbar vor dem frühesten Termin des Beginns der Regenzeit ließ sich ein $R = 0,93$, d. h. 86 % erzielen.

Alle diese Gleichungen sind der Ausdruck weltweiter Beziehungen zwischen den einzelnen Großgliedern der Allgemeinen Zirkulation der Atmosphäre und ihren zeitlichen und räumlichen Schwankungen. Sie berücksichtigen indirekt auch die Glieder der Oberflächenzirkulation der Hydrosphäre. Letzten Endes gehen sie auf die großangelegten Korrelationsuntersuchungen von Walker (88) zurück, auf die in Kapitel 3 näher einzugehen ist.

Außerhalb des südostasiatischen Raums wurden Beziehungsgleichungen dieses Typs häufig aufgestellt, so z. B. für Südrhodesien durch Sellick (78), für die Niederlande durch Visser (86), für Deutschland durch Baur (13), um nur einige wenige zu nennen. Während sie in den Tropen im Routinedienst verwendet werden, ist ihre Benutzung außerhalb der Tropen auf ein zusätzliches Hilfsmittel neben anderen Verfahren beschränkt oder überhaupt bald wieder aufgegeben worden.

Das gilt allerdings nur für den eigentlichen langfristigen Bereich, nämlich für Monats- und Jahreszeitvorhersagen.

Methodisch ähnlich sind die 1948 begonnenen, seit 1955 verstärkten Bemühungen in den USA, Prognosengleichungen für den mittelfristigen Bereich zu entwickeln. Wegen des sehr viel reichhaltigeren Materials nehmen die einfachen linearen Gleichungen des in Abschn. 2.1.2 genannten Typs einen sehr großen Umfang an. In der ursprünglichen Form wird der Luftdruck eines Punktes drei Tage nach dem Vorhersagetag in Beziehung gesetzt zum Luftdruck in diesem Punkt und in den Nachbarpunkten am Vorhersagetag. Auf diese Weise entsteht ein System von linearen Beziehungsgleichungen zur Berechnung eines Luftdruckfeldes. So z. B. bei White (91). Da die Prediktoren mehr oder weniger miteinander korreliert sind, mußten Methoden entwickelt werden, die „überflüssigen“ Bestandteile zu eliminieren. Nach dem letzten zusammenfassenden Bericht von Lorenz (56) ist das „plateau of predictability“ mit dieser Methode erreicht. Weitere Fortschritte sind nur durch Aufgabe des linearen Ansatzes zu erzielen. Das kann auf zwei Arten geschehen. Die erste Art ist ein Ansatz quadratischer oder höherer Art für die Regressionsgleichungen, d. h. ein Ansatz, bei welchem außer der ersten Dimension der Prediktoren auch ihre zweite Dimension, Quadrate und wechselseitige Produkte vorkommen usw.

Die zweite Art, für eigentliche Langfristvorhersagen vielleicht von größerer Bedeutung, läßt die Frage nach der mathematischen Form der Korrelation überhaupt offen. Das bedeutet aber eine grundsätzlich andere statistische Behandlung des verfügbaren Beobachtungsmaterials und führt zur Mehrfachkorrelationstabelle als einer mehrdimensionalen Häufigkeitsverteilung.

2.1.3. Mehrfachkorrelationstabellen II. Art mit festen Klassengrenzen

Während bei der Regressionsgleichung, ob linear oder nichtlinear, die Werte der Prediktoren stetig sind, verlangt die Mehrfachkorrelationstabelle (MKT) diskrete Werte. Das bedingt eine Einteilung der Prediktoren in Klassen, deren Grenzen zweckmäßiger-

weise so gewählt werden, daß die Klassenhäufigkeiten annähernd gleich groß sind (äquifrequente, nicht äquidistante Klassen). Da die meisten Prediktoren etwa einer Gaußschen Verteilung folgen, liegen die Klassengrenzen bei den „inneren Klassen“ näher beieinander als bei den „äußeren Klassen“. So entsteht eine Vielfeldertafel. Die Werte des Prediktanden werden in die entsprechenden Felder eingeschrieben, zweckmäßigerweise wird hinter jedem Wert das Datum der Beobachtung eingetragen. Die Tabelle gibt somit unmittelbar nur die Abhängigkeit des Prediktanden von den Prediktoren wieder. Der Inhalt des in einem aktuellen Falle einschlägigen Feldes wird als Vorhersage postuliert. Je nach der Art dieses Feldinhalts ist eine Angabe über die Zuverlässigkeit möglich. Letzten Endes besteht der Aufbau der ganzen MKT nur in einer, durch die Prediktoren bedingten, sinnvollen Ordnung des Beobachtungsmaterials, wobei in die einzelnen Felder jede Art Prediktand eingesetzt werden kann, sowohl Messungen einzelner Elemente an einzelnen Orten als auch ganze Wetterlagen. Eine solche Ordnung wurde erstmals durch Kaltenbrunner (49) veröffentlicht. Aber erst Baur erkannte und benutzte eine solche Ordnung im Sinne einer Mehrfachkorrelation. Wegen der Bevorzugung einer einzigen Veränderlichen (des Prediktanden) sprach er von einer Mehrfachkorrelationstabelle zweiter Art.

Ist n gleich der Zahl der Prediktoren und m_i gleich der Zahl der Klassen des i -ten Prediktors, dann ist die Gesamtzahl der Felder

$$N = \prod_{i=1}^n m_i.$$

Wie schon bei der linearen Regressionsgleichung besteht die ideale Forderung nach Unabhängigkeit der Prediktoren untereinander. Das bedeutet, daß alle Felder möglichst gleichmäßig besetzt sind. Eine solche Tabelle hat z. B. Baur in (15) angegeben. Sie ist hier als Tabelle 3 in vereinfachter Form reproduziert worden.

Eine weitere Forderung ist die nach einer genügenden Besetzung der Felder. Es sollten in jedem Feld so viele Werte des Prediktanden stehen, daß die Anwendung eines statistischen Zufallstestes sinnvoll ist. Dann ist auch die Berechnung der Streuung σ' der Abweichungen vom Feldmittel (die sogenannte bedingte Streuung, engl.: sample standard deviation) gerechtfertigt, und die Streuungsverminderung gegenüber der (unbedingten) Streuung σ des gesamten Materials des Prediktanden (engl.: population standard deviation) ist ein Maß für die Güte der Korrelation. Man verwendet dazu den Ausdruck

$$\eta^2 = 1 - \frac{\sigma'^2}{\sigma^2}$$

wo σ' das (gewogene) Mittel aller bedingten Streuungen darstellt. η^2 liegt zwischen 0 und 1 und entspricht dem R^2 bei der als linear angenommenen Abhängigkeit im Abschnitt 2.1.2.

Das Verfahren wird fast ausschließlich in Deutschland verwendet. Außer von Baur (15) (13) u. a. sind Tabellen entwickelt worden durch Diehl (26), Hess-Hofmann (43), Maede (57). Es ist universell verwendbar, soweit und solange genügend Material zur Verfügung steht.

Für mittelfristige Zwecke, z. B. für die Vorhersage 3- bis 5tägiger Luftdruckänderungen reichen die Beobachtungen im Meeresniveau (ab 1881) im allgemeinen aus, um 8—9 Prediktoren mit durchschnittlich je 3 Klassen zu verwenden. Das sind 6561 bzw. 19683 Felder.

Tab. 3

Mehrfachkorrelationstabelle für 2 Prediktoren (X_1 und X_2) und 1 Prediktanden Y . (Y = mittlere Temperatur Berlin 1.—15. Febr.) — Die erste Kolonne in jedem Feld ist der Prediktand, die zweite Kolonne die zugehörige Jahreszahl. Nach Baur (15), S. 229

		X_1 = mittlere Schneehöhe am 31. Jan. und 1. Febr. in Frankfurt a. O., Potsdam, Frankfurt a. M., Karlsruhe					
		1		2		3	
		an allen 4 Stationen schneefrei oder höchstens nur an einer Station Schneeflecken		an 1 Station $\geq 0,5$ cm oder an 2 oder 3 Stationen Schneeflecken oder Schneedecke, jedoch höchstens an einer $\geq 0,5$ cm		an allen 4 Stationen $\geq 0,5$ cm oder an 2 oder 3 Stationen $\geq 0,5$ cm, wobei an mindestens 2 Stationen $\geq 5,0$ cm	
X_2 = Abweichung des mittleren Luftdrucks am Morgen in Oslo $1/4 \cdot (29. + 30. + 31. \text{ Jan.} + 1. \text{ Febr.})$ in mb	1	+28,9	-0,6 1911	-2,2 1902	- 8,1 1895		
		bis	+1,9 1916	-3,3 1919	-13,6 1929		
		+16,1	+1,7 1950	-10,8 1940			
	2	+16,0	-2,5 1918	+2,7 1896	- 2,4 1900		
		bis	-1,5 1932	-6,7 1922	- 6,9 1917		
		+ 2,1	+3,2 1939	-1,5 1924	- 2,6 1931		
			+1,9 1951	+1,3 1934	+ 2,0 1937		
	3	+ 2,0	+0,5 1906	+0,8 1893	+ 4,1 1945		
		bis	+2,9 1920	+2,6 1904			
			+2,2 1926	+4,1 1913			
		- 3,0	+1,9 1944	-0,1 1930			
	4	- 3,1	+1,5 1898	+3,9 1899	- 2,9 1897		
		bis	+0,3 1921	+1,8 1905	- 3,8 1907		
			+3,3 1928	+0,8 1910	- 2,7 1909		
			-0,5 1936	-2,2 1912	+ 0,4 1915		
		+4,1 1943	+4,7 1914	- 0,2 1952			
			+0,7 1923				
			+3,7 1933				
5	-16,1	+4,2 1903	+4,9 1894	- 3,1 1901			
	bis	+6,1 1925	+1,5 1908				
		+2,6 1938	-0,2 1927				
		+3,9 1946					
	-38,6	+4,4 1948					

Für langfristige Zwecke dagegen, etwa für eine Wintervorhersage wird man höchstens 200 Werte zur Verfügung haben. Da in einem Feld mindestens 10 Werte stehen sollten, damit bei einer Grundwahrscheinlichkeit von 50 % das Vorzeichen des Prediktanden gesichert ist, kann man nur über höchstens 20 Felder bei Unabhängigkeit der Prediktoren untereinander verfügen. Das bedeutet 4 Prediktoren zu je 2 Klassen (16 Felder) oder 2 Prediktoren zu je 3 und 1 Prediktor zu 2 Klassen (18 Felder).

Die konsequente Anwendung des Verfahrens scheitert bald an Materialmangel. Dieser Nachteil wird bei den nachstehend beschriebenen Methoden mehr oder weniger verdeckt, aber nicht aufgehoben.

2.1.4. Kontingenzmethode

Eine Korrelationstabelle erster Art enthält nicht wie in Abschn. 2.1.3 beschrieben, die Werte des Prediktanden Y in extenso. Seine Werte sind vielmehr wie die Werte der Prediktoren in m äquifrequenten Klassen untergebracht. Die Felder enthalten die Häufigkeit des Zusammentreffens eines Prediktors in der Klasse μ mit dem Prediktanden in der Klasse ν .

Tabelle 4 zeigt ein solches Beispiel für 1 Prediktor.

Tab. 4

Korrelationstabelle erster Art zwischen der Temperatur-Abweichung des März (Y) in Mitteleuropa und der Temperatur-Abweichung des vorangehenden Februar (X_1) in Mitteleuropa (100 Jahre 1851—1950).

Die Klassengrenzen wurden auf den Strich (statt zu beiden Seiten) gesetzt, wenn mehrere Fälle den Grenzwert hatten und zur Erzielung der Gleichhäufigkeit auf die beiden benachbarten Klassen verteilt werden mußten.

X_1	1	2	3	4	
Y	-9,4 -1,2	+0,5	+1,8	+4,3	
-4,5					
1	14,5	4,0	4,2	2,3	25,0
-1,1					
2	7,0	5,5	5,2	7,3	25,0
+0,3					
3	2,1	8,0	7,0	7,9	25,0
+1,9					
4	1,4	7,5	8,6	7,5	25,0
+4,5					
	25,0	25,0	25,0	25,0	100,0

Beide Variable (X_1 und Y) sind in diesem Fall in Quartile geteilt. Da die Gesamtzahl N aller Werte 100 beträgt, bedeuten die Zahlen am Rand und in den Feldern Prozente. Falls die Werte gleichmäßig auf alle Felder verteilt wären, müßte in jedem Feld $f = 6,25\%$ stehen. Jede Abweichung von der Gleichverteilung bedeutet einen

mehr oder minder strammen, nicht unbedingt linearen, Zusammenhang. Wahl und Mitarbeiter (87) benutzen zu seiner Kennzeichnung das Verhältnis

$$Q_{\nu\mu} = \frac{f_{\nu\mu}}{f} \text{ (Kontingenzquotient)}$$

Darin bedeutet $f_{\nu\mu}$ die Häufigkeit im Feld der Klasse μ der Variablen X_1 und der Klasse ν der Variablen Y .

Statt die Tabelle durch Einführung weiterer Prediktoren zu einer Mehrfachkorrelationstabelle erster Art auszubauen, mit denselben durch die Materialgrenze bedingten Schwierigkeiten, gingen Wahl (87) und Müller-Annen (59) einen anderen Weg. Sie fügten mehrere solcher Kontingenztafeln (X_1/Y) , (X_2/Y) (X_n/Y) zwanglos aneinander, je nach den im aktuellen Prognosenfall auftretenden Erfordernissen.

Tabelle 5 zeigt ein aus der Mitteleuropa-Reihe der Temperatur und der Deutschland-Reihe des Niederschlags nach diesem Verfahren behandeltes Beispiel für die Vorhersage der Temperatur-Abweichung des März in Mitteleuropa.

Zur besseren Übersicht wurden die einzelnen Kontingenztafeln linear angeordnet, d. h. die Spalten der Tabelle 4 wurden — um 90° verdreht — in die oberste Zeile geklappt. Durch Vergleich der Tabelle für X_1 in Tabelle 5 mit Tabelle 4 kann man sich leicht von der Art der Änderung überzeugen. Gleichzeitig mit den Feldhäufigkeiten wurden die Kontingenzquotienten $Q_{\nu\mu}$ eingetragen.

Bei der Zusammenfügung der einzelnen Tabellen im aktuellen Prognosenfall werden die Q als Wahrscheinlichkeiten behandelt und der Multiplikationssatz der Wahrscheinlichkeitsrechnung angewandt.

$$Q(X_1, X_2, \dots, X_n) = Q_{x_1} \cdot Q_{x_2} \cdot \dots \cdot Q_{x_n} = \prod_{i=1}^n Q_{x_i}$$

Bei der Prognose werden die Prediktorenklassen bestimmt, in welche die aktuellen Werte fallen und die Q für je die gleiche Prediktandenklasse miteinander multipliziert. Die Klasse mit dem größten Q ist die Prognose.

Beispiel: X_1 = Temp.-Abw. Februar 1960: $-0,7^\circ$ fällt in Klasse 2
 X_2 = Niederschl.-Abw. Februar 1960: -5 l/qm fällt in Klasse 2
 X_3 = Temp.-Abw. Januar 1960: $+2,3^\circ$ fällt in Klasse 3

Die 4 Kontingenzquotienten jedes Prediktors lauten (aus Tabelle 5)

	1	2	3	4
X_1	0,64	0,88	1,28	1,20
X_2	0,40	1,36	1,01	1,23
X_3	1,28	0,80	0,96	0,96
$\prod Q$	0,30	0,96	1,24	1,41

Prognose: Klasse 4 = $+1,9 \dots +4,5$ bei 2 bit Informationswert

Klasse 3 und 4 = $+0,3 \dots +4,5$ bei 1 bit Informationswert.
 (Beobachtet wurde $+1,2^\circ$ im März 1960).

2.1.5. Mehrfachkorrelationstabellen mit variabler Klasseneinteilung. Anpassungsverfahren

Die Mehrfachkorrelation in der im Abschnitt 2.1.3 beschriebenen Form ist vor allem im Hinblick auf die relativ willkürliche Klasseneinteilung relativ starr, so daß ein aktueller Prognosenfall oft in die Nähe der Klassengrenzen fällt. Auch die von vornherein feststehende Auswahl der Prediktoren wird oft den aktuellen Ereignissen nicht gerecht.

Um diese Nachteile zu vermeiden, wurden beide Gesichtspunkte aufgegeben und dafür die Forderung aufgestellt, sowohl die Prediktoren als auch ihre Intervalle dem aktuellen Fall soweit anzupassen, daß aus dem Gesamtmaterial noch ein genügend großes Kollektiv (dem Feld einer MKT vergleichbar) übrig bleibt, auf das man einen Zufallstest anwenden kann. Mit anderen Worten, aus dem Gesamtmaterial wird eine durch einen oder mehrere Prediktoren bedingte physikalisch sinnvolle Stichprobe entnommen. Ein Charakteristikum dieser Stichprobe — Mittelwert, häufigster Wert oder Vorzeichen der Abweichungen des Prediktanden — wird als Prognose für den aktuellen Fall postuliert.

Die Auswahl der Stichprobe erfolgt nach verschiedenen Gesichtspunkten.

2.1.5.1. Auswahl nach wechselnden Charakteristiken

Im Falle einer Prognose wird zunächst festgestellt, was an der aktuellen Lage einschließlich der zu ihr führenden Entwicklung charakteristisch ist. Das Resultat dieser Analyse sind die Art, der Umfang und die Anzahl der Prediktoren. Anschließend werden die einem Teil bzw. allen diesen Vorbedingungen entsprechenden Werte des oder der Prediktanden ausgewählt.

Ein Beispiel aus der Monatsvorhersage des Deutschen Wetterdienstes für März 1961 aus (38):

„Charakteristisch für den Februar 1961 war die weiträumige hohe positive Temperatur-Abweichung und stark übernormale Luftdruck-Abweichung in Mittel- und Südeuropa. Über dem westlichen Mittelmeer betrug die maximale Druckabweichung annähernd 10 mb.

Kennzeichnet man die Luftdruckabweichung des Februar durch die 3 Bedingungen: Edinburgh [1], Uppsala [2] und Mailand [3] je für sich mindestens +1 mb Druckabweichung, so ergeben sich seit 1860 die auf S. 35 angegebenen 15 Jahre.

In 13 Jahren hatte der März in Mitteleuropa eine positive Temperaturabweichung. Die weitere Zusatzbedingung eines übernormal temperierten Februar [4] führt auf 7 Jahre als letzte Auswahl, welche alle einen übernormal temperierten März hatten. Die Vorhersage für März 1961 lautet daher: „Temperatur übernormal.“ (Informationswert 1 bit.) Beobachtet wurden +2,9° Abweichung.

Solche Auswahlrelationen fallen im Routinedienst sehr zahlreich an. Die Literatur darüber ist daher auch sehr umfangreich. Neben der laufenden Veröffentlichung in (38) finden sich gute Beziehungen für den mitteleuropäischen Raum u. a. bei Dinies (28), Trenkle (84), von Rudloff (73), Teich (82) und in systematischer Zusammenstellung bei Baur (16).

	Bedingung			ΔT III	Bedingung	ΔT III
	[1]	[2]	[3]		[4]	
1862	+ 7,0	+ 5,2	+ ?	+2,6	.	.
71	+ 0,6	+ 6,0	+ 5,3	+1,9	.	.
74	+ 1,8	+ 4,3	+ 2,1	+0,8	+0,4	+0,8
87	+11,1	+10,2	+ 9,4	-1,5	.	.
90	+13,2	+13,8	+ 4,1	+2,0	.	.
91	+16,5	+ 9,1	+11,9	+0,1	.	.
96	+11,9	+ 7,9	+ 7,1	+2,3	.	.
1913	+ 7,0	+ 1,1	+19,5	+3,0	+0,9	+3,0
18	+ 1,7	+ 3,4	+ 7,8	+1,2	+1,5	+1,2
21	+12,8	+ 9,6	+ 4,6	+3,2	+1,2	+3,2
27	+ 3,4	+ 5,5	+ 4,5	+3,5	+0,5	+3,5
32	+22,6	+ 9,4	+ 4,1	-2,0	.	.
38	+ 8,8	+ 3,1	+ 5,6	+4,5	+1,3	+4,5
48	+ 7,0	+ 8,7	+ 3,5	+2,6	+0,3	+2,6
59	+16	+10	+14	+3,2	.	.
				$\frac{13}{15} +$		$\frac{7}{7} +$

2.1.5.2. Auswahl nach der Morphologie von Zeitreihen

1948 versuchte Dinies (27), den aktuellen Luftdruckgang einzelner Stationen mit dem durchschnittlichen Luftdruckgang (aus 20 Jahren gemittelt) zu vergleichen, um die in der Mittelkurve, die er Leitkurve nannte, auftretenden Singularitäten im Einzeljahr wiederzufinden. Die Einheit war dabei die Pentade. Zur Erzielung des Gleichlaufs wurden Verschiebungen von 2—3 Pentaden vor- oder rückwärts zugelassen. Später wurde der Gedanke einer Identifizierung der Singularitäten im Einzeljahr verlassen zugunsten einer allgemeinen Übereinstimmung der Vorgeschichte des Luftdruckgangs. Die Methode wurde wegen der zeitlichen Verschiebung Synchronisierungsverfahren genannt.

Grappe (36) und in jüngster Zeit Boomans (21) griffen diesen Gedanken auf und bauten das Verfahren zum Routinedienst aus. Danach werden z. Z. im französischen Wetterdienst, im Wetterdienst der belgischen Luftwaffe, im italienischen und im türkischen Wetterdienst Mittelfrist- und Langfristvorhersagen bis zur Monatslänge regelmäßig abgegeben. Da bei diesem Verfahren der zeitliche Ablauf als Prediktor benutzt wird, lag es nahe, nicht so sehr die durchschnittlichen Anomalien des Prognosezeitraums vorherzusagen, sondern mehr den großzügigen Gang des Luftdrucks und der daraus abgeleiteten meteorologischen Elemente.

Boomans führt den morphologischen Vergleich der historischen Druckkurven mit der aktuellen Kurve sowohl visuell als nach einem festen Programm auf der elektronischen Rechenmaschine durch. Dabei läßt er zeitliche Verschiebungen von ± 15 Tagen zu. Das Verfahren wird getrennt auf etwa 20 Stationen angewandt. Die Ergebnisse jeder Station werden zu Vorhersagekarten der Luftdruckverteilung zusammengefügt. Das wird als zulässig erachtet, denn „die strammen Korrelationen, die — weil sie durch die gleiche vergangene Entwicklung bestimmt sind — einerseits an einer bestimmten

Station zwischen der aktuellen Druckkurve und ihren Analogien existieren, andererseits zwischen den aktuellen Druckkurven verschiedener Stationen untereinander bestehen, machen das synoptische Zusammenfügen von Analogien, die aus verschiedenen Jahren der Vergangenheit entnommen wurden, logisch“.

Eine quantitative Angabe über die Güte der Analogien der Druckkurven bei einzelnen Vorhersagen, an sich leicht möglich, wurde bisher nicht veröffentlicht.

2.1.5.3. Auswahl nach Karten der Verteilung von Zirkulationsanomalien

Das Naheliegendste ist die Auswahl nach möglichst weiträumigen Verteilungen ungemittelter oder geeignet gemittelter Indikatoren von Zirkulationsanomalien. Dabei kommen praktisch nur Luftdruckmittel (aus verschiedenen Höhen) und Temperaturmittel in Betracht. Es ist die Methode der „ähnlichen Fälle“ oder die Analogiemethode. Die zugrunde liegende Arbeitshypothese setzt voraus, daß auf 2 „gleiche“ Ausgangslagen in einem großen, tunlichst hemisphärischen Raum auch die gleiche Folgeentwicklung im Prognosegebiet eintritt. Die Schwierigkeit dieses an sich sehr einleuchtenden Verfahrens liegt in der Toleranz, die man der Forderung „gleich“ bzw. „ähnlich“ zubilligt. Danach richtet sich die Technik des Auswahlverfahrens.

Bagrov (2) verwendete ein einfaches Maß für die Ähnlichkeit zweier Karten, das jeden Punkt der Karten in gleicher Weise berücksichtigt, und definierte

$$F = \sum_{i=1}^N e^{-\frac{3}{4} \frac{\delta^2}{\sigma^2}} \quad \text{als Analogie-Index}$$

für N möglichst gleichmäßig verteilte Punkte unter der Voraussetzung des Vergleichs bei gleichem Kalendertermin und einer Normalverteilung der betrachteten meteorologischen Elemente (z. B. Druck, Temperatur, nicht aber Bewölkung und Niederschlag).

Darin bedeutet

δ = Differenz der beiden Werte eines Elementes im selben Punkt aus Karte 1 minus Karte 2

σ = Streuung der Abweichung dieses Elements von seinem Mittelwert.

Die Konstante wurde so gewählt, daß F bei vollständiger Übereinstimmung gleich 1, bei Blindlingsverfahren gleich 0,5 wird. Der Vergleich beliebiger Karten mit der klimatologischen Mittelkarte ergibt ein $F = 0,632$.

Karten mit $0,5 < F < 1,0$ werden analog, solche mit $0 < F < 0,5$ werden kontraanalog genannt.

In welcher Größenordnung sich die Analogie-Indizes in einem aktuellen Fall bewegen können, zeigt die Tabelle 6, die anlässlich der Prognose für November 1955 mit dem September als letztem bekannten Monat aufgestellt wurde. Dabei wurden die Karten der Verteilung der Abweichungen der Temperaturmonatsmittel für das Gebiet der UdSSR miteinander verglichen.

Die Karten mit dem größten und dem kleinsten Index (in Tabelle 6 angekreuzt) wurden in Abb. 9 dem September 1955 gegenübergestellt, um ein anschauliches Bild zu vermitteln.

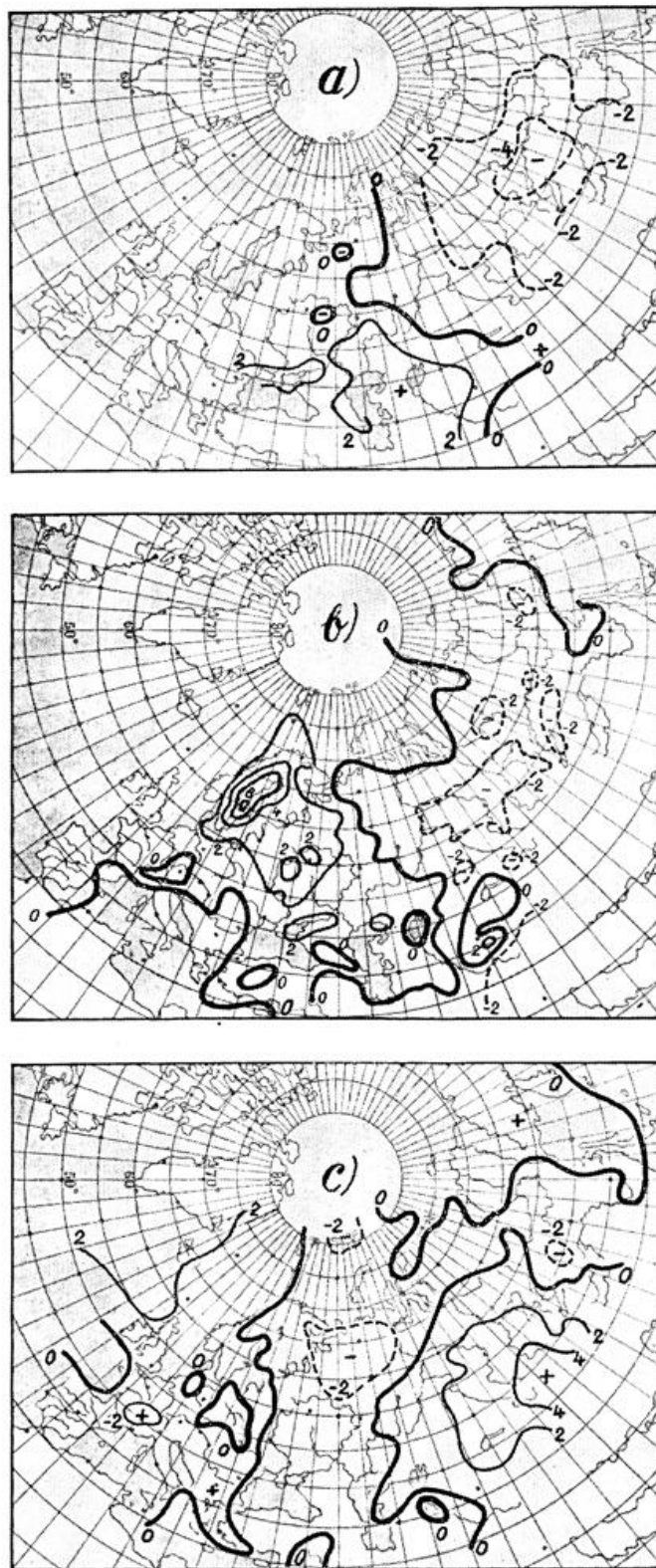


Abb. 9

Temperatur-Abweichungen vom Monatsmittel für einen Bezugsfall und die beiden Vergleichsfälle aus Tab. 6 mit dem größten und kleinsten Analogie-Index F zum Bezugsfall (nach Bagrov): a) September 1946 als Vergleichsfall 1; gute Analogie, $F = 0,68$, b) September 1955 als Bezugsfall, c) September 1953 als Vergleichsfall 2; Kontra-Analogie, $F = 0,37$.

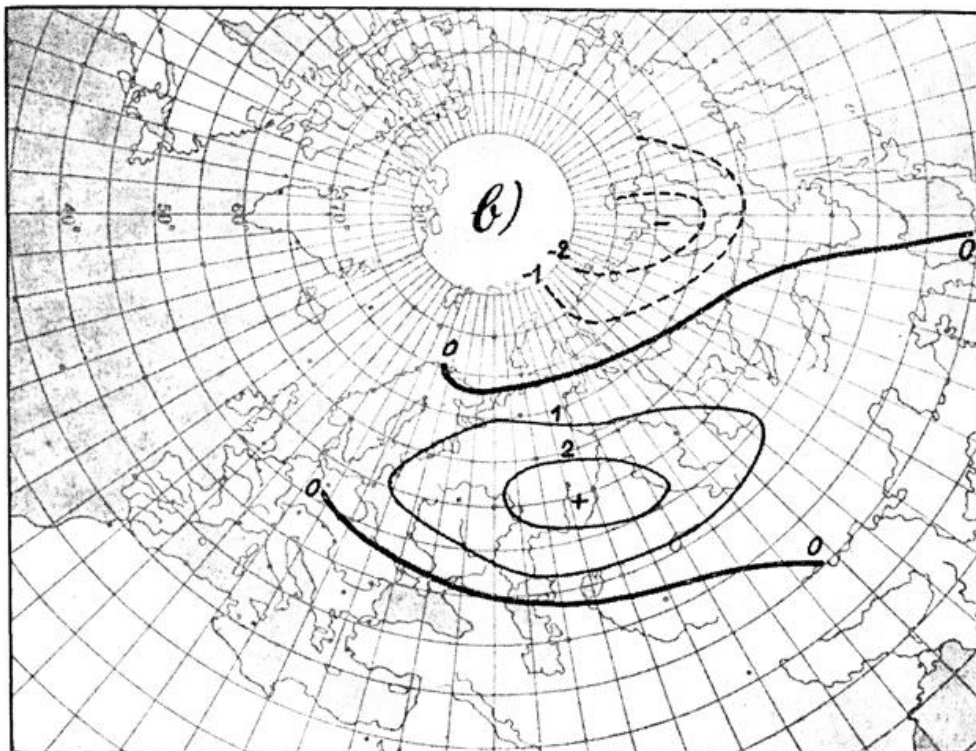
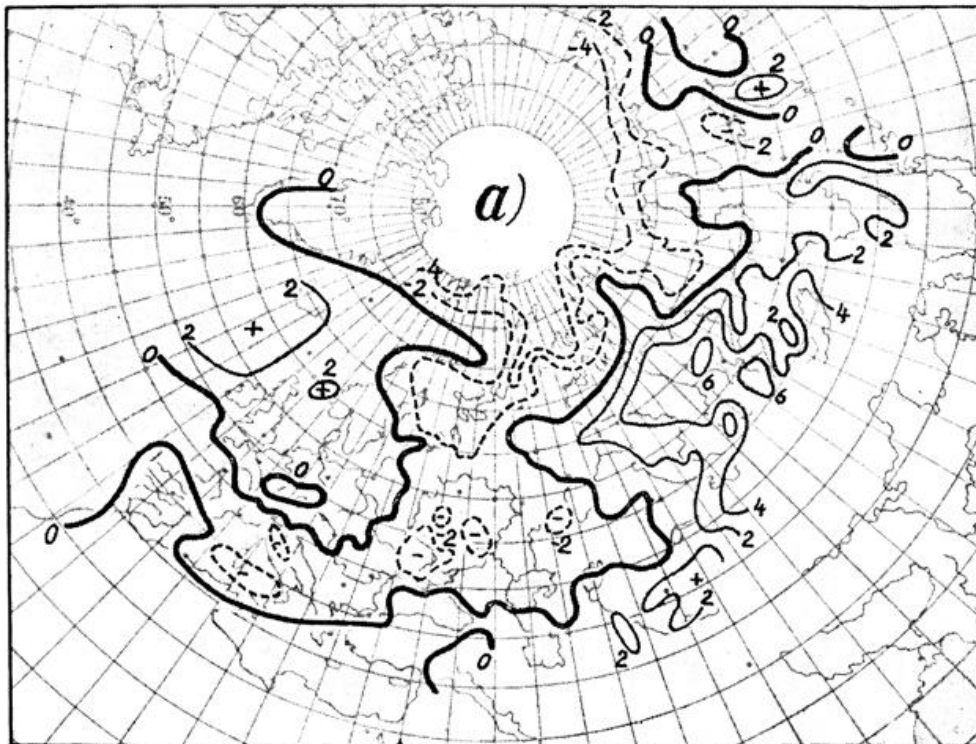


Abb. 10
Temperatur-Verteilung für November 1955 (nach Bagrov):
a) Beobachtung, b) Prognose

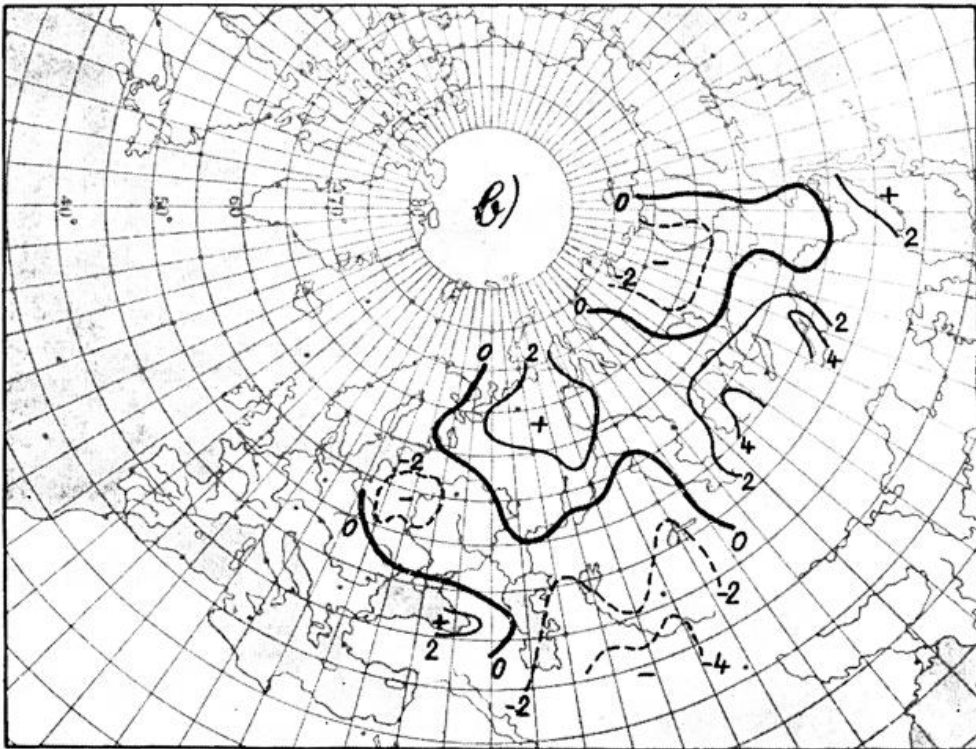
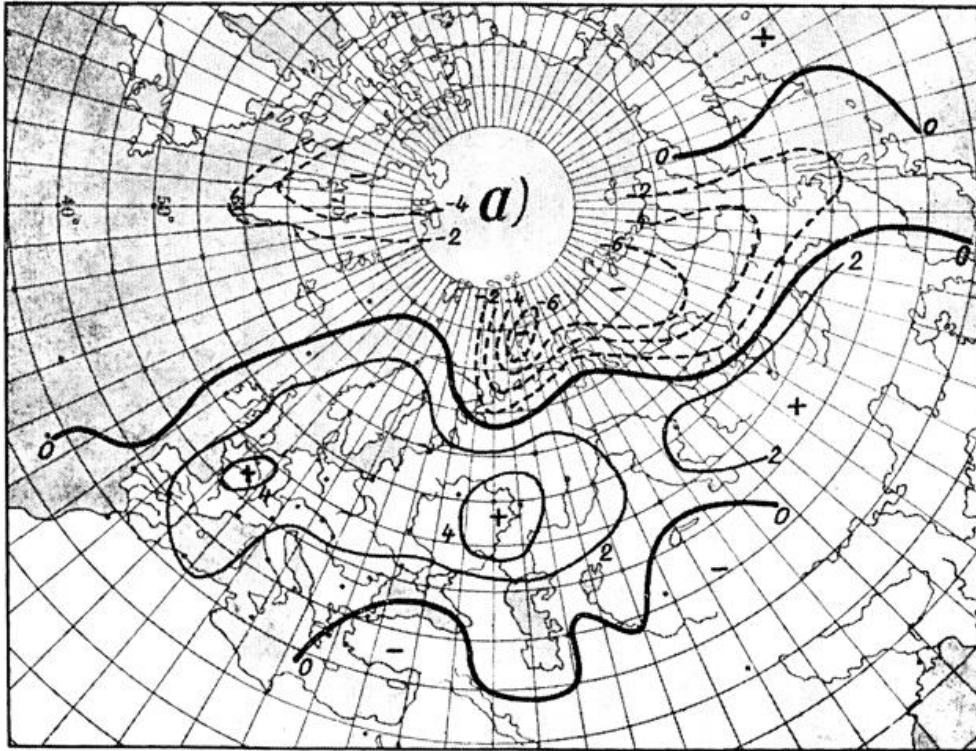


Abb. 11

2 Analogiefälle als Varianten der Temperatur-Prognose für November 1955 (nach Bagrov):

a) November 1913 als 1. Variante der Prognose

b) November 1946 als 2. Variante der Prognose

Tab. 6

Analogie-Index F nach Bagrov zwischen den Temperatur-Anomalien des September der genannten Jahre und der Temperatur-Anomalie des September 1955
($\times$ = Extremwerte)

Jahr	F	Jahr	F	Jahr	F
1954	0,57	1953	0,37 $\times$	1918	0,56
50	0,58	34	0,54	13	0,55
48	0,59	35	0,54	10	0,60
47	0,57	28	0,54	09	0,56
46	0,68 $\times$	24	0,59	05	0,58
42	0,52	20	0,56		

Neben dem September wurden auch die Vormonate bis Juni zurück in die Analogiebetrachtungen einbezogen. Die Temperatur-Anomalien, die in den ähnlichsten Jahren im November beobachtet wurden, ergaben dann die Prognose für November 1955. Da diese Karten aber untereinander nicht gleich, sondern bestenfalls untereinander ähnlich waren, mußten sie typisiert werden. Diese Typen wurden, entsprechend ihrer Häufigkeit erste, zweite ... Variante genannt. Abb. 10 zeigt die gegebene Prognose und die beobachtete Anomalie, Abb. 11 die erste und zweite Variante der voraussichtlichen Anomalie des November 1955.

Die Entscheidung für die erste Variante (Typ 1913) brachten neben anderen Überlegungen auch die Anomalien der ersten beiden Oktoberdekaden. Die Prognosen wurden am 25. Oktober ausgegeben. Die Prüfung der Prognose kann wieder mit dem Analogie-Index erfolgen, der in diesem Falle 0,65 beträgt. Ein Vergleich der Karten zeigt, welche Fehler bei der an sich als gut bezeichneten Prognose in Kauf genommen werden müssen.

In ähnlicher Weise werden durch Craddock (24) im englischen Wetterdienst Versuche zu Monatsprognosen gemacht. Die Auswahl erfolgt dabei sowohl visuell als auch nach einem festen Programm durch eine elektronische Rechenmaschine. Die Schwierigkeit der Homogenisierung von Temperatur-Reihen verschiedener Herkunft überwindet Craddock (23) dadurch, daß er nicht die tatsächlichen Anomalien in die Karten einträgt, sondern die Abweichungen von einem idealen Jahresgang. Als solcher wird die reine Jahresperiode der Temperatur auf Grund einer harmonischen Analyse benutzt.

Im Deutschen Wetterdienst sind Versuche im Gange, das Aussuchen von Anomalien der Luftdruckverteilung, das bisher ausschließlich visuell erfolgte, sowohl für mittelfristige als auch für langfristige Zwecke zu systematisieren und dabei das Selektionsprinzip der Sichtlochkarte zu verwenden.

Die meisten Versuche zur Verwendung von Analogien wurden bei mittelfristigen Vorhersagen gemacht. Ihre Aufzählung geht über die Zielsetzung dieses Berichtes hinaus. Eine gute Zusammenstellung wurde 1954 in (34) gegeben.

2.1.6. Reine Analogien

Bei den im Abschnitt 2.1.5 beschriebenen Auswahlmethoden wurde die Anpassung an die am Vorhersagetermin aktuelle Lage und ihre Vorentwicklung (im weitesten Sinne) nur soweit durchgeführt, daß noch ein genügend großes Kollektiv übrigbleibt, um „Statistik treiben“ zu können. Das war auch noch bei den Analogieverfahren von Bagrov, Craddock und anderen der Fall.

Die radikale Forderung des Analogieprinzips verlangt aber, daß die Anpassung so weitgehend ist, daß nur noch ein einziger Vergleichsfall als wirklich beste Analogie übrigbleibt. Das ist mit dem Prinzip des Analogie-Index (nach 2.1.5.3) kaum zu verwirklichen, beim Vergleich der Morphologie von Zeitreihen (nach 2.1.5.2) schon eher.

Am besten gelingt diese extreme Analyse bei der Anwendung wechselnder Charakteristiken (nach 2.1.5.1). Man braucht nur das Jahr zu bestimmen, das in möglichst allen im aktuellen Fall anwendbaren Auswahlrelationen vorkommt. Bestätigt diese beste Analogie die aus den Auswahlrelationen gezogenen statistischen Schlüsse, dann gibt das der Prognose eine größere Sicherheit. Ist dieses Jahr in allen Relationen gerade das Ausnahmejahr, dann wird man sich dennoch danach richten, aber zusätzlich eine Bemerkung über diese Tatsache in die Prognose übernehmen. Dieses Verfahren wird u. a. im Deutschen Wetterdienst benutzt (38).

2.2. Numerische Verfahren (Quasidynamische Methoden)

Ein dynamisches Modell, vergleichbar den Modellen der kurz- und mittelfristigen Vorhersage, existiert für die Langfristvorhersage z. Z. noch nicht. In diesem Abschnitt sollen aber die Verfahren beschrieben werden, die, wenn auch nur andeutungsweise, auf dieses ausgerichtet sind.

2.2.1. „Mean Circulation Method“ des US Weather Bureau

Die älteste derartige Methode stammt von Namias (61) (62) und wird ohne wesentliche Änderungen noch heute im US Weather Bureau in Washington routinemäßig verwendet. Das Ergebnis sind Vorhersagen für 5 Tage, die — sich überschneidend — zweimal wöchentlich ausgegeben werden, und Vorhersagen für 30 Tage, die in Abständen von 15 Tagen veröffentlicht werden. Die eigentlich prognostischen Elemente in diesen Vorhersagen, die sich auf die ganze Nordhemisphäre erstrecken, sind eine Extrapolation nach der am Vorhersagetag festgestellten Tendenz, die Annahme eines Trends zur Normalisierung und eine Verlagerung der Tröge und Rücken nach der Rossby-formel der „long waves in the westerlies“. Die dabei sehr zahlreichen notwendigen graphischen Mittelbildungen werden mit den Karten der Höhe der 700-mb-Fläche und des Luftdrucks im Meeresniveau bei 12stündigem Abstand vorgenommen.

Für die 30tägige Vorhersage zeigt folgende Übersicht die Zahl und Art der notwendigen Manipulationen (Tab. 7).

Darin bedeutet: h = Höhe der 700-mb-Fläche

p = Luftdruck im Meeresniveau

Die daran angebrachten Indizes bedeuten:

Index 0 = Letzter Termin am Vorhersagetag (0300z)

Index -1 = Termin 12 Stunden früher

Index -60 = Termin 30 Tage früher

- $N_{\frac{1}{2}}$ = Normalkarte für den Monat, der 15 Tage nach dem Vorhersagetag endet
- N_1 = Normalkarte für den Monat, der 30 Tage nach dem Vorhersagetag endet
- N' = Abweichung von $N_{\frac{1}{2}}$ und N_1
- N'' = Abweichung von N_1 und $N_{1\frac{1}{2}}$, wobei $N_{1\frac{1}{2}}$ für den Monat gilt, der 45 Tage nach dem Vorhersagetag endet.

Tab. 7

Liste der Karten, die für eine US-Monats-Vorhersage hergestellt werden

Karte	Kurzbezeichnung	Manipulation
700-mb-Fläche	Letzte Mittelkarte	$\frac{1}{60} \overset{-1}{\Sigma} h$
	Halbmonatsbeziehung	$\frac{1}{60} [6 h_0 + 24 N' + \overset{-1}{\Sigma} h]_{-30}$
	Geglättete Ausgangskarte	$\frac{1}{60} [6 h_0 + 44 N_1 + \overset{-1}{\Sigma} h]_{-10}$
	Kinematische Tendenz	$\frac{1}{60} [5 h_0 + 5 N_{\frac{1}{2}} + \overset{-1}{\Sigma} h - \overset{-51}{\Sigma} h]_{-10 \quad -70}$
	Tendenz im Trend	$\frac{1}{60} [20 N_1 - \overset{-21}{\Sigma} h]_{-40}$
	Projektierte Tendenz	$\frac{1}{60} [20 N'' - \overset{-0}{\Sigma} h]_{-19}$
Meeresniveau	Letzte Mittelkarte	$\frac{1}{60} \overset{-1}{\Sigma} p$
	Halbmonatsbeziehung	$\frac{1}{60} [4 p_{-1} + 26 N' p + \overset{-1}{\Sigma} p]_{-30}$
	Tendenz im Trend	$\frac{1}{60} [20 N_1(p) - \overset{-21}{\Sigma} p]_{-40}$

Die primäre Vorhersage besteht in einer Mittelkarte der 700-mb-Fläche der nächsten 30 Tage, in welcher die vermuteten Bahnen der Zyklonen und Antizyklonen eingezeichnet sind. Sekundär werden daraus Mittelkarten der Temperaturanomalien in 5 Klassen und Mittelkarten der Niederschlagsanomalien in 3 Klassen abgeleitet. Die Vorhersagen werden in (1) regelmäßig veröffentlicht.

Das Verfahren unterscheidet sich im Grundsatz nicht von der bei 5-Tage-Vorhersagen benutzten Methode, auf deren Wiedergabe hier verzichtet werden muß. Es hat den großen Vorteil, daß jeder Schritt durch eventuelle neue und bessere, insbesondere rein numerische Methoden ersetzt werden kann. So werden seit 1958 die mit einem barotropen Modell gewonnenen Vorhersagekarten mit Erfolg eingebaut.

2.2.2. Die russische Methode

Der bisher am weitesten reichende Vorstoß in Richtung auf dynamische Methoden wurde von Blinowa und Mitarbeitern in der UdSSR unternommen. Das Verfahren wurde 1957 durch eine kurze Zusammenfassung in (19) näher bekannt, ist aber ohne Kenntnis der russisch geschriebenen zahlreichen Originalarbeiten nur in ganz groben Umrissen wiederzugeben.

Zunächst wird die Ausgangssituation, das 500-mb-Niveau, durch eine Reihe von Kreisfunktionen in Polarkoordinaten angenähert. Auf jeden der harmonischen Bestandteile wird dann ein linearisiertes barotropes Modell (unter der Annahme einer Erhaltung der vertikalen Komponenten der absoluten vorticity) angewandt. Die resultierende Prognosenformel wurde für Vorhersagezeiträume von 40—70 Tagen benutzt. Unter Verwendung einer modifizierten thermodynamischen Gleichung und Vernachlässigung der Strahlung wird daraus „nach unten“ reduziert, um die Temperaturverteilung am Boden zu erhalten. Prüfungsergebnisse von Prognosen, die mit diesem Verfahren gewonnen wurden, liegen vor (siehe Abschn. 4).

3. Prediktoren

Weitgehend unabhängig von der Vorhersagetechnik ist die Frage nach den Prediktoren. Da bei der Langfristvorhersage die Atmosphäre ein offenes System ist, müssen sie außer in der Atmosphäre selbst auch in der Unterlage und — über die Hochatmosphäre — im Kosmos gesucht werden.

3.1. Atmosphäre

Die ersten systematischen Untersuchungen weltweiter Beziehungen zwischen Monatsmitteln des Luftdrucks wurden im Zusammenhang mit den Monsunvorhersagen in Indien durch Walker (88) veröffentlicht. Sie sind heute als veraltet zu betrachten. Eine Bearbeitung mit neuem Material steht noch aus. Es werden sich zweifellos manche der damals festgestellten Korrelationen als instabil erweisen, wie Cappel (22) gezeigt hat. Nur für ein Teilgebiet, nämlich die bereits von Walker so genannte „Southern Oscillation“, liegen eine umfassende Neubearbeitung und ein Erklärungsversuch durch Berlage (17) in einem größeren Zusammenhang vor. Hier finden sich auch ausführliche Literaturangaben.

In der jüngsten Zeit steigt die Tendenz, statt der ungemittelten oder zeitlich gemittelten Werte einzelner Stationen bzw. Punkte sinnvolle räumliche Zusammenfassungen zu verwenden. Damit werden im einfachsten Fall lokale Unterschiede eliminiert wie z. B. in der vielfach verwendeten Mitteleuropa-Reihe der Monatsmittel der Temperatur, die im früheren Forschungsinstitut für langfristige Witterungsvorhersage in Bad Homburg berechnet und durch Baur (15) veröffentlicht wurde. Sie faßt Berlin, Wien und De Bilt zusammen.

Noch wichtiger erscheint die Mittelung zu dem Zweck, physikalisch sinnvolle einfache Parameter zu schaffen. Hier steht die Berechnung des Zonalindex etwa nach Namias (61) oder von meridionalen Indices im Vordergrund. Eine andere wichtige Zusammenfassung bezieht sich auf den polaren Kaltluftvorrat, gewonnen durch räumliche Mittelbildung des Abstands 500/1000 mb oder durch Planimetrieren einer charakteristischen Isohypse der relativen Topographie 500/1000 mb, wie es Seidel (77) getan hat.

3.2. Lithosphäre und Hydrosphäre

Eine systematische Untersuchung der Einflüsse von der Unterlage her steht bisher noch aus. Die große Zahl der Arbeiten über Korrelationen mit dem wechselnden Eisvorkommen in der Arktis oder mit der Oberflächentemperatur des Meeres im Golfstromgebiet, um nur einige zu nennen, sind mehr oder weniger zusammenhanglos, teilweise müßten sie mit neuem Material wiederholt werden. Dabei würde ein Zusammenhang zwischen der Meerestemperatur an der Wurzelzone einer Meeresströmung und möglichen Folgen für die atmosphärische Zirkulation im weiteren Verlauf der Meeresströmung von großer prognostischer Bedeutung sein wegen der großen zeitlichen Differenzen. Eine derart systematische Untersuchung bildet die schon erwähnte Arbeit von Berlage (17), welche die Wirkung des äquatorialen Gegenstroms auf die „Southern Oscillation“ zum Gegenstand hat.

Zusammenhänge zwischen der ozeanischen Tiefenzirkulation und der Atmosphäre sind ebenfalls bisher nicht systematisch untersucht worden. Solche Untersuchungen müßten sich vor allem auf die Gebiete konzentrieren, in welchen Oberflächenwasser mit Tiefenwasser im Austausch steht.

3.3. Kosmos

3.3.1. Sonne

Einen dominanten, wenn nicht überhaupt den einzigen Einfluß aus dem Kosmos muß man zweifellos der Sonne zuschreiben. Inwieweit Schwankungen ihrer Gesamtstrahlung einen Einfluß auf die Schwankungen der allgemeinen atmosphärischen Zirkulation haben und welchen, ist noch weitgehend ungeklärt. Fast alle Arbeiten, die sich mit Beziehungen zwischen Sonne und Erdatmosphäre befassen, benutzen nur die Züricher Sonnenfleckenzahl als Indikator der Sonnentätigkeit. Dabei lassen sich zwei Gruppen unterscheiden. Die erste Gruppe sucht nach statistisch überzufälligen Zusammenhängen zwischen der Stellung eines Jahres im Sonnenfleckenzklus, der im Durchschnitt etwas mehr als 11 Jahre beträgt, einerseits und Zirkulationsanomalien auf der anderen Seite. Dazu gehören auch Beziehungen zur zeitlichen Änderung der Sonnenfleckenzahl.

Eine Anwendung des solaren Prediktors bei der Aufstellung von Jahreszeitprognosen gibt Baur (16). Daneben werden solare Parameter gelegentlich bei Monatsvorhersagen durch den Deutschen Wetterdienst (38) herangezogen. Das am wenigsten umstrittene Ergebnis dieser Gruppe ist wohl das bevorzugte Auftreten trockener Hochsommer in Mitteleuropa jeweils 2 Jahre vor einem Sonnenfleckenzminimum.

Die zweite Gruppe benutzt als Indikator den „solaren Stoß“, d. h. einen plötzlichen kurzzeitigen isolierten Anstieg der Sonnenfleckenzahl, solare Eruptionen oder — mittelbar — solar bedingte geophysikalische Effekte. Diese Gruppe erhielt einen besonderen Auftrieb durch Shapiro (79). Dieser fand bei Untersuchungen der Persistenz des Bodenluftdrucks über Nordamerika, daß diese bis zum Tage $n + 4$ zunahm, dann bis zu einem markanten Minimum bei $n + 15$ wieder abnahm, wenn man am Tage n eine gesteigerte geomagnetische Aktivität beobachtet hatte. Bei der Nachprüfung dieses Befundes durch Trenkle (85) an der Zonalkomponente des geostrophischen Windes in 500 mb im nordatlantisch-europäischen Raume wurde die Untersuchung für übernormale und unternormale Zonalzirkulation getrennt durchgeführt. Der solare Stoß wurde als sekundäres Maximum im allgemeinen Verlauf der Sonnenfleckenzahl definiert. U. a. wurde der Shapiro-Effekt wiedergefunden. Versuche, diese statistischen

Befunde im konkreten Einzelfall prognostisch auszunutzen, waren, jedenfalls im Deutschen Wetterdienst, wenig erfolgreich.

Eine sehr umfassende Untersuchung von Dudel (30) dämpft die Hoffnungen, die man daran knüpfen könnte, weiter und räumt auch anderen, ähnlich aufgebauten Arbeiten von Wurlitzer, Woodridge, Valnicek und Asakura-Kataguma (nähere Angaben bei (30)) wenig Erfolgsaussichten ein.

Entscheidende Fortschritte in der Klärung der Frage der solar-atmosphärischen Beziehungen sind auf empirischem Wege wohl erst durch ein umfassendes Satellitenprogramm zu erzielen, wenn gleichzeitig der Durchgriff eines solaren Ereignisses über die Hochatmosphäre zur Troposphäre auf theoretischer Basis untersucht wird. Sicher scheint nur, daß die Beeinflussung nicht im Bereich der Lichtwellenlängen gesucht werden muß, sondern im UV- und im Röntgenbereich oder auf dem Gebiet der Partikelstrahlung.

3.3.2. Mond

In diesem Bereich, und zwar als Reflexionseffekt, wird auch auf eine Abhängigkeit von den Mondphasen geschlossen. Obwohl alle Versuche, die 29,5-tägige lunare Periode als Periodizität in einzelnen meteorologischen Elementen aufzufinden, nicht überzeugend waren, glaubt Berkes (18), einen derartigen Zusammenhang gefunden zu haben. Danach beträgt z. B. die mittlere Luftdruckänderung vom Neumond zum Vollmond im Juni 1929—1938 über Westeuropa +5 mb. Sie wird als Vorstoß des Azorenhochs bei Vollmond gedeutet. Solche Arbeiten wie die eben zitierte begegnen leider einer merkwürdigen Interesselosigkeit. Sie werden nicht an größerem Material nachgeprüft und damit weder bestätigt, noch eindeutig widerlegt.

3.3.3. Planeten

Anders ist es mit dem hypothetischen Planeteneinfluß. Einer diesbezüglichen Arbeit von Baur (12), der die Hypothese eines Zusammenhangs zwischen Konstellationen von Venus, Mars und Jupiter und der Temperatur von Potsdam statistisch überprüfte und zu einem negativen Ergebnis kam, konnte nicht widersprochen werden.

3.4. Geophysikalische Einflüsse

3.4.1. Vulkanausbrüche

Locker-Ausbrüche von Vulkanen verursachen eine weltweite Trübung der Atmosphäre. Dabei kann nach Humphreys die Einstrahlung wesentlich stärker vermindert werden als die Ausstrahlung, so daß eine globale Abkühlung die Folge ist. Statistische Untersuchungen, über die Baur (11) berichtet, leiden an der kleinen Zahl der bisher beobachteten Fälle. Umfassende theoretische Untersuchungen über die Wirkung auf die allgemeine atmosphärische Zirkulation existieren noch kaum.

3.4.2. Polschwankung

Da die Rotationsachse der Erde nicht mit ihrer Hauptträgheitsachse zusammenfällt, vollführen die Rotationspole der Erde kleine Schwankungen um eine „Normal-Lage“. Die Analyse der Beobachtungen des internationalen Breitendienstes ergab (außer einer Periode von 365 Tagen) eine darauf zurückzuführende Schwankung von 434 Tagen, die als Chandlerperiode bekannt wurde. Ihre Auswirkungen auf die Atmosphäre wurde besonders durch Spitaler, z. B. in (80), untersucht. Systematische Forschungen mit neuem Material fehlen bisher.

4. Prüfungsmethoden und Ergebnisse

4.1. Vorbemerkungen

Das Gebiet der exakten Vorhersageprüfung ist noch nicht so bearbeitet, daß allgemein anerkannte Richtlinien vorhanden wären. Insbesondere gilt das für komplexe Aussagen. Bei Beschränkung auf einfache Aussagen — Druck — Temperatur — Niederschlag — je für sich gesondert, bieten sich zwei Maßzahlen an: 1. Der Korrelationskoeffizient r zwischen der Reihe der vorhergesagten und der Reihe der beobachteten Werte. 2. Anschaulicher ist der sogenannte Trefferprozentsatz p , d. h. der Anteil der richtig vorhergesagten Werte an der Gesamtzahl aller Vorhersagen. p wird bei der folgenden Gegenüberstellung allein benutzt werden. Dabei ist zu beachten, daß p nur dann der allgemein üblichen Vorstellung entspricht, wenn es auf Alternativ-Aussagen angewandt wird, also Aussagen vom Informationsgehalt von 1 bit. Durch geeignete Wahl der Klassengrenzen muß bei der Vorhersage dafür gesorgt werden, daß die klimatologische Wahrscheinlichkeit gleich der Blindlingswahrscheinlichkeit von 50 % ist.

Ist das nicht der Fall, dann muß nachträglich auf 50 % reduziert werden. Das ist nicht exakt möglich, genügt aber für den hier nur allein möglichen rohen Vergleich sonst durchaus heterogener Vorhersagereihen aus der Literatur.

4.2. Die bisher bekannt gewordenen Prüfungsergebnisse

Die dem Verf. zugänglichen Ergebnisse von Vorhersageprüfungen wurden gewonnen von:

- 1) US Weather Bureau (89): 30-Tage-Vorhersagen der Temperatur- und der Niederschlagsanomalie für die 144 Monate bzw. 30-tägigen Zeiträume (16. des Monats bis 15. des folgenden Monats) Januar 1954 bis Dezember 1959. Die veröffentlichten Zahlen geben an, wieviel Prozent der Kontrollgebiete in den USA mit ihren Anomalien in die vorhergesagte Klasse beim Niederschlag, bzw. in die vorhergesagte Klasse oder eine der Nachbarklassen bei der Temperatur fallen.
- 2) Hofmann (44) (45): Monatsvorhersagen der Temperatur und der Niederschlagsmenge für die Zeit von Februar 1950 bis Dezember 1961. Die Vorhersagen sind Alternativ-Aussagen (oder vor allem in früheren Jahren auf die Alternative reduziert). Die Zahlen geben an, wieviel Prozent der Kontrollstationen im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland mit ihren Anomalien in die vorhergesagte Klasse fallen.
- 3) Bagrov (3): Monatsvorhersagen der Temperatur für die 12 Monate des Jahres 1957 nach dem von Blinowa (19) angegebenen quasi-hydrodynamischen Verfahren in 5 Klassen. Die Zahlen geben an, wieviele der 34 Kontrollpunkte im Europäischen Teil der UdSSR und in West-Sibirien in das vorhergesagte Intervall fielen.
- 4) Grytöyer (40): Monatsvorhersagen der Temperatur und des Niederschlags für die 45 Monate von September 1954 bis Mai 1958. Die Zahlen gelten für Oslo und Bergen.

Die klimatologischen Grundwahrscheinlichkeiten der Temperatur-Prognosen von Nr. 1, 3 und 4 sind im nachfolgenden Schema enthalten. Die Zahlen bedeuten Prozente.

Alle auf der von links oben nach rechts unten laufenden Diagonale liegenden Felder bedeuten absolute Treffer. Es sind in diesem Falle 27,8 % bei einer Blindlingswahrscheinlichkeit von 21,8 %. Das bedeutet einen Überschuß von 6,0 %. Rechnet man

Tab. 8

Die Grundwahrscheinlichkeiten für das Zusammentreffen der Spalte ν mit der Zeile μ bei Vorhersagen in 5 Klassen nach amerikanischem und russischem Vorbild. Zahlen in %.

	Vorhersage							
Beobachtung	1,5	3,125	3,125	3,125	1,5	12,5	much above	++
	3,125	6,25	6,25	6,25	3,125	25	above	+
	3,125	6,25	6,25	6,25	3,135	25	near normal	0
	3,125	6,25	6,25	6,25	3,125	25	below	-
	1,5	3,125	3,125	3,125	1,5	12,5	much below	--
	12,5	25	25	25	12,5	100		
	much above	above	near normal	below	much below			
	++	+	0	-	--			

Die Verteilung der $12 \times 34 = 408$ russischen Vorhersagen sieht demgegenüber so aus (Tabelle 9).

Tab. 9

Die prozentuale Anzahl der Fälle, die im Feld $\nu \mu$ der Spalte ν und der Zeile μ zusammentreffen für die russischen Temperaturvorhersagen 1957 (nach Bagrov).

	Vorhersage						
Beobachtung	0,7	4,0	15,0	3,5	—	23,2	+++
	1,5	6,6	16,0	5,5	0,2	29,8	+
	—	5,5	16,0	5,5	0,5	27,5	0
	—	3,3	6,4	3,5	0,2	13,4	-
	—	0,2	2,7	2,2	1,0	6,1	--
	2,2	19,6	56,1	20,2	1,9	100	
	++	+	0	-	--		

einen Fehler von nur einer Klasse noch als richtig an, was eine Verminderung des Informationswertes bedeutet, dann erhält man einen Treffersatz von 69,1 %, einen Blindlingsatz von 59,2 %, damit einen Überschuß von 9,9 %. Bei linearer Interpolation auf genau 50 % Blindlingswahrscheinlichkeit erhält man einen Überschuß von 7,1 % und einen (1-bit-)Treffersatz von 57 %.

In derselben Weise wurden die übrigen Temperaturvorhersagen behandelt mit Ausnahme der deutschen. Hier sind die Prognosen bereits auf 1 bit abgestellt, und das Tabellenschema reduziert sich auf eine Vierfeldertafel, wie das nachfolgende Beispiel für die Blindlingswahrscheinlichkeit zeigt.

Tab. 10

Vierfeldertafel der Grundwahrscheinlichkeiten für 1-bit-Vorhersagen

Beobachtung	Vorhersage		
	25	25	50
	25	25	50
	50	50	100

Die verfügbaren Niederschlagsvorhersagen sind entweder auf 50 % klimatologische Wahrscheinlichkeit abgestellt wie die deutschen oder aber auf $33\frac{1}{3}$ % wie die USA-Prognosen und die norwegischen. Letztere können wie die Temperatur-Vorhersagen auf 50 % reduziert werden.

Zur Beurteilung der Zahlen sind schließlich noch Angaben über parallel laufende Primitiv-Prognosen erforderlich, basierend auf einer Erhaltungseigung vom Ausgangsmonat zum Vorhersagemonat.

Sie waren nur für die amerikanischen und norwegischen Prognosen aus je genau demselben Zeitraum zu erhalten, bei den deutschen bezogen sie sich auf 1950—1956. Tabelle 11 vereinigt alle bekannt gewordenen Zahlen.

Das Material ist weitgehend inhomogen. Es bezieht sich auf verschieden lange Reihen aus verschiedenen Perioden, auf verschiedene Gebiete, und die geprüften Prognosen sind nicht durchweg voneinander unabhängig. Das gilt vor allem für die russischen Vorhersagen, bei welchen je 34 Punkte aus dem Prognosegebiet zu einer der 12 Vorhersagen des Jahres 1957 gehören, aber bei der Prüfung als selbständige Prognosen behandelt wurden.

Ungeachtet dieser Einschränkungen zeigt sich eine relativ geringe Streuung. Die Treffersätze gruppieren sich recht eng um den Satz von 60 % für beide Elemente, den man als augenblicklichen internationalen Status bezeichnen kann. Das sind 10 % Überschuß über die rein klimatologische Wahrscheinlichkeit, den man wohl als signifikant ansehen kann, wenn auch ein exakter Nachweis in Bezug auf eine der üblichen Grenzen wegen heterogenen Materials nicht möglich ist. Gegenüber Persistenzprognosen ist der Überschuß wohl meist vorhanden, aber zweifellos noch nicht signifikant.

Das bedeutet, daß — international gesehen — bei Monatsvorhersagen eine wissenschaftliche individuelle Prognosenleistung vorhanden ist. Sie reicht aber bei weitem nicht aus, um alle Bedürfnisse zu befriedigen.

Tab. 11

Vergleich der bekannt gewordenen Reihen von Monatsvorhersagen nach Reduktion auf gleiche klimatologische Grundwahrscheinlichkeit von 50 % untereinander und mit Persistenzvorhersagen soweit möglich

			Original-Angaben				Redu- ziert auf 50 %	Persi- stenz- Prognosen 50 %
	Klimatologische Wahrscheinlichkeit →		21,8 %	33,3 %	50,0 %	59,2 %		
1	US Weather Bureau	Temperatur	?	—	—	71,4	62	56
		Niederschlag	—	36,6	—	—	53,3	53
2	Hofmann, Deutschland 1950—1961	Temperatur	—	—	61,5	—	61,5	58
		Niederschlag	—	—	57,3	—	57,3	46
3	Bagrov, UdSSR 1957	Temperatur	27,8	—	—	69,1	57	—
4	Grytöyer, Norwegen Sept. 1954—Mai 1958	Temperatur Niederschlag	—	—	73	—	64	68
					56			
					76			
					78		77	59

5. Internationale Zusammenarbeit

Da das Problem der Langfristvorhersage globaler Natur ist, besteht ein starkes Bedürfnis nach einem internationalen Austausch besonders von der Seite der mittleren und kleineren Staaten mit ihren beschränkten Mitteln und zum großen Teil auch räumlicher Enge. Die erste Zusammenkunft, die eigens für dieses Problem angesetzt war, fand vom 4. bis 8. Oktober 1954 in Budapest statt mit Teilnehmern aus den Zentralen in Budapest, Bukarest, Moskau, Peking, Potsdam, Sofia und Warschau. Das Ergebnis war nicht sehr befriedigend. Zu einer Vereinbarung über eine Zusammenarbeit ist es offenbar nicht gekommen.

Der zweite umfassendere Versuch wurde von der Weltorganisation für Meteorologie durch Bildung einer „Working Group on Long Range Forecasting“ unternommen. Von ihr wurde ein Fragebogen entworfen, der am 5. März 1958 an Mitglieder und Nichtmitglieder versandt wurde. Nach den eingehenden Antworten wird am Langfristproblem in folgenden Staaten mehr oder weniger intensiv gearbeitet: Australien, Österreich, Deutschland (sowohl in der Bundesrepublik als in Potsdam), Frankreich, Ungarn, Indien, Indonesien, Italien, Japan, Niederlande, Belgien, Pakistan, Schweden, Thailand, Türkei, Norwegen, Großbritannien, UdSSR und USA.

Der Wunsch nach Zusammenarbeit bezieht sich beim größten Teil dieser Staaten auf das Nachrichtenproblem. Hier wurden von der genannten Arbeitsgruppe detaillierte Vorschläge zur möglichst schnellen Verbreitung aktueller zeitlicher Mittelwerte gemacht, die über das bereits bestehende System der Verbreitung von Monatsmitteln (climat- und climat-temp-Sendungen) weit hinausgehen.

Der zweite Wunsch, vor allem der kleineren Staaten, eine Arbeitsteilung bei der Ausarbeitung aktueller Langfristvorhersagen zu organisieren, ist sehr viel schwerer zu verwirklichen, solange unter den vielen Methoden sich nicht eine einzige aus inneren sachlichen Gründen überzeugend durchgesetzt hat. Das ist aber beim augenblicklichen Stand des Problems außerordentlich unwahrscheinlich. So wird sich, was die praktische Durchführung eines Langfrist-Routinedienstes anlangt, am augenblicklichen Zustand nur wenig ändern lassen.

Ein beschränkter Austausch von Routinevorhersagen besteht z. Z. zwischen dem britischen Wetterdienst, dem Wetterdienst der belgischen Luftwaffe und dem Deutschen Wetterdienst.

Das US Weather Bureau veröffentlicht seine 30-Tage-Vorhersagen regelmäßig. Das Zentrale Prognosen-Institut in Moskau druckt seine Monatsvorhersagen in einer Auflage von 1600 Exemplaren (1958), die jedoch durchnummeriert und außerhalb der UdSSR nicht erhältlich sind.

Aus dem indischen Monsungebiet ist seit der neuen staatlichen Ordnung keine Weiterentwicklung der Vorhersagemethoden bekannt geworden. Die über lineare Beziehungsgleichungen hinausgehenden statistischen Verfahren der Mehrfachkorrelation und die Kontingenzmethoden versprechen jedoch in diesem Raum eine, wenn auch vielleicht nur geringe Verbesserung.

6. Bilanz, Kritik und Ausblick

Keine der regelmäßig angewandten Methoden ist imstande, über den Leistungsdurchschnitt von 10 % Überschuß über die klimatologische Wahrscheinlichkeit hinauszukommen, auch nicht die quasidynamischen Verfahren. Das könnte darauf zurückzuführen sein, daß für die Genauigkeit unserer Unterlagen die Vorgänge eben nur bis zu diesem „plateau of predictability“ determiniert ablaufen. Der durch Baur geführte statistische Nachweis der grundsätzlichen Möglichkeit langfristiger Vorhersagen ist ja rein qualitativ aufzufassen. In diesem Falle würden auch volldynamische Methoden mit Zirkulationsmodellen keine besseren Ergebnisse liefern.

Wahrscheinlich sind die Gründe anderer Art.

- 1) Bei dem auf die Mehrfachkorrelationstabelle führenden allgemeinsten Ansatz für einen beliebigen Prediktanden

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

war gezeigt worden, daß für eine umfassende statistische Behandlung das Material viel zu knapp ist. Unsere Beobachtungsreihen sind nicht lang genug. Daran ist vorderhand nichts zu ändern.

- 2) Die Möglichkeiten an physikalisch denkbaren Prediktoren sind noch nicht ausgeschöpft, das gilt insbesondere für die weltweiten Beziehungen im Sinne von Walker, für hydrosphärische und hochatmosphärische bzw. solare Prediktoren. Auf diesem Gebiet wird sich die gegenwartsnahe Forschung bewegen müssen, wenn auch vielleicht mehr mit dem Ziel, allgemeine Erkenntnisse zu gewinnen, als den Treffersatz dieser oder jener Serie von Routineprognosen schnell zu erhöhen.

Ein entscheidender Fortschritt ist wohl nur zu erwarten, wenn das Langfristproblem mit theoretischen Mitteln an der Wurzel angefaßt wird: Behandlung der Atmosphäre als ein offenes System, das mit Litho- und Hydrosphäre einerseits, mit dem Welt-raum, vor allem der Sonne, auf der anderen Seite im Austausch, besonders im Energie-austausch steht. Das bedeutet die Verknüpfung der Differentialgleichungen der Strahlungsphysik über die Strahlungsbilanzgleichung mit der Thermodynamik und weiter mit der Hydrodynamik. Es müßte möglich sein, auch hier geeignete Modelle mit entsprechenden Zeitschritten und entsprechenden horizontalen wie vertikalen Gitterpunkt-abständen zu entwickeln, die den derzeitigen technischen Möglichkeiten unserer Rechen- und Speichergeräte angepaßt sind. Die noch fehlenden Rand- und Anfangsbedingungen werden zweifellos auf dem Wege über Satellitenprogramme zu erhalten sein, wenn erst einmal eine Vorstellung darüber besteht, was man braucht und wie man es braucht.

Diese Aufgabe kann nur auf internationaler Ebene in Angriff genommen werden. Außer von der Arbeitsgruppe Smagorinsky in den USA ist bisher nicht bekannt geworden, ob das Problem in dieser Form angegangen wird. Da es aber im wesentlichen auch die Grundlage einer theoretischen Klimatologie bildet, ist anzunehmen, daß es auch in der UdSSR bearbeitet wird, wie z. B. der „Atlas der Wärmebilanz“ von H. J. Budyko (Leningrad 1955) zeigt.

Literatur

- (1) US Weather Bureau: Average Monthly Weather Resume and Outlook. Washington. 2 mal monatlich.
- (2) Bagrov, N. A.: Erfahrungen mit der Verwendung des Analogieprinzips für die Prognose der Monatsmittel der Lufttemperatur (Orig. russ.). Arb. Zentr. Progn.-Inst. Ausg. 1949, Leningrad 1957. S. 231 bis 249.
- (3) Bagrov, N. A.: Hydrodynamische Methoden der langfristigen Wettervorhersage (Orig. russ.). Meteor. i Gidrol. 11 (1958) S. 41—46.
- (4) Bartels, J.: Anschauliches über den statistischen Hintergrund der sogenannten Singularitäten im Jahresgang der Witterung. Ann. Meteor. 1 (1948) S. 106—127.
- (5) Baur, F.: Früher Winter — Zeitiges Frühjahr. Meteor. Z. 40 (1923) S. 249—250.
- (6) Baur, F.: Die Dispersion meteorologischer Häufigkeitsverteilungen. Meteor. Z. 47 (1930) S. 381—389.
- (7) Baur, F.: Die Bedeutung der Stratosphäre für die Großwetterlage. Meteor. Z. 53 (1936) S. 236—247.
- (8) Baur, F.: Über die grundsätzliche Möglichkeit langfristiger Witterungsvorhersagen. Ann. Hydrog. 72 (1944) S. 15—25.
- (9) Baur, F., Hess, P. u. Nagel, H.: Kalender der Großwetterlagen Europas vom 1. Januar 1881 bis 31. Dezember 1943. Forsch.-Inst. f. langfr. Witt.-Vorhers. Bad Homburg 1944.
- (10) Baur, F.: Musterbeispiele Europäischer Großwetterlagen. Wiesbaden 1947.
- (11) Baur, F.: Das Großwetter unter dem Einfluß von Strahlungsschwankungen der Sonne. Naturwiss. Rdsch. 12 (1959) S. 209—213.
- (12) Baur, F.: Ein Beitrag zur Klärung der Frage eines Einflusses der Planeten auf die Witterung. Z. Meteor. 2 (1948) S. 47—55.
- (13) Baur, F.: Einführung in die Großwetterkunde. Wiesbaden 1948.
- (14) Baur, F.: Die Erscheinungen des Großwetters. In: Hann-Süring: Lehrbuch der Meteorologie. 5. Aufl. Bd. 2 Leipzig 1951. S. 903—976.
- (15) Baur, F.: Linkes Meteorologisches Taschenbuch. Neue Ausgabe Bd. 2 Leipzig 1953.
- (16) Baur, F.: Physikalisch-statistische Regeln als Grundlagen für Wetter- und Witterungsvorhersagen. Bd. 1 u. 2. Frankfurt a. M. 1956 u. 1958.
- (17) Berlage, H. P.: Fluctuations of the general atmospheric circulation of more than one year, their nature and prognostic value. Meded. Ned. Meteor. Inst. No. 69 (1957).
- (18) Berkes, Z.: Methoden und Ergebnisse der langfristigen Wettervorhersage in Ungarn. Acta agron. Hung. 5 (1955) Fasc. 1—2, S. 79—98.
- (19) Blinowa, E. N. and Kibel, I. A.: Hydrodynamical methods of the short- and long-range weather forecasting in the USSR. Tellus 9 (1957) S. 447—463.
- (20) Boer, H. J. de: On forecasting the beginning and the end of dry monsoon in Java and Madura. Verh. Batavia No. 32, Soerabaya (1947).
- (21) Boomans, I. F.: Evolution de la recherche sur la prévision à Moyenne et Long-Echéance au sein du Service Météorologique de la Force Aérienne. Evère 1960.
- (22) Cappel, A.: Kritische Betrachtungen einiger Weltkorrelationen. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. A 4 (1951) S. 263—271.
- (23) Craddock, J. M.: The representation of the annual temperature variation over central and northern Europe by a two-term harmonic form. Quart. J. Roy. Meteor. Soc. 82 (1956) S. 275—288.
- (24) Craddock, J. M.: Research in the Meteorological Office concerned with long range forecasting. Meteor. Mag. 87 (1958) S. 239—249.
- (25) Defant, F.: Über den Mechanismus der unperiodischen Schwankungen der allgemeinen Zirkulation der Nordhalbkugel. Arch. Meteor. Geophys. Bioklimat. A 6 (1954) S. 253—279.
- (26) Diehl, H.: Neue Mehrfachkorrelationstabellen zur Verwendung für Witterungsvorhersagen. Meteor. Rdsch. 5 (1952) S. 168—172.
- (27) Dinies, E.: Über die Verwendung langjähriger Luftdruckmittel für die Vorhersage. Wetter u. Klima 2 (1948) S. 21—27.
- (28) Dinies, E.: Beziehungen zwischen der Großwetterlage im November und Dezember und dem nachfolgenden Winter. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 12 (1950) S. 72—75.
- (29) Iyer, V. Doraiswamy and Satakopan, V.: Regression formulae for forecasting the monsoon rainfall in the sub-divisions of Peninsular India. Sci. Notes. India Meteor. Dep. 9 (1946) No. 101, S. 1—14.
- (30) Dudel, H.: Über Schwankungen der zonalen Windkomponente 500 mb nach Anstiegen der solaren Aktivität. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 78 (1961).
- (31) Duletowa, T. A., Pagawa, S. T., Rosdestwenski, A. A., Schirkina, N. A.: Grundlagen der synoptischen Methode der langfristigen Witterungsvorhersage (Orig. russ.). Leningrad 1940.
- (32) Egersdörfer, L.: Versuch einer harmonischen Analyse von Wetterkarten auf zeichnerischem Wege. Ann. Hydrogr. 63 (1935) S. 204—210.
- (33) Essenwanger, O.: Statistische Untersuchungen über die Zirkulation der Westdrift in 55° Breite. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 7 (1953).
- (34) Air Weather Service: A description of some methods of extended period forecasting. Techn. Rep. 105—93 (1954).
- (35) Fukuoka, A.: A study on 10-day forecast (a synthetic report). Geophys. Mag., Tokio, 22 (1951) S. 177—208.
- (36) Grappe, R.: La prévision à moyenne et longue échéance par les singularités de pression utilisées synoptiquement. Mém. Météor. Nat. No. 38 (1953).
- (37) Girs, A. A.: Grundlagen der langfristigen Witterungsvorhersage (Orig. russ.). Leningrad 1960.
- (38) Deutscher Wetterdienst: Die Großwetterlagen Mitteleuropas. Monatlich seit 1948.
- (39) Grünwald, G.: Typisierung mitteleuropäischer Witterungsumschläge. Abh. Meteor. Hydrol. Dienst DDR Nr. 51 (1959).

- (40) Grytöyer, E.: Bericht über die Arbeit mit Monatsvorhersagen in Norwegen. Meteor. Inst. Oslo (Ms. übersetzt v. M. Teich 1961).
- (41) Heimeran, E.: Echter Hundertjähriger Kalender. München 1939.
- (42) Hess, P. und Brezowsky, H.: Katalog der Großwetterlagen Mitteleuropas. Ber. Dt. Wetterd. US-Zone Nr. 33 (1952).
- (43) Hess, P. and Hofmann, A.: Medium range forecasting techniques for Central Europe. Part I. Final Rep. Contr. AF 61 (514)—646—C (1956).
- (44) Hofmann, A.: Stand und Entwicklungsmöglichkeiten von Monatsvorhersagen für Deutschland. Ann. Meteor. 8 (1957) S. 73—79.
- (45) Hofmann, A.: Monatsvorhersagen für Deutschland. Prüfungsergebnisse aus den letzten 3 Jahren. Meteor. Rdsch. 13 (1960) S. 93—94.
- (46) Hofmann, A.: Die Struktur von Druckvorhersagen. Meteor. Rdsch. 13 (1960) S. 182—184.
- (47) Hofmann, A.: Über den Informationsgehalt von Vorhersagen. Meteor. Rdsch. 14 (1961) S. 117—118.
- (48) Hußlein, W.: Gibt es eine barische Vorbereitung mitteleuropäischer Winter? Ann. Meteor. 2 (1949) S. 36—44.
- (49) Kaltenbrunner, S.: Tabellen zur statistischen Wettervorhersage für Nieder-Österreich und angrenzende Landstriche. Wien 1917—1919.
- (50) Kaz, A. L.: Witterungsvorhersage für drei bis sieben Tage (Orig. russ.). Leningrad 1958.
- (51) Kopcewicz, T.: Zirkulationsindexe, Zyklonenentstehung und Zyklonenbahnen in Europa. Acta agron. Hung. 5 (1955) Fasc. 1—2, S. 187—200.
- (52) Krastanoff, L. u. Ganjeff, G.: Über eine Richtung der bulgarischen meteorologischen Forschungen. Acta agron. Hung. 5 (1955) Fasc. 1—2, S. 145—154.
- (53) Kritschak, O. G.: Synoptische Meteorologie (Orig. russ.). Leningrad 1956. Kap. 14, Langfrist. Wetterprognosen.
- (54) Ku Tschen-Tschau: Die Prognose der Sommerniederschläge auf dem Gebiet Chinas für natürliche synoptischen Zeitabschnitte. Acta agron. Hung. 5 (1955) Fasc. 1—2, S. 219—229.
- (55) Lettau, H.: Theoretische Ableitung und physikalischer Nachweis einer 36tägigen Luftdruckwelle. Veröff. Geophys. Inst. Leipzig 2. Ser. 5 (1931) H. 2.
- (56) Lorenz, E. N.: Prospect for statistical weather forecasting. Final Rep. Statist. Forecast. Proj. Contr. AF 19 (604)—1566 (1959).
- (57) Maede, H.: Mittelfristige Vorhersageregeln auf Grund von Beziehungen zwischen Charakteristiken der nordhemisphärischen 500-mb-Fläche. Z. Meteor. 11 (1957) S. 311—321.
- (58) Mitteleuropäischer Witterungsbericht. Forsch.-Stelle für langfr. Witt.-Vorhers. d. Reichswetterd. Bad Homburg 1930—1939.
- (59) Müller-Annen, H.: Versuche von Langfristvorhersagen mit einer Kontingenzmethode. Ann. Meteor. 6 (1954) S. 257—270.
- (60) Nakada, Y.: Long-range forecasting by periodicity extrapolation method (preliminary report). Geophys. Mag., Tokio, 22 (1951) S. 99—108.
- (61) Namias, J.: Extended forecasting by mean circulation methods. US Weather Bureau, Washington D. C. 1951.
- (62) Namias, J.: Thirty-day forecasting. A review of a ten-year experiment. Meteor. Monogr. 2 (1953) No. 6.
- (63) Neis, B.: Die synoptische Methode der Langfristprognose der Schule B. P. Multanowsky. Z. Meteor. 3 (1949) S. 304—309 u. 329—335.
- (64) Pagawa, S. T.: Hohe Deformationsfelder der natürlichen synoptischen Periode (Orig. russ.). Meteor. i Hydrol. 1948, H. 5.
- (65) Péczely, G.: Über den Zusammenhang zwischen dem Aufbau der Antizyklogen und den Änderungen der Sonnentätigkeit. Acta agron. Hung. 5 (1955) Fasc. 1—2, S. 201—218.
- (66) Pflugbeil, W.: Die 20tägige Welle des Winters 1928/29. Diss. Leipzig 1935.
- (67) Craddock, J. M., Flohn, H., Namias, J.: The present status of long-range forecasting in the world. WMO, Techn. Note No. 48, 1962.
- (68) Radok, U.: Long range forecasting research in Australia. Proc. Pan Indian Ocean. Sci. Con. Perth, Phys. Sc. 14 (1954).
- (69) Riehl, H., Yeh, T. C. and La Seur, N. E.: A study of variations of the general circulation. J. Meteor. 7 (1950) S. 181—194.
- (70) Riehl, H. and coll.: Forecasting in middle latitudes. Meteor. Monogr. 1 (1952) No. 5.
- (71) Rodewald, M.: Die barische Vorbereitung strenger und milder mitteleuropäischer Winter. Ann. Meteor. 1 (1948) S. 99—105.
- (72) Rossby, C. G. and coll.: Relation between variations in the intensity of the zonal circulation of the atmosphere and the displacements of the semi-permanent centers of action. J. Mar. Res. 2 (1939) S. 38—56.
- (73) Rudloff, H. von: Statistische Betrachtung einiger Witterungsfolgen. Meteor. Rdsch. 6 (1953) S. 45—48.
- (74) Savur, S. R.: Seasonal forecasting in India. Proc. Nation. Inst. Sci. India 5 (1939) S. 49—60.
- (75) Scherhag, R.: Wetterskizzen Nr. 49. Der Kälteausbruch Mitte Dezember 1938. Ann. Hydrogr. 67 (1939) S. 142—146.
- (76) Schmauß, A.: Das Problem der Wettervorhersage. 3. Aufl. Leipzig 1942, S. 127.
- (77) Seidel, G.: Die Zirkulation über Europa als Folge von Kaltluftbewegungen über der westlichen Hemisphäre. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 34 (1957).
- (78) Sellick, N. P.: Seasonal forecasting. Afric. Reg. Sci. Conf. Johannesburg 2 (1949) S. 46—49.
- (79) Shapiro, R.: Further evidence of a solar weather effect. J. Meteor. 13 (1956) S. 335—340.
- (80) Spitaler, R.: Die Achsenschwankungen der Erde und ihre Folgen. Gerlands Beitr. Geophys. 26 (1930) S. 94—97.
- (81) Teich, M.: Über die Hochdruckgebiete im mitteltroposphärischen Niveau der nördlichen Nordhemisphäre. Acta agron. Hung. 6 (1955) Fasc. 1—2, S. 231—250.
- (82) Teich, M.: Fernbindungen zwischen Temperaturanomalien nach den Pentadenwerten für Potsdam und Wahrscheinlichkeitsvorhersagen über monatliche Temperaturanomalien für Potsdam auf Grund der Erhaltungs- und Wiederholungsneigung vorangegangener Temperaturpentaden-Anomalien. Z. Meteor. 13 (1959) S. 224—237.
- (83) Topor, N.: Die langfristige Wettervorhersage in der Volksrepublik Rumänien. Acta agron. Hung. 5 (1955) Fasc. 1—2, S. 163—186.
- (84) Trenkle, H.: Ein Beitrag zur Vorhersage der Dezembertemperatur. Meteor. Rdsch. 9 (1956) S. 142—147.
- (85) Trenkle, H.: The zonal wind component in the Atlantic-European sector as influenced by short-scale fluctuations in solar activity. Sci. Rep. No. 2, AF 61 (514)—954—C (1957).

- (86) Visser, S. W.: Long-range weather forecasts in the Netherlands. Ned. Meteor. Inst. Meded. en Verh. Nr. 51 (1946).
- (87) Wahl, E. W., White, R. M. and Salmela, H. A.: The construction and application of contingency tables in weather forecasting. Air Force Surv. Geophys. No. 19 (1952).
- (88) Walker, G. T.: Correlation in seasonal variations of weather, VIII—X. Mem. Indian Meteor. Dep. 24 (1923/24) S. 75—131, 275—332, 333—345. — Ders.: World Weather, III—VI. Mem. Roy. Meteor. Soc. 2 (1928) S. 97, 3 (1929) S. 81, 4 (1933) S. 53, 4 (1937) S. 119.
- (89) US Weather Bureau: Verification of the Weather Bureau's 30-day outlook. Techn. Pap. No. 39 (1961).
- (90) Weickmann, L.: Das Wellenproblem der Atmosphäre. Meteor. Z. 44 (1927) S. 241—253.
- (91) White, R. M. and Galligan, A. M.: The comparative accuracy of certain statistical and synoptic forecasting techniques. Bull. Amer. Meteor. Soc. 37 (1956) S. 1—7.