

ZUR FRAGE DER EINTEILUNG DER KLIMAZONEN

Hermann Flohn

Mit 3 Abbildungen

The problem of a classification of climatic zones

Summary: As a supplement to a factual (descriptive) classification of climates, the author considers a genetic classification as significant, both from the physical and didactic view-point. Necessarily a genetic classification must be restricted to the major climatic zones, which in teaching should not be neglected in favour of regional and local climates, as usually occurs in practical work. Its establishment, based either on air masses and fronts (*Alissow*) or on wind and precipitation fields (as suggested by the author), yields broadly corresponding results in comparison. After some remarks about recent maps of genetic climatic zones, the author discusses the significance of the balance of heat, radiation and water for a rational and factual classification on a sound physical basis. Finally, the concept of dynamic-climatic zones is expanded by discussing some regional anomalies of the general circulation as they result from the physical nature of the earth's surface.

In einer methodisch-programmatischen Skizze hat kürzlich *A. Schulze* (41) auf Grund der unter der Führung von *K. Knoch* erarbeiteten „Klassifikation der Klassifikationen“ (26) Wege und Ziele der Klimaeinteilung erörtert. Er kommt hierbei — vom Standpunkt des praktischen Wetterdienstes, der Raumplanung, der Agrarmeteorologie aus mit Recht — zu dem Schluß, daß eine Allround-Einteilung nie allen Anforderungen genügen kann, daß spezielle und kleinräumige Einteilungen erforderlich sind. Die Versuche, eine großräumige Einteilung der Klimazonen auf den Windsystemen aufzubauen, deutet er nur ganz flüchtig an; sie zählen nach seiner Meinung offenbar nicht zu den Wegen, die „die moderne Klimatologie weiter begehen muß“ (41, S. 432). Ähnliche Äußerungen liegen auch von anderer Seite vor. Das ist im gewissen Umfang verständlich: in allen Anwendungsgebieten der Klimatologie — und hierzu gehört auch die Geographie, wenn sie Klimatatsachen der Darstellung chorologischer Zusammenhänge oder landeskundlicher Gliederungen zugrundelegt — wird eine wirkungsbezogene (effektive), je nach Bedarf zu verfeinernde Einteilung benötigt. Aber in Anbetracht der grundlegenden Rolle des Klimas im Rahmen der Erdkunde sollte m. E. der Geograph die Darlegung der Klimatologie in Vorlesungen und Lehrbüchern nicht nur als Mittel zum Zweck betrachten. Sonst besteht immerhin die Gefahr, daß wir zwar eine geographische, biologische, medizinische, technische, landwirtschaftliche, chemische und Radioklimatologie haben, daß aber die ursächliche Erklärung klimatischer Fakten

um Jahrzehnte hinter der Entwicklung der Meteorologie (als Physik der Atmosphäre) zurückbleibt.

So läßt die eingangs erwähnte Stellungnahme zwei Gesichtspunkte unberücksichtigt, die der Hochschullehrer keinesfalls außer acht lassen kann. Das ist einmal der genetisch-kausale Gesichtspunkt: auch die beste effektive Klimaeinteilung ist nichts als eine Beschreibung der Tatsachen, die nichts aussagt über das Zustandekommen dieser Tatsachen auf Grund physikalischer Gesetze und geographischer Gegebenheiten. Auf allen Teilgebieten der physischen Geographie müssen physikalisch-genetische Zusammenhänge erörtert werden: die Geomorphologie befaßt sich mit dem Mechanismus der Solifluktion, die Pflanzengeographie mit der Ausbreitungsgeschwindigkeit der Arten und der Rolle ökologischer Faktoren für die Verbreitung der Biotope, die Gletscherkunde benötigt den Wärme- und Wasserhaushalt der Gletscher, die Meereskunde diskutiert die Rolle des Windschubs und der Dichteunterschiede des Wassers bei der Entstehung der Ozeanströmungen. Eine Beschreibung und Definition effektiver Klimazonen, sei sie noch so zweckmäßig, ist von diesem Gesichtspunkt her unvollständig und für den nachdenklichen Studenten unbefriedigend, wenn sie nicht die physikalischen Ursachenzusammenhänge in Rechnung stellt. Die Klimakette beginnt nicht erst bei der Wechselwirkung im Sinne der Landschaftsökologie (*C. Troll*).

Hieraus ergibt sich der didaktische Gesichtspunkt, der für die höhere Schule nicht weniger gilt als für die Hochschule. Vorlesungen über regionale Klimatologie entgehen nicht immer der Gefahr des Absinkens in eine empirische Beschreibung von Tatsachen, die in ein mehr oder minder künstliches System gepreßt werden. Ein natürliches, auf physikalisch-geographischen Ursachenzusammenhängen beruhendes System ist leichter zu überschauen: es stellt Anforderungen an den Verstand, nicht nur an das Gedächtnis. Hat man erst die Grundgedanken wirklich verstanden — das verlangt nun einmal einige Mühe, namentlich für den geisteswissenschaftlich orientierten Studenten —, dann kann man aus ihnen viele regionale Tatsachen rekonstruieren, ohne das Gedäch-

nis strapazieren zu müssen. Weshalb gehen denn die führenden Lehrbücher der großen Nationen (*Haurwitz-Austin, Trewartha* in den USA, *Rubinstein-Alissow-Drosdow* in Rußland) dazu über, eine dynamisch-genetische Betrachtungsweise in den Vordergrund zu stellen?

Klimatologie wird gelegentlich, aber doch sicher zu eng als statistische Meteorologie aufgefaßt; jedenfalls gehört sie zu den exakten Naturwissenschaften. Sie kann daher die raschen und wirksamen Fortschritte der physikalischen und theoretischen Meteorologie nicht außer acht lassen, wenn sie sich nicht als Hilfswissenschaft auf ein Abstellgleis abschieben lassen will.

Es darf in diesem Zusammenhang daran erinnert werden, daß die Forderung einer ursächlich-synthetischen Klimateilung nicht von meteorologischer Seite erhoben wurde, sondern von *A. Hettner* (24) stammt. Heute wird allerdings die Entwicklung einer synoptischen, dynamischen oder energetischen Klimatologie überwiegend von Meteorologen gefördert, die über die nötigen Spezialkenntnisse verfügen. Ähnliches gilt für andere, ehemalige Zweige der physischen Geographie im Sinne von *Richt Hofens*. Welche Fortschritte verdankt die Klimatologie doch (auch nach *A. v. Humboldt*) dem physikalischen Verständnis von Geographen wie *A. Woeikof* (Wirkung von Schnee und Eis), *A. Penck* (Wasserhaushalt) oder *W. Meinardus* (Monsoon, Antarktis)! Die gelegentlich in Deutschland geübte Unterscheidung zwischen einer geographischen und einer meteorologischen Klimatologie bedeutet daher einen schmerzlichen empfundenen Bruch einer guten Tradition.

A. Dynamische Klimatologie und Klimazonen

Die Entwicklung einer dynamischen Klimatologie beruht in ihren Anfängen weitgehend auf dem programmatischen Referat „Richtlinien einer dynamischen Klimatologie“, das *T. Bergeron* (Oslo, heute Uppsala) auf der Dresdner Tagung der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft im Oktober 1929 erstattete (5), in dem er in seiner anschaulichen und scharf formulierenden Lehrweise die Lehre von den Luftmassen und Fronten — die sich in diesen Jahren in der synoptischen Meteorologie allgemein durchzusetzen begann — in die Klimatologie einführte. Wichtig und neuartig waren dabei seine Abb. 5, die auf Grund eines Schemas der Luftdruckverteilung am Boden die wichtigsten Frontensysteme herausarbeitete, sowie vor allem die beiden Abb. 6, in denen er *Köppens* wohlbekannte Windkarten für den Pazifik nach Luftmassen und Fronten analysierte. Die erste Phase der dynamischen Klimatologie beruhte daher in Skandinavien, Deutschland, Rußland und

den USA gleichermaßen auf der norwegischen Konzeption der Luftmassen und Fronten (bzw. Frontalzonen): hier sind zu nennen verschiedene Karten der mittleren Lage der Hauptfrontalzonen (*V. Bjerknes* und Mitarbeiter 1933 (6), *Sv. Petterssen* (37), *S. P. Chromow* 1940, revidiert 1950 (8), *H. Flohn* (16), ferner die Lehrbücher der Klimatologie von *B. Haurwitz* und *J. M. Austin* (22) sowie *B. P. Alissow* (3) (4), sowie die Luftkörper-Klimatologie der Schule *F. Linkes* (12); Verf. gab 1936 (14) und 1954 (17) einen Überblick über diese Entwicklungsrichtung. In ähnlicher Richtung liefen auch die französischen Arbeiten zur Klimatologie der Wettertypen, die sich jedoch meist auf die Beschreibung typischer Wetterlagen mit den zugehörigen Klimadaten beschränken und auf statistische Behandlung verzichten.

Während des letzten Weltkrieges verlor der Begriff Luftmasse seine zentrale Bedeutung in der synoptischen Meteorologie, und zwar auf Grund von zwei Erkenntnissen. Einmal beobachteten die Praktiker des Wetterdienstes in dem dichten Netz hochreichender aerologischer Aufstiege, daß der individuelle Temperatur-Feuchtezustand der Luft und ihre vertikale Stabilität längs einer Luftbahn (Trajektorie) raschen Änderungen unterworfen waren. Dynamisch bedingte Vertikalbewegungen sowie nichtadiabatische Einwirkungen (Heizung und Kühlung vom Untergrund her oder an einer Wolkenoberfläche) erzeugen rasche Änderungen der Temperatur (bis zu $10^{\circ}/24^h$) und Feuchte, so daß von konservativen Eigenschaften der Luftmassen nicht mehr die Rede sein konnte. Mindestens ebenso wichtig war die zweite Erkenntnis, daß bei der starken vertikalen Zunahme und Drehung (Scherung) des Windes eine vertikale Luftsäule binnen weniger Stunden bis zur Unkenntlichkeit verzerrt wird. Als Beleg hierfür wollen wir lediglich die Windverteilung über Berlin heranziehen: im Jahresmittel 1948–55 beträgt die Windgeschwindigkeit (unabhängig von der Richtung) am Boden 3,9, in 500 m Höhe 8,5, in 3 km 11,5, in 5 km 14,7 und in 9 km Höhe 20,4 m/sec. Selbst bei gleicher Windrichtung verlagern sich also im Durchschnitt (!) die Partikel einer vertikalen Luftsäule nach drei Stunden in 500 m Höhe um 92 km, in 9 km Höhe aber bereits um 220 km; nach 24 Stunden betragen die Entfernungen 735 bzw. 1760 km, d. h. die Säule wird um 1000 km auseinandergezerrt. Im Einzelfall liegen die Dinge vielfach noch schlimmer, da die vertikale Scherung in den Subtropen, an den Ostküsten der Kontinente und in den großen Strahlströmungen noch viel extremere Werte annimmt und die Richtungsunterschiede dazu kommen. Die Luftmasse ist also weder kinematisch noch thermisch-energetisch stabil; die einst vielfach verbreitete, vom Boden aus

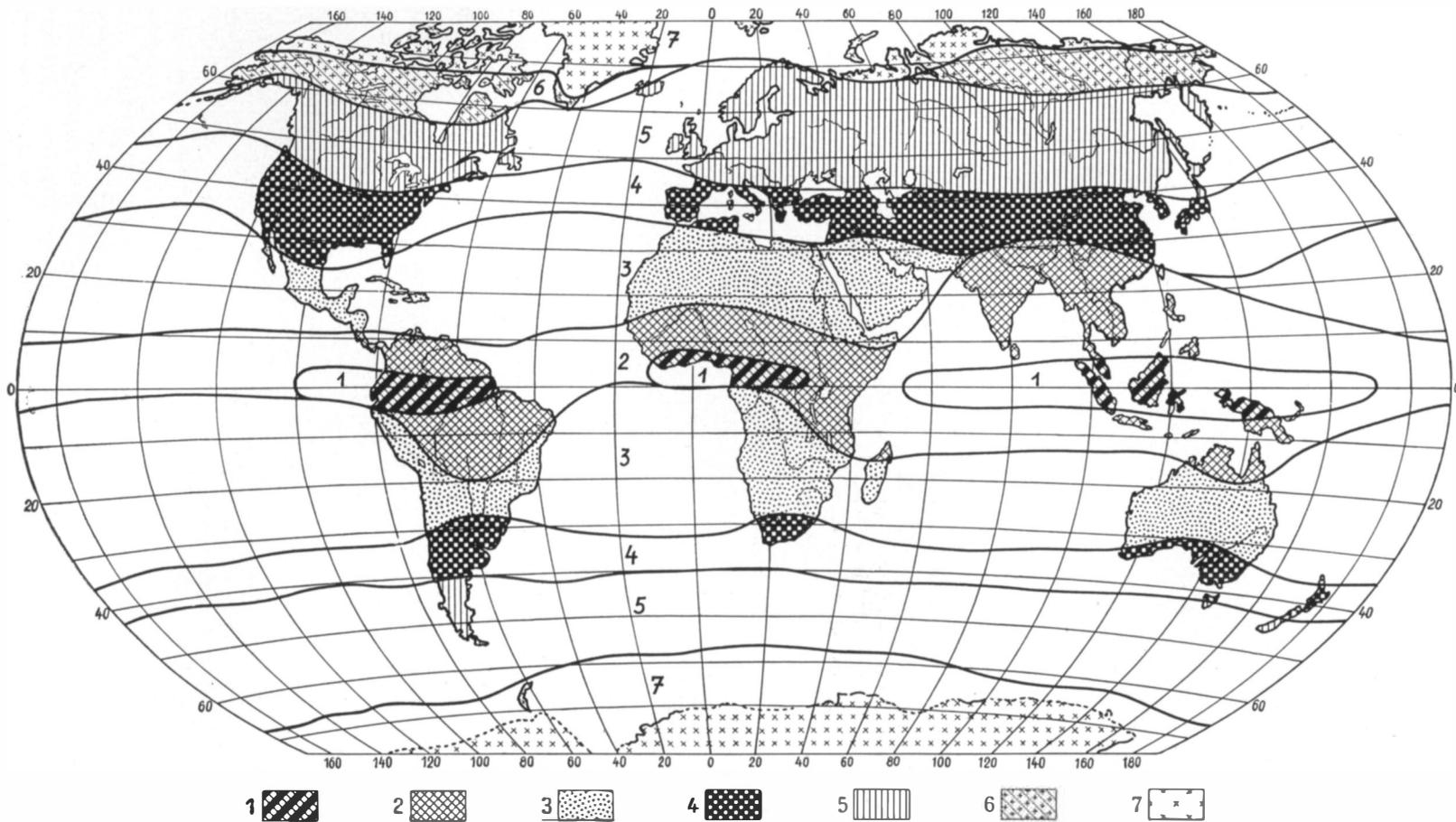


Abb. 1: Klimagürtel nach B. P. Alissow

1. Zone der äquatorialen Luftmassen; 2. Zone der äquatorialen Monsune (subäquatoriale Z.); 3. Zone der tropischen Luftmassen; 4. Subtropenzone; 5. Zone der Luftmassen der gemäßigten Breiten; 6. Subarktische Zone; 7. Arktische Zone.

konzipierte Modellvorstellung von quasi einheitlichen, horizontal verschobenen „Luftkörpern“ mit konservativen Eigenschaften ist eine unrealistische Abstraktion und daher nicht länger haltbar. So bedeutet dieser Begriff heute kaum mehr als eine populäre Veranschaulichung; jede Konstruktion von Trajektorien in der freien Atmosphäre zeigt seine engen Grenzen.

In den Folgerungen noch wichtiger war die Erkenntnis, daß in der meteorologischen Dynamik eine Größe existiert, die tatsächlich in erster Näherung als konservativ betrachtet werden kann, entsprechend der potentiellen Temperatur in der Thermodynamik; das war (für eine barotrope Modell-Atmosphäre) *Rossbys absolute Wirbelgröße* (39) bzw. in der (realen) baroklinen Atmosphäre *Ertels* potentielle Wirbelinvariante (13). Mit *Rossbys* Wirbelsatz beginnt die Entwicklung der modernen dynamischen Meteorologie — der numerischen Wettervorhersage mit elektronischen Rechenanlagen —, die aber auch für die Klimatologie neuartige Fragestellungen von sehr allgemeiner Bedeutung mit sich bringt. Diese Richtung, deren Vertreter wieder u. a. in den USA, England, Skandinavien, Rußland, Japan und Deutschland tätig sind, stellt mit der Dynamik der Atmosphäre das dreidimensionale Windfeld in den Vordergrund des Denkens, ähnlich wie in der Ozeanographie das Stromfeld eine zentrale Stellung einnimmt. Man muß daher von der synoptischen Klimatologie der Luftmassen, Fronten und Wettertypen eine im eigentlichen Sinne dynamische Klimatologie (21) unterscheiden, deren Arbeitsmethoden schon 1932 programmatisch von *Th. Hesselberg* — Oslo (23) skizziert wurden. Zu ihren Problemen gehören die Berechnung der mittleren Vertikalbewegung, des Austausches von Masse, Energie und Impuls, die Transporte von Lufteigenschaften mit dem Wind und letzten Endes die allgemeine Zirkulation. Eine Stellungnahme zu den hier angeschnittenen, heute in den Vordergrund des Interesses der Meteorologen gerückten Fragen überschreitet jedoch den Rahmen dieses Beitrages.

Eine genetische Klassifikation der großen Klimazonen — nur diese steht hier zur Debatte — kann ausgehen von der mittleren Häufigkeit der Luftmassen und Fronten, sie kann aber auch ausgehen vom dreidimensionalen Windfeld. Beide Wege sind beschritten worden: der erste von *B. P. Alissow* (3), dessen erster Vorschlag schon 1936 veröffentlicht wurde, der zweite unabhängig davon vom Verf., veröffentlicht 1950 (15). In ihrem auf der synoptischen Konzeption aufbauenden Lehrbuch (22) bezweifelten *Haurwitz* und *Austin* noch den Wert einer genetischen Einteilung (S. 109). In-

zwischen hat *Trewartha* (45) es unternommen, die effektive Einteilung von *Köppen* mit der „semi-genetischen“ Klassifikation des Verf. (15) zu kombinieren (S. 234), z. T. unter Verwendung der Bezeichnungen von *Thorntwaite* (43) und mit wohlüberlegten Modifikationen (Ausschaltung des Cw-Klimas, Januar-Isotherme von 0°C als Grenze zwischen C und D). Auch *Alissow* vergleicht seine Klimagürtel mit *Köppens* Klimatypen (3, Tabelle S. 27), während bei *Kostin* und *Pokrowskaja* (27) eine Parallele zu der gleichfalls vegetationsgeographisch formulierten Klassifikation von *L. S. Berg* gezogen wird.

Neben einer solchen, nur cum grano salis gerechtfertigten Parallelisierung erscheint es interessant, die Einteilungen von *Alissow* (A) und *Flohn* (F) vergleichend nebeneinander zu stellen, auf der Basis der erstgenannten und unter Verwendung der von *Chromow* (6) sowie in (4), S. 122 wiedergegebenen, gegenüber (3) S. 25 nur unwesentlich abgeänderten Karten (Abb. 1). *Alissow* unterscheidet:

1. Zone der äquatorialen Luft, immer feucht, kein Unterschied zwischen maritimer und kontinentaler Luft, Jahresgang der Temperatur gering, große Häufigkeit meist konvektiver Niederschläge, beschränkt sich auf drei isolierte Inseln beiderseits des Äquators: Südamerika (50—100° W), Westafrika (10° W—30° E) und Indik-Pazifik (55°—175° E). Entspricht bei F der „inneren Tropenzone“ mit dem ganzjährigen Auftreten äquatorialer Westwinde, deren Ausdehnung (besonders in Südamerika) bisher noch nicht vollständig bekannt ist.

2. Zone der äquatorialen Monsune (subäquatoriale Zone), in die im Sommer äquatoriale Luft einströmt, im Winter dagegen Tropikluft mit passatischen Winden, Sommerregen, vielfach frontaler Natur; Gegensätze zwischen kontinentalen und maritimen Klimatypen sowie solchen der West- und Ostküsten. Entspricht der „äußeren Tropenzone bzw. Randtropen“ nach F. mit dem Wechsel zwischen Passat und äquatorialen Westwinden. Diese Zone reicht nach A. in den Südkontinenten jeweils bis 19—20° S-Breite, über Mittelamerika und den Ozeanen der Nordhalbkugel bis etwa 10° N-Breite, über dem Sudan bis 21°, über Asien zwischen Indus und der Nordspitze Formosas bis 28—32° N.

3. Zone tropischer Luft mit trockener, stabiler Luft aus den Zellen des (subtropischen) Hochdruckgürtels, heiter und sehr trocken im Bereich der Kontinente (von seltenen Polarfrontstörungen abgesehen), dagegen feucht im ozeanischen Bereich mit Passatwinden sowie einzelnen tropischen Zyklonen. Am Ostrand der ozeanischen

Hochdruckzellen kühl, tiefliegende Passatinversion, regenarm bei hoher Luftfeuchte, dagegen am Westrand schwache Passatinversion mit starker Bewölkung und häufigen Schauern. Ausdehnung nach N bis 38° Breite (Azoren, westlich Californien), sonst 30° N (über dem Golf von Mexiko nur 24°), in Hoch- und Ostasien fehlend, Südgrenze über der Nordinsel Neuseelands ebenfalls 38° S, sonst 28—32°. Entspricht der „subtropischen Trockenzone“ nach F., die jedoch am Ostrande der Kontinente — genauer im Bereich der großen Höhenträge der Westdrift, die die subtropischen Hochzellen separieren — unterbrochen ist. Auf der Südhalbkugel erscheint die Zone in Abb. 1 größer als nach Auffassung von F.

4. Subtropenzone, im Sommer unter dem Einfluß der subtropischen Antizyklone, im Winter (und Frühjahr) im Bereich der Polarfronten mit wechselnder Bewölkung und Niederschlägen, jedoch vorwiegend sonnig. A. unterscheidet kontinentale und ozeanische Klimatypen, besonders aber das trockene Klima der Westküsten (trockener Sommer, feucht-milder Winter, z. B. Mittelmeer) von dem monsunalen Ostküstenklima (feuchtheißer Sommer, trockenkalter Winter). Im Winter tritt regelmäßig Schneefall auf, aber außerhalb der Gebirge keine Schneedecke. Diese Zone umzieht nach A. beide Halbkugeln in 35—40° Breite, an den Westküsten Europas und Nordamerikas bis gegen 48° N ausholend. Demgegenüber beschränkt F. (15, Abb. 10) seine „subtropische Winterregenzzone“ auf den W der Kontinente wie das vorgelagerte Meeresgebiet, schließt also den monsunalen Ostküstentyp aus, da hier im Bereich permanenter Höhenträge die Wirkung der sommerlichen Subtropenhochzellen nicht in Erscheinung tritt.

5. Zone der gemäßigten Breiten mit schroffem, strahlungsbedingtem Gegensatz zwischen Sommer und Winter. Im Winter ist die Oberfläche in den Kontinenten schneebedeckt, mit erheblicher Reflexion der Sonnenstrahlung; das Klima wird beeinflusst vom Wechsel zwischen tropischen, polaren und arktischen (bzw. antarktischen) Luftmassen, die teils maritim, teils kontinental beeinflusst sind, sowie durch die zyklonale Tätigkeit an der Polar- bzw. Arktikfront. Die Niederschläge entstammen nach A. im Winter einem äußeren Kreislauf des Wasserdampfes zwischen Meer und Land, im Sommer dagegen überwiegend einem inneren Kreislauf über den Kontinenten selbst. Auch hier wird zwischen kontinentalen und ozeanischen Klimaten sowie zwischen Seeklima der Westküsten und Monsunklima der Ostküsten — das aber doch in den Windverhältnissen Nordamerikas oder gar Patagoniens nicht

zum Ausdruck kommt! — unterschieden. Zone 5 nach A. umfaßt über Atlantik-Eurasien den größten Teil der Zone 45—65° N, im Nordmeer bis über 70° N reichend, im Pazifik relativ schmal, über der Südhalbkugel meist in 45—65° S-Breite. Ihr entspricht bei F. die „feuchtgemäßigte Zone“ einschließlich eines Teiles der nordhemisphärisch-kontinentalen Sonderform „boreale Zone“ die wegen des Vorkommens (seichter) sommerlicher Ostwinde und der halbjährigen Winterschneedecke abgetrennt wurde.

6. Die subarktische Zone, nach A. begrenzt durch die Lage der Arktikfront, die aber nur in Form einzelner unterbrochener Teile existiert (und daher von einigen Autoren nicht mehr als selbständige klimatische Front angesehen wird), bzw. durch die ihr entsprechende äquatoriale Grenze der Tundra. Hier werden eine kontinentale und eine ozeanische Form (mit relativ milden Wintern und kühlen Sommern) unterschieden. Eine subantarktische Zone wird bei A. (S. 21) zwar genannt, jedoch weder hier noch im Kapitel XII erwähnt und fehlt auch in allen Karten. Diese Zone setzt auf der Nordhalbkugel im europäischen Sektor, genauer zwischen 70° N, 10° W und 67° N 75° E aus. Die kontinentale Form entspricht in etwa der „borealen Zone“ nach F., der die ozeanischen Abschnitte (Dänemarkstraße, Südgrönland, Beringmeer) zu seiner „subpolaren Zone“ schlagen müßte.

7. Die arktische und die antarktische Zone werden nach A. charakterisiert durch den Jahresgang der Strahlungsbilanz sowie eine ganzjährige Eisdecke. Im Winter bildet sich bei überwiegend antizyklonalem Witterungscharakter eine kräftige bodennahe Inversion aus. Auch im Sommer entsteht infolge der Schmelzprozesse eine seichtere Inversion, deren Obergrenze über See fast immer durch eine Hochnebeldecke angezeigt wird. Das kontinentale Klima der Antarktis und des grönländischen Inlandeises unterscheidet sich durch die eisbedingten negativen Sommertemperaturen von dem maritimen Klima der übrigen Arktis. Die äquatoriale Grenze dieser Zone schwankt auf der Nordhemisphäre zwischen 63—65° (Südgrönland, Beringstraße) und 71° N im Golfstrombereich sowie an der Taimyrhalbinsel, auf der Südhalbkugel zwischen 57° im afrikanischen Sektor und 65° S im pazifischen Sektor. Diese Zone umfaßt völlig die „hochpolare Zone“ nach F., aber auch den größeren Teil der „subpolaren Zone“, deren Rest A's „subarktischer Zone“ angehört. Die Unterscheidung dieser beiden Zonen bei F. wird sich vielleicht mit zunehmender Kenntnis nicht aufrechterhalten lassen. Wohl wird die subpolare Zone durch ein Maximum der Wind- und Wetterveränderlichkeit längs der polnahen Zugstraßen

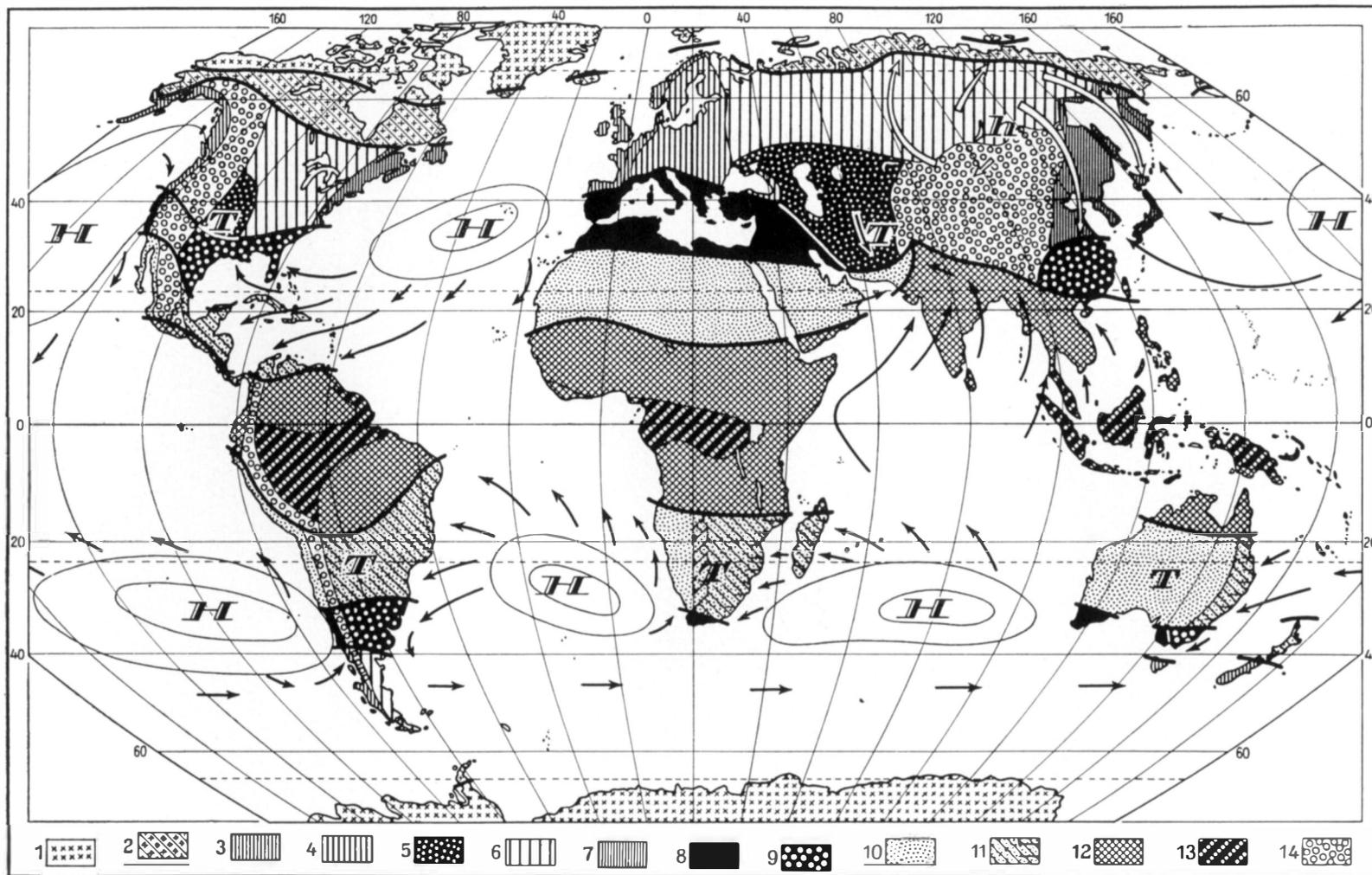


Abb. 2: Die Klimazonen der Erde nach E. Neef

Polare Klimazone

1. Polarklima

Subpolare Klimazone

2. subpolares Klima

Gemäßigte Klimazone

3. Seeklima der Westseiten

4. Übergangsklima

5. warmes Kontinentalklima

6. kühles Kontinentalklima

(einschl. Patagonisches Klima)

7. Ostseitenklima

Subtropische Klimazone

8. Winterregenklima der Westseiten

9. subtropisches Ostseitenklima

Passatklimazone

10. trockenes Passatklima

11. feuchtes Passatklima (trockenere Binnenabdachungen und stark beregnete Außenseiten)

Zone des tropischen Wechselklimas

12. tropisches Wechselklima

Aquatoriale Klimazone

13. Äquatoriaklima

14. Klimate der Hochgebiete

Berichtigung: an der Küste Liberias wurde versehentlich Sig. 12 statt richtig Sig. 13 eingetragen.

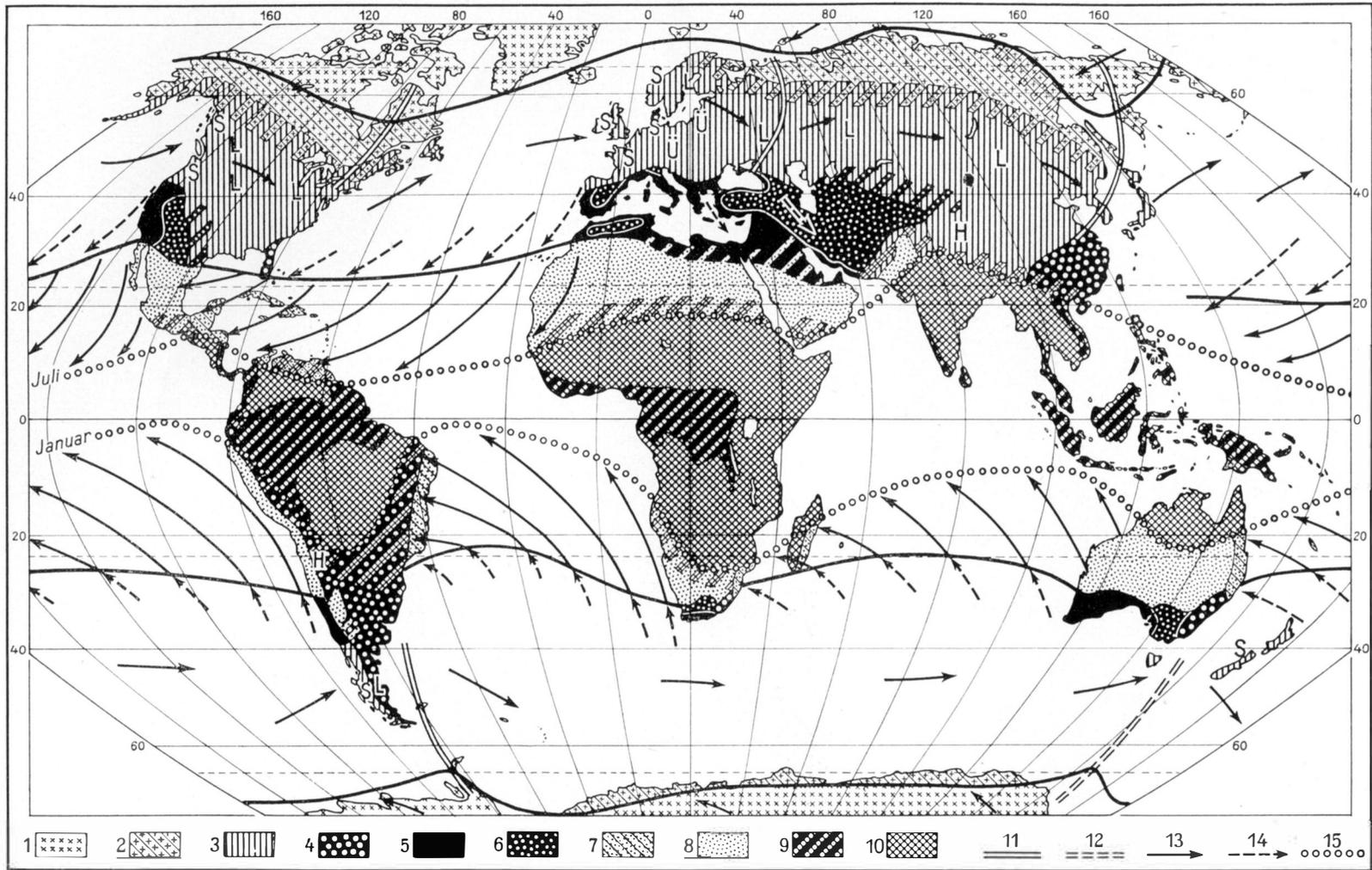


Abb. 3: Klimagebiete der Erde auf genetischer Grundlage nach E. Kupfer

- | | | |
|--|--|--|
| 1. Polares Klima (EE) | Subtropische Klimare (PW) | 10. Periodisch feucht (Zenitalregen) |
| 2. Subpolares Klima (WE) oder (EW) | 5. Mäßiger Winterregen | 11. Bevorzugte Lagen kalter Höhenrötre |
| Klimate der planetarischen Frontalzonen (WW) | 6. Geringer Frühlingsregen (Binnenlandtyp) | 12. Dasselbe, vermutet; 13. Ganzjährig wehende Winde (Passate sehr beständig, übrige unbeständig); |
| 3. $\left\{ \begin{array}{l} S = \text{Seeklima} \\ L = \text{Landklima} \\ U = \text{Übergangsklima zwischen Land- und Seeklima} \end{array} \right.$ | Passatklimate (EE) | 14. Sommerlich verlängerter Passat; 15. Lage der innertropischen Konvergenz im Januar und Juli |
| 4. Sommerfrüchte E = Küsten | 7. Feuchte E-Küsten | |
| | 8. Trockene W-Küsten und Binnenländer | |
| | Innertropische Klimate (TT), (TP) | |
| | 9. Dauernd feucht, immergrüne Urwälder | |
- H = Besonderes Höhenklima; T = Zone der innertropischen Westwinde; P = Passatzone; W = Planetarische Frontalzone mit Westwinden; E = Zone der polaren E-(Ost) Winde; 1. Buchstabe = Sommer 2. Buchstabe = Winter der betreffenden Halbkugel

der Zyklonen bzw. der Abschnitte der Arktikfront charakterisiert, aber nach den seit 1952 gut belegten Wetterkarten der inneren Arktis, mit mehreren Stationen auf Eisinseln, ist die Wetterveränderlichkeit in diesem Raum — mit Ausnahme des durch häufige hochreichende Antizyklonen charakterisierten Frühjahrs — merklich größer als früher angenommen, und ähnliches gilt nach *H. H. Lamb* (29) für die Antarktis.

Dieser Vergleich der beiden Einteilungen — beide auf genetischer Basis, jedoch A. auf der synoptischen Einteilung nach Fronten und Luftmassen, F. auf einer dynamischen Einteilung nach Windsystemen und Vertikalbewegungen (Niederschlagshäufigkeit) beruhend — weist nur wenige, meist sekundäre Unterschiede auf. Mit Recht betont *Chromow* (9), daß diese Übereinstimmung zweier völlig unabhängig entstandener Klassifikationen für die Objektivität der zugrundeliegenden Prinzipien spricht. Eine global gültige Klimazoneneinteilung benötigt solche großzügigen Einteilungsprinzipien, wie sie die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre anbietet. Luftmassen, Fronten oder Windsysteme: das sind verwandte Begriffe aus nebeneinanderliegenden Kategorien, wobei eigentlich nur die thermische Denkweise durch eine dynamische abgelöst, richtiger ergänzt wird.

B. Synthetische Klimakarten auf dynamischer Basis.

Während die Anordnung der Klimazonen nach der Einteilung von *Flohn* (15) und der kombinierten von *Trewartha* (45), S. 236 nur auf dem Idealkontinent — der „Klimarübe“ — wiedergegeben sind, haben *E. Kupfer* (28) und *E. Neef* (35) in Mitteldeutschland in dankenswerter Weise den Versuch gemacht, eine Klimazonenkarte auf der Basis des semi-genetischen Systems (15) abzuleiten. Ferner existieren die oben erwähnten Karten der Klimazonen nach *Alisow* (Abb. 1). Die folgenden Zeilen sollen keine Kritik der sehr anerkanntswerten Karten darstellen: diese hätte bei der gegebenen Situation nur Sinn, wenn man einen wirklich besseren Entwurf zur Diskussion stellen könnte. Sie sollen lediglich auf einige Diskussionspunkte grundsätzlicher Natur hinweisen.

Neef (35) kombiniert die nur auf den Kontinenten dargestellten Klimazonen mit der Angabe der Zentren der sommerlichen Antizyklonen und der kontinentalen Zyklonen der Subtropenzone sowie mit dem winterlichen Sibirienhoch und den damit zusammenhängenden Windsystemen (s. Abb. 2). *Kupfer* (28) stellt auch die vorherrschenden Windsysteme in Auswahl dar, ferner die wichtigsten Höhenträge sowie die Lage der inner-tropischen Konvergenzen für Januar — die auf

den Südkontinenten z. T. etwas zu weit südlich zu liegen kommt — und Juli. Zweifellos gehören die Windsysteme zu einer solchen Darstellung, und didaktisch wichtig ist gerade die jahreszeitliche Verlagerung der planetarischen Wind- und Luftdruckgürtel, Fronten usw. (s. Abb. 3). Die von *Creutzburg* (10) mit Recht vorgeschlagene Unterscheidung zwischen stetigen und alternierenden Klimazonen findet sich sowohl bei F. wie bei A., der (stetige) Hauptzonen und (alternierende) Übergangszonen unterscheidet; die regionalen Abarten dieser Klimagürtel bzw. -zonen werden als Klimatypen (z. B. kontinental) bezeichnet. Schon eine grob vereinfachende, aber separate Wiedergabe der jahreszeitlich wandernden Windsysteme in Schnitten und Karten veranschaulicht dies: eine Kombination mit den Klimazonen, die durch ihre Überlagerung erst entstehen, gibt leicht einen etwas verwirrenden Eindruck. Daher hat auch *R. Geiger* (11a) seine Klimakarte großzügig vereinfacht, selbst unter Verzicht auf *Köppens* Windpfeile und andere wichtige Einzelheiten.

Die quasipermanenten Höhenträge sind von überragender Bedeutung für jede genetische Klimazoneneinteilung. In *Kupfers* Karte (28) müßten auf der Südhalbkugel die nur als vermutet dargestellten revidiert werden: richtiger etwa bei 65° E und 170° W, nach N zurückhängend. Die Lage der Höhenträge kann bei den geringen jahreszeitlichen Verlagerungen — nur der ostasiatische Trog wurzelt im Sommer über der Tschuktschen-Halbinsel, im Winter im Lena-Becken — wohl in die eigentliche Klimakarte übernommen werden, um die Unterbrechungen der subtropischen Trockenzone und die hier lokalisierte Wechselwirkung zwischen den Wettervorgängen der gemäßigten und der tropischen Breiten zu veranschaulichen. Ähnliches gilt für die inner-tropische Konvergenz, deren extreme Positionen im Grenzbereich der äußeren Tropen (F) bzw. subäquatorialen Zone (A) liegen.

Sicherlich ist es zweckmäßig, Übergangsgebiete durch Schrägschraffur zu kennzeichnen, wie *Kupfer* (in Südafrika auch *Neef*) dies unternimmt. Eine Linie Nordkap—Leningrad—Odessa als Grenze des Übergangsklimas gegen das Kontinentalklima (35) ist vernünftig begründet; daß im Einzelmonat diese Grenze z. B. zwischen Irland und dem Ural schwanken kann, sollte aber auch in der Karte zum Ausdruck kommen (vgl. hierzu die instruktive Karte der Grenzen zwischen B-, C- und D-Klima in Nordamerika bei *Trewartha* [45] S. 232). Andererseits erscheint es gerade in didaktischer Hinsicht notwendig, die Grenzlinien nicht an den Küsten abreißen zu lassen, sondern über See weiterzuführen.

Etwas schwierig ist die Kennzeichnung der Hochgebirgsklimate, die z. T. in ganz andere Windzonen hineinragen. Diese Tatsache ist leider von *M. Schick* bei seinem fleißigen, aber in diesem Punkte unzureichenden Versuch einer Abgrenzung des Monsuns (40) nicht berücksichtigt worden; Bodenwinde auf einem 4000 m hohen Plateau haben eben eine andere Bedeutung als im Flachland. *Alissow* berücksichtigt die Orographie gar nicht, *Kupfer* beschränkt sich auf Angabe von zwei markanten Hochländern (Tibet und Bolivien) in Form eines Buchstabens, während *Neef* mit der Generalisierung vielleicht etwas zu weit geht, wenn er das zentralasiatische Hochland bis zum Baikalsee und in die Mandschurei (einschließlich Gobi, Tarimbecken und der ganzen Mongolei) reichen läßt. Auch die Trockengebiete in Lee verdienen Berücksichtigung: die wüstenhaft trockene Leezone der Anden in 28—40° S-Breite sollte besser nicht zum feuchten Passatklimate bzw. subtropischen Ostseitenklimate (wie China oder das südöstliche Nordamerika) geschlagen werden.

Der Entwurf einer allseits befriedigenden Klimakarte erfordert bei dem heutigen Stand der Unterlagen, vor allem der Inhomogenität der vorliegenden Klima-Atlanten, noch viele Vorarbeiten; diese Tatsache veranlaßte auch den Verfasser zur Zurückhaltung. Als wichtigste seien genannt (jeweils Weltkarten für die extremen Monate):

- Niederschlagshäufigkeit
- Häufigkeit und Resultante der Bodenwinde (unterhalb 1000 m)
- Bewölkung und Sonnenschein
- Höhenwinde (in Großbritannien abgeschlossen).

Das klimatische Rohmaterial liegt größtenteils veröffentlicht vor, wenn auch z. T. nur schwer zugänglich; die Geheimhaltung klimatischer Atlanten gehört hoffentlich bald der Vergangenheit an. Auch von den früher unbekanntesten Gebieten — die kanadische Arktis, Tibet, Iran, die Galapagos, Bolivien — existieren heute Klimadaten, wenn auch die Verarbeitung nicht überall Schritt hält; die schönen Tabellen- und Atlaswerke von Kanada, Südafrika, Indien, Argentinien und Brasilien — um nur einige Großräume anzuführen — ergänzen eindrucksvoll unser Wissen aus älteren Quellen.

Das schwierigste Problem — dessen Lösung jedoch prinzipiell möglich ist — ist das der Kombination von Land- und Seedaten. So kennen wir z. B. auf Land die Häufigkeit von Tagen mit Niederschlag oberhalb eines (leider recht verschieden gewählten) Schwellenwertes, dagegen über See praktisch nur die Niederschlagshäufigkeit an Stichprobenterminen; letztere Angaben müssen

statistisch in die ersteren überführt werden. Ähnlich ist es mit dem Wind, der über Land fast immer lokal abgelenkt ist, so daß hier der geostrophische Wind (aber einschließlich Beständigkeit) allgemein vorzuziehen ist. Wegen des völlig verschiedenartigen, vorwiegend praktisch-wirtschaftlich gerichteten Interesses an regionalen Atlanten ist die Herstellung eines wirklich globalen Klimaatlans — den es seit den Zeiten von *Bartholomew* (1899) nicht mehr gibt! — ein offenes, überwiegend akademisches Problem, dessen Schwierigkeiten groß, aber keinesfalls unüberwindlich sind, wenn die von der Klimakommision der Meteorologischen Weltorganisation unter *C. W. Thornthwaite* vorwärtsgetriebene internationale Zusammenarbeit wirksam wird. Erst auf dieser Basis wird sich eine befriedigende genetische Karte der Klimazonen erarbeiten lassen.

C. Wärme- und Wasserhaushalt und Klimazonen

Neben den Fortschritten der dynamischen Meteorologie verdient für unsere Fragestellung ein anderer Problembereich erhöhtes Interesse: das quantitative Studium der Wärme- und Wasserbilanz in den verschiedenen Klimazonen. Das Verhältnis zwischen Niederschlag N und Verdunstung V ist schon mehrfach, in verschiedenen Formen, als Einteilungsprinzip für Klimazonen angewandt worden (*A. Penck* [36], *v. Wissmann* [49], *Lauer* [30] u. a.). In abgewandelter Form liegt es auch dem bekannten Klimasystem von *C. W. Thornthwaite* (44) zugrunde; hierbei wird die potentielle Evapotranspiration E , praktisch die Verdunstung einer vegetationsbedeckten Oberfläche mit ständig hohem Grundwasserstand, in erster Näherung als Funktion der Temperatur und Tageslänge ermittelt. Von diesem Begriff unterscheidet sich die wahre oder aktuelle Verdunstung V durch die Größe des Wassernachschubs im Boden. In Trockengebieten nimmt E mit dem Sättigungsdefizit und der Windstärke zu, V dagegen wegen des trockener werdenden Bodens ab. In Kernwüsten ($N = 0$) erreicht der Unterschied zwischen Niederschlag und potentieller Verdunstung $N - E$ einen negativen Höchstwert; gleichzeitig sinkt aber die aktuelle Verdunstung V auf 0, so daß die Differenz $N - V$ ebenfalls gegen 0 geht. Über dem Meer, über Seen und Flüssen, in Sümpfen, feuchten Wiesen und in tropischen Regenwäldern gilt selbstverständlich $V \sim E$. Andererseits ist die potentielle Evapotranspiration nach *Thornthwaite* (in [33]) nicht einfach dem Verdunstungsanspruch eines Klimas gleichzusetzen. In einer Bewässerungsoase steigt bei hohem Grundwasserstand und starker pflanzlicher Transpiration der tatsächliche Dampfdruck gegenüber

einer vollariden Umgebung lokalklimatisch stark an. Die Messung von E wird stets von den advektiven Faktoren mehr oder minder abhängig sein; schaltet man diese aus, dann ist E nicht mehr als (makroklimatisch) repräsentativ zu bezeichnen.

Während die üblichen Klimatelemente wie Temperatur, Wind, Niederschlag, mit genügender Stationszahl allgemein als bekannt angesehen werden dürfen, gilt dies schon weniger für die schwieriger beobachtbaren, wie Luftfeuchtigkeit oder Bewölkung. Bei einem so grundlegend wichtigen Element wie die *Verdunstung* findet man (außerhalb der unmittelbar interessierten Kreise) gelegentlich eine Verwirrung der Begriffe, die zu Fehlerurteilen und übertriebenen bzw. falsch definierten Zahlenangaben führt. Die Messung von V ist leider mit schwer kontrollierbaren Fehlern behaftet. Die üblichen Verdunstungsmeßgeräte — Evaporimeter nach *Piche*, Verdunstungskugel, *Wild'sche* Wage, Verdunstungspfanne — messen bei ständig feucht gehaltener Oberfläche die potentielle Verdunstung oder den Verdunstungsanspruch, also eine mit E verwandte Größe; viele geben wegen Überwärmung oder der vertikalen Zunahme des Windes zu hohe Werte an. Die tatsächliche Verdunstung V ergibt sich meßtechnisch noch am einfachsten durch Verfolgung der Bodenfeuchte (durch Wägung von Bodenproben), wobei jedoch die Frage der Repräsentativität der Meßwerte einer sorgfältigen Kontrolle bedarf. Die Registrierung von E (Tabelle 1) unter natürlichen Bedingungen — wie in der Evaporimeter-Anlage von Seabrook, N. J. —

nahe $\pm 20\%$ liegt — beklagenswert gering, teilweise widerspruchsvoll und vom physikalischen Gesichtspunkt aus unbefriedigend.

Das Interesse der Meteorologen, die sich jetzt bemühen, die jahrzehntelange Vernachlässigung aufzuholen, konzentriert sich in erster Linie auf die physikalisch besser definierten, indirekten Methoden (2). Zunächst wird V erfaßt durch den vertikalen Transport von Wasserdampf, gemessen durch das vertikale Gefälle des Wasserdampfgehalts der Luft in der bodennahen Grenzschicht zusammen mit dem Austausch-Koeffizienten. Diese etwas umständliche und instrumentell aufwendige, aber verlässliche Meßmethode wird ergänzt durch eine andere, in der sämtliche Größen des *Wärmehaushaltes* gemessen werden, wobei die Fehlerquellen durch exakte Bilanzrechnung auf ein Minimum gesenkt werden können. Bezeichnen wir mit Q die Strahlungsbilanz am Boden, bestehend aus der Einstrahlung von Sonne S und Himmel H ($S + H =$ Globalstrahlung) und der effektiven Ausstrahlung A_e (= Ausstrahlung des Bodens A_B — atmosphärische Gegenstrahlung G), mit U_B den Wärmeumsatz im Erdboden, mit U_L den Wärmeumsatz zwischen Boden und Luft, so lautet die *Wärmehaushaltsgleichung*

$$Q = U_B + U_L + V,$$

die Gleichung der *Strahlungsbilanz*

$$Q = S + H - A_e = S + H - (A_B - G)$$

Mit diesem Verfahren hat *Albrecht* 1940 (1) für eine Anzahl Observatorien die Verdunstung V

Tab. 1. *Potentielle Evapotranspiration* (gemessen in mm) (nach Lit. 33)

Ort	Breite	Januar	Juli	Jahr	Niederschlag	Zahl d. Jahre
Ibadan (Nigeria)	7° N	86	128	1440	1158	2-3
Trinidad	11° N	87	146	1284	1742	1
Hongkong	22°	71	126	1142	2370	2
Everglades (Florida)	26°	32	177	1245	?	10
Seabrook (New Jersey)	39°	50	140	898	1195	5
Toronto	43°	—	131	—	58 (VII)	3
Valentia (Irland)	52°	6	91	320	572	1
Norman Wells (NW-Canada)	64°	—	141	—	42 (VII)	3

erfordert einen hohen Aufwand, wie bei Groß-Lysimeteranlagen (Eberswalde, Gießen, de Bilt): hinzu kommt die Frage nach dem advektiven Einfluß, d. h. auch wieder nach der Repräsentativität der Meßstelle. Die mit der Vegetation räumlich und jahreszeitlich wechselnde Transpiration der Pflanzen erhöht die Schwierigkeiten, weniger für E — das nach *Thornthwaite* und *Mather* (33) praktisch unabhängig von der Art der Bepflanzung ist — als für V . Daher ist unsere Kenntnis über den Wasserbedarf von Wäldern, Wiesen und Kulturpflanzen wegen der vielen systematischen Fehlerquellen aller direkten Meßmethoden — deren Genauigkeit vielfach noch

berechnet (Tabelle 2); weitere Rechnungen dieser Art sind im Gange — so *Frankenberger* für Quickborn bei Hamburg (18) — und bilden im Internationalen Geophysikalischen Jahr 1957/58 einen wesentlichen Teil des Programms.

Auch die beiden Verfahren von Tab. 2 gelten nur für einen Punkt, ohne daß lokale Einflüsse — wie die feuchte Wiese in Quickborn (18) und andere Werte in Tab. 2 — auszuschalten sind, und erlauben keine räumliche Integration über ein klimatisch repräsentatives größeres Gebiet. Für die sogenannte *Gebietsverdunstung* bieten sich heute zwei Wege an. Der eine geht den Umweg über die Hydrographie: aus langjährigen

Tab. 2. Aktuelle Verdunstung und Strahlungsbilanz

Ort:	γ	Verdunstung (mm)			Strahlungsbilanz (Cal cm ⁻²)			Lit. Nr. nach
		Januar	Juli	Jahr	Januar	Juli	Jahr	
Discovery - Ostbank	2° S	96	101	1192	6.0	6.4	79.8	1
Key West	25° N	113	101	1371	2.0	8.4	68.7	1
Scilly-Ins.	50°	60	37	614	-1.9	7.7	32.7	1
Lerwick	60°	28	26	412	-1.8	5.5	15.9	1
Maud (Polarmeer)	76°	0	0	0	-2.0	4.4	5.5	1
Djakarta	6° S	55	63	744	4.5	4.1	54.2	1
Gobi	42° N	1	61	219	0.4	6.9	42.4	1
Ukraine	50°	5	72	400	-1.0	8.5	39.4	4
Irkutsk	52°	-3	47	188	-1.2	4.9	19.9	1
Potsdam	53°	7	53	334	-1.6	4.5	19.8	1
Quickborn	54°	10	85	535	-0.8	6.6	37.1	18
Sodanyklä	67°	-3.5	37	157	-0.9	4.7	11.6	1
Eismitte	71°	-1.4	6	+2.7	-2.1	1.3	-7.6	1

Mittelwerten von Niederschlag N und Abfluß A läßt sich V durch die bekannte Beziehung $N - A = V$ ermitteln. Das ist jedoch streng nur für das Jahresmittel brauchbar, da für kürzere Zeiten Rücklage R und Verbrauch B des Grundwassers nicht bekannt sind; die vollständige Wasserhaushaltsgleichung

$$N - V = A + (R - B)$$

enthält fast immer mehrere Unbekannte.

Thornthwaite — (43) verbessert in (44) — hat einen Weg beschrieben, die einzelnen Glieder dieser Wasserhaushaltsgleichung über die potentielle Evapotranspiration E näherungsweise zu bestimmen. So nützlich diese Näherungslösung in der Praxis, so lange keine exakten Messungen vorliegen, sicher ist: sie entbindet uns nicht von der Notwendigkeit, die einzelnen Komponenten der Wasser- und Wärmebilanz an ausgewählten Punkten einwandfrei zu registrieren, schon um die Zulässigkeit der gemachten Annahmen — z. B. die einer konstanten Wasserkapazität des Bodens von 300 mm, die nach (44) zwischen 50 und 400 mm variieren kann — nachzuprüfen. Auf zahlreiche andere Näherungsmethoden kann aus Raumgründen nicht näher eingegangen werden; *Uhlir* hat in jüngster Zeit mehrfach (46) zu einigen dieser Methoden kritisch vergleichend Stellung genommen, allerdings unter Beschränkung auf mitteleuropäische (humide) Klimaverhältnisse.

Der zweite Weg ist gerade für kürzere Zeiträume anwendbar (*F. Möller* 1951 [34], *Benton*, *Flohn* und *Oeckel*): er bezieht sich auf die Messung der Wasserdampfadvекtion W mittels aerologischer Aufstiege. In einem Dreieck aerologischer Stationen läßt sich für eine Zeiteinheit, etwa einem Monat, die Differenz des hinein- bzw. heraustransportierten Wasserdampfes (div W) ermitteln. Dann ist für die Gesamtfläche des Dreiecks

$$\text{div } W = N - V,$$

so daß eine Berechnung der Gebietsverdunstung für jeden beliebigen Zeitabschnitt möglich ist, sofern N bekannt ist.

Über dem Meere ist die räumliche Verteilung von V auf ähnliche Weise zu bestimmen, da sie in erster Näherung eine einfache Funktion zweier relativ gut zu ermittelnder Klimaelemente ist: des Sättigungsdefizits (hier die Differenz zwischen dem Sättigungsdampfdruck bei Wassertemperatur und dem tatsächlichen Dampfdruck der Luft) und der Windgeschwindigkeit. Diese Rechnung kann noch kontrolliert werden, da unter stationären Bedingungen eine Abhängigkeit des Salzgehalts des Oberflächenwassers von der Größe $N - V$ besteht: über See ist aber die Messung von N wegen des Windeinflusses sehr unsicher. Zusammenfassende globale Übersichten dieser Probleme haben *W. C. Jacobs* und *H. U. Sverdrup* (25), *E. Reichel* (38) und *G. Wüst* (50) gegeben.

Beim heutigen Stand der Erkenntnis erscheint es noch verfrüht, einwandfreie Weltkarten für all diese Größen — insbesondere N , V , Q — zu konstruieren, wenn auch für N die Fehlerquellen über dem Meer neuerdings (*F. Möller*) einigermaßen bekannt sind und unsere Kenntnis von V an Stelle früherer widerspruchsvoller Feststellungen nunmehr in vernünftiger Weise konvergiert: die punktweise und nur für kurze Zeitabschnitte vorliegenden Daten von V und Q sind noch reichlich inhomogen¹⁾. Andererseits erscheint es nicht mehr utopisch, für eine wirklich „rationale“ Klimazonen-Einteilung einwandfreie, physikalisch fundierte Bilanzen des Wärme- und Wasserhaushalts zu fordern. Damit erhält die Auswahl charakteristischer Klimaelemente für eine Abgrenzung effektiver Klimazonen ihren

¹⁾ Inzwischen erschien von russischer Seite (*M. J. Budyko*, Leningrad, 1955) ein Atlas des Wärmehaushalts, auf Näherungsformeln (7) aufgebaut; eine größere Reihe von Karten von E sind in *Thornthwaite's* Laboratorium entworfen worden.

physikalischen Sinn, wie er auch im Begriff einer „energetischen Klimatologie“ (34) liegt. Die Erforschung der Wasser- und Wärmebilanz der Atmosphäre hat in den letzten Jahren viel Interesse gefunden: u. a. haben *F. Albrecht* (1,2), *W. C. Jacobs* und *H. U. Sverdrup* (15), *H. Lettau* (32), *F. Möller* (34) und jüngst *R. C. Sutcliffe* (42) wesentliche Beiträge geliefert. Auch die Diskussion des Problems der Klimaschwankungen bleibt in der Beschreibung stecken, wenn wir es nicht von der Seite zahlenmäßig gesicherter Bilanzrechnungen her aufrollen, die heute für alle geophysikalischen Disziplinen so kennzeichnend sind.

Von besonderer Bedeutung für das Problem der Klimaklassifikation erscheint das Verhältnis zwischen der zur Verdunstung V verbrauchten Energie zur Strahlungsbilanz Q am Erdboden; zumal nach den Befunden von *Frankenberger* (18) V sehr weitgehend von Q abhängt. In ähnlicher Weise hat *Budyko* die zur Verdunstung der gefallenen Niederschläge N nötige Energie E_N zu der Strahlungsbilanz in Beziehung gesetzt. Dieser Faktor Q/E_N beträgt für die Tundra > 0.35 , für die Wälder $0.35-1.1$, für Steppen bis 2.3 , für Halbwüsten bis 3.4 und für die Wüste > 3.4 . Auf diesem Wege gelangen wir wohl einmal zur Aufstellung einer effektiven, auf die Bedürfnisse der Praxis zugeschnittenen und beliebig verfeinerbaren Klimaklassifikation auf einer einwandfreien, physikalischen Grundlage, wie sie auch in *Thornthwaite's* neuesten Arbeiten (33, 34) angestrebt wird. Aber selbst in diesem Falle bleibt — um einen klaren Einblick in den Mechanismus der großklimatischen Zoneneinteilung und die Ursachen klimatischer Anomalien (siehe folgenden Abschnitt) zu gewinnen — eine genetisch-dynamische Klimazonen-Einteilung mindestens für didaktische Zwecke unentbehrlich.

Die heutigen und künftigen Aufgaben der praktischen, angewandten Klimatologie können — wie u. a. die Arbeiten von *Thornthwaite*, *Mather* und *Halstead* (33, 44) in den USA, von *Drosow* (4) und *Budyko* (7) in Rußland ebenso zeigen wie die jüngsten Untersuchungen von *Geiger* und Mitarbeitern und *Frankenberger* (18) in Westdeutschland — nicht mehr mit den seit einem Jahrhundert üblichen beschreibenden Methoden gelöst werden. Sie fordern eine physikalisch vertiefte Betrachtung unter dem Gesichtspunkt des Wasser- und Wärmehaushalts und des Austauschs (vgl. 4), wie sie seit den Untersuchungen von *H. U. Sverdrup* und *F. Albrecht* uns einen quantitativen Einblick in die Zusammenhänge gewähren. All diese Bilanzrechnungen erziehen zu einer präzisen Formulierung der Zusammenhänge, schützen uns vor der Gefahr vorzeitiger Verallgemeinerung und unkritischer Hypothesenbildung und zeigen uns die

Lücken unserer Kenntnis; sie ermöglichen dann aber auch eine zahlenmäßig einwandfreie, wirtschaftliche Auswertung. Die Zukunftsentwicklung der Klimatologie einschließlich all ihrer Anwendungen fordert die Berücksichtigung aller wesentlichen Fortschritte auf dem Gebiet der physikalischen Meteorologie, und damit in erster Linie einen Ausbau der energetischen und dynamischen Klimatologie nach dem heutigen Stand der vor 20 bis 25 Jahren von *Möller* (34), *Bergeron* (5) und *Hesselberg* (23) formulierten Programme.

D. Klimazonen und Klimaprovinzen

Nach der Übersicht von *Knoch* und *Schulze* (26) ist bis heute noch keine einheitliche Empfehlung zu erzielen, ob eine Klimaeinteilung zonar oder zellular, nach Klimazonen oder Klimaprovinzen gegliedert sein soll. Gehen wir von genetischen und didaktischen Überlegungen aus, so verdient ohne Zweifel eine Zonen-Gliederung den Vorzug. Aber auch der Aufbau einer vergleichenden Geographie setzt meist eine Zonengliederung an die Spitze: *Lautensachs* (31) Lehre vom Formenwandel steht hier neben *Passarges* System der Landschaftsgürtel und *Herbertsons* natürlichen Regionen (vgl. *Czajkas* [11] Stellungnahme). Dies gilt um so mehr, als wir heute weder vom geographischen Standpunkt aus — *C. Troll* hat dies mehrfach eindrucksvoll aufgezeigt — noch vom meteorologischen aus, nach der Entwicklung der Aerologie, auf die dritte Dimension verzichten können. So läßt *Czajka* die geographisch-klimatologische Global-sphäre sich in der Vertikalen so weit erstrecken, wie die atmosphärische Zirkulation bis zu den Gipfelhöhen in die Gliederungszusammenhänge eingreift. Dies sollte nicht allzu eng verstanden werden: wenn oberhalb weiter Flachländer (wie etwa in Nordkanada) Zyklonen und Schlechtwetterfronten durch die troposphärische Höhenströmung entgegen den in der Grundschicht herrschenden Winden gesteuert werden, wenn die Richtung des Wolkenzugs bei Niederschlag abweicht von der des Bodenwindes, dann dürfen diese Phänomene der Troposphäre in einer großräumigen Zoneneinteilung nicht vernachlässigt werden, zumal sie das Gesamtbild erst verständlich machen. Andererseits scheint die Stratosphäre oberhalb 18 km Höhe — mit ihrer sommerlichen Ostströmung und den neu entdeckten (*C. F. Palmer*) Berson-Westwinden über der Äquatorzone — tatsächlich keine ernsthafte Bedeutung für das Bodenklima zu besitzen.

Von der Aerologie, von der dreidimensionalen Strömungsverteilung der Atmosphäre her, verstehen wir nicht nur das Klimazonen-Modell im Sinne von *Alissow*, *Trewartha* und dem Verfasser,

sondern auch seine regionalen Abwandlungen und Anomalien:

1) Weil die Troposphäre über dem meerumgürteten Gletscherkontinent der Antarktis stets kälter ist als über der maritimen Arktis, ist die südhemisphärische Zirkulation stärker als die der Nordhalbkugel und greift auf diese über. Deshalb liegt der meteorologische Äquator mit seiner Regenzone über dem zentralen Pazifik ganzjährig, über dem zentralen Atlantik während des größten Teiles des Jahres auf der Nordhalbkugel.

2) Weil im zentralen und östlichen Pazifik der SE-Passat ganzjährig bis über den Äquator hinaus vordringt, wo die horizontale Komponente der ablenkenden Kraft der Erdrotation ihr Vorzeichen ändert, liegt hier gesetzmäßig eine trockene neben einer extrem feuchten Äquatorialzone, und aus dem gleichen Grunde kommt es zu divergierenden Oberflächenströmen des Meeres mit einer eingelagerten Zunge kalten Auftriebwassers.

3) Wo die großen, ganz oder teilweise orographisch verursachten und daher quasi-persistenten Höhenträge der Westdrift äquatorwärts ausgreifen, werden die Zellen des Subtropenhochdruckgürtels voneinander getrennt und die subtropische Trockenzone erfährt eine Unterbrechung — wie im Golf von Mexiko, in Südchina sowie auf der Südhalbkugel im Seegebiet nordostwärts Madagaskar und Neuseeland —, wo zugleich die tropischen Orkane polwärts umbiegen und in die Westdrift einbezogen werden können.

4) Weil die hochgelegene Heizfläche des tibetischen Hochplateaus die Atmosphäre in 5—6 km Höhe im Sommer stärker erhitzt als irgendwo anders auf der Erde, verlagert sich die subtropische Strahlströmung auf seine Nordseite, ebenso wandert die innertropische Konvergenzzone über Nordindien bis gegen 30°N und löst den raschen und weiten Ausbruch des indischen Sommermonsuns aus.

5) Weil dieser Hochlandblock die Winde bis 5 km Höhe zum Umströmen zwingt, bildet sich an seiner Ostseite ganzjährig eine Konvergenz, in der die für Ostasien wetterbestimmende Frontalzone („Polarfront“) wurzelt.

6) Weil innerhalb dieser ostasiatischen Polarfront auch der Wasserdampf der ostasiatischen Sommerregen aerologisch nachweisbar von W nach E, also vom Land zum Meer transportiert wird, ist die auf Woeikof zurückgehende, vom Boden her konzipierte Lehrmeinung von den „Sommermonsunregen“ nicht mehr haltbar; die aerologischen Beobachtungen belegen auch hier das Vorherrschen zonaler und planetarischer Vorgänge gegenüber zellularen und monsunalen.

All diese Zusammenhänge lassen sich theoretisch-physikalisch deuten — das wird erleichtert durch Heranziehen einfacher mathematischer Formeln — und empirisch belegen; auf Ausführung dieser Belege und Theorien muß in diesem Zusammenhang verzichtet werden. Sie zeigen uns die großräumige Zonengliederung, gewiß modellhaft vereinfacht, aber doch als übergeordnete, induktive Raumkonzeption, die eine Klimazoneneinteilung auf dynamisch-genetischer Basis als physikalisch begründet erscheinen läßt. Natürlich gibt es regionale und lokale Klimaprovinzen: diese sind notwendige, jedoch sekundäre Ergänzungen, Erweiterungen der primär, in der freien Atmosphäre physikalisch vorgebildeten und damit objektivierten Makroklima-Klassifikation.

Der Vorschlag Weischets (48), in der Hierarchie der Klimaeinteilungen zwischen Lokalklima, Subregional- und Regionalklima zu unterscheiden, hat im Rahmen des engräumig gekammerten mitteleuropäischen Landschaftsgefüges wohl einen Sinn; vom physikalischen Standpunkt ist ein Unterschied zwischen den beiden an letzter Stelle genannten Begriffen schwer einzusehen. Auch führt W. in beiden Fällen die gleiche Großlandschaft (Niederrheinische Bucht) als Beleg an; es dürfte schwierig sein, z. B. in den Prärien von Nebraska oder in den Wäldern Labradors eine Unterscheidung zwischen regionalem und subregionalem Klima durchzuführen. Auf der anderen Seite ordnet Weischet die Begriffe Makroklima, Großklima und Regionalklima der gleichen Stufe zu, während Geiger in seiner ersten Studie 1929 (19) — von der er leider später wieder abwich — einen wesentlichen Unterschied zwischen Makroklima und seinem Landschaftsklima (heute Regionalklima) herausstellt. Dieser Unterschied ist nicht instrumenteller oder methodischer Natur, sondern in der Sache begründet. Jede Diskussion der Ursachen von Klimaschwankungen und Witterungsanomalien führt auf die großräumigen Anomalien der allgemeinen Zirkulation: Luftdruck- und Windgürtel, blockierende Antizyklonen und persistente Höhenträge, Strahlungs- und Beleuchtungszonen, das sind typische Begriffe der Makroklimatologie im eigentlichen Sinne, die bei „regionalklimatischer“ Betrachtung in den Maßstäben 1:1—5 Millionen gar keine Rolle spielen. So ordnet auch C. Troll in seiner instruktiven Karte der Jahreszeitenklimate der Alten Welt (46) die Klimagebiete zu Klimazonen zusammen. Auch die Betrachtung der Schwankungen der großen Klimazonen im Sinne von Trewartha (45, Abb. S. 232) ist nur vom makroklimatischen Standpunkt aus sinnvoll, niemals von dem der Regionalklimatologie.

Vom Gesichtspunkt der Makrometeorologie bzw. -klimatologie aus betrachtet, sind Zyklonen und Antizyklonen, Fronten und Schlechtwettergebiete, Föhn- und Staugebiete sekundäre Einzelheiten; erstere z. B. werden als Turbulenzelemente des atmosphärischen Großaustauschs angesehen. Diese Betrachtungsweise bezieht sich auf die Maßstäbe 1 : 20—100 Millionen (19). Gerade der Geograph sollte m. E. diese erste, wichtigste Stufe nicht übersehen zugunsten einer nur in einigen Erdräumen anwendbaren Differenzierung von Zwischenstufen, denen kaum allgemeiner Erkenntniswert zukommt²⁾.

Für eine erste großzügige Übersicht, wie sie in Hochschule und Schule benötigt wird, erscheint eine genetische Klassifikation der Makroklimazonen ebenso unentbehrlich, wie die effektiven Einteilungen verschiedener Größenordnung für alle praktischen Anwendungen. Diese beiden Prinzipien widersprechen sich im Grundsätzlichen nicht, sondern ergänzen sich wechselseitig. In Schule und Hochschule sollte aber das erste Ziel darin bestehen, das Verständnis zu wecken für die ursächlichen Zusammenhänge: selbst die beste und vollständigste Beschreibung ist nur Vorstufe hierzu. Aus der physikalisch-kausalen Erkenntnis ergibt sich später die Anwendung in der Praxis ohne grundsätzliche Schwierigkeiten³⁾.

Literatur

1. *Albrecht, F.*: Untersuchungen über den Wärmehaushalt der Erdoberfläche in verschiedenen Klimagebieten. Wiss. Abh. RA. f. Wetterdienst 8, 2 (1940): vgl. Ber. dt. Wetterdienst US-Zone 17 (1950) und 29 (1951).
2. *Albrecht, F.*: Die Methoden zur Bestimmung der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche. Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. B 2 (1950), 1—38.
3. *Alissow, B. P.*: Die Klimate der Erde, Berlin 1954 (russ. Original 1950).
4. *Alissow, B. P., Drosdow, O. A., Rubinstein, E. S.*: Lehrbuch der Klimatologie, Berlin 1956 (russ. Leningrad 1952).
5. *Bergeron, T.*: Richtlinien einer dynamischen Klimatologie. Meteor. Z. (1930), 246—262.
6. *Bjerknes, V.*, u. Mitarb.: Physikalische Hydrodynamik, Berlin 1933.
7. *Budyko, M. J., Berland, T. G., Subenok, L. J.*: Wärmebilanz der Erdoberfläche. Isw. Akad. Nauk SSR, Geogr. Ser. 1954, No. 3, 17—41 (russisch).
8. *Chromow, S. P.*: Die geographische Anordnung der klimatischen Fronten, dt. in Sowjetwissenschaft 1950, H. 2, 29—42, russ. Isw. Geogr. 82 (1950), 126—137.
9. *Chromow, S. P.*: Dynamische Klimatologie und die Probleme der Klimaklassifikation, In: Fragen der Geographie (zum 18. Int. Geogr. Kongreß), Moskau-Leningrad, Akademie-Verlag 1956, 127—133 (russisch).
10. *Creutzburg, N.*: Klima, Klimatypen und Klimakarten, Pet. Geogr. Mitt. 1950, 57—69.
11. *Czajka, W.*: Die geographische Zonenlehre, Geogr. Taschenb. 1956/7, 410—429.
12. *Dinies, E.*: Luftkörper-Klimatologie. Arch. Seewarte 50, 6 (1931).
13. *Ertel, H.*: Ein neuer hydrodynamischer Wirbelsatz. Meteor. Z. 59 (1942), 277—281; vgl. S. 387—389.
14. *Flohn, H.*: Neue Wege in der Klimatologie. Z. f. Erdk. 1936, 12—22, 337—345.
15. *Flohn, H.*: Neue Anschauungen über die allgemeine Zirkulation der Atmosphäre und ihre klimatische Bedeutung. Erdkunde 1950, 141—162; vgl. auch Wiss. Abh. Dt. Geographentag 28 (1951), 105—118.
16. *Flohn, H.*: Probleme der großräumigen Synoptik. Ber. Dt. Wetterdienst US-Zone 35 (1952), 12—23.
17. *Flohn, H.*: Witterung und Klima in Mitteleuropa. 2. Aufl. 1954, 38—47.
18. *Frankenberger, E.*: Über vertikale Temperatur-, Feuchte- und Windgradienten in den untersten 7 Dekametern der Atmosphäre, den Vertikalaustausch und den Wärmehaushalt an Wiesenboden bei Quickborn (Holstein) 1953/1954. Ber. Dt. Wetterdienst 20 (1955).
19. *Geiger, R.*: Die vier Stufen der Klimatologie. Meteor. Z. 46 (1929), 7—10.
20. *Geiger, R., Pohl, W.*: Eine neue Wandkarte der Klimagebiete der Erde. Erdkunde 8 (1954), 58—60.
21. *Gordon, A. H.*: Dynamic Climatology. WMO-Bulletin 2 (1953), 121—124.
22. *Haurwitz, B., Austin, J. M.*: Climatology, New York-London 1944.
23. *Hesselberg, Th.*: Arbeitsmethoden einer dynamischen Klimatologie. Beitr. Phys. fr. Atmosphäre 19 (1932), 291—305.
24. *Hettner, A.*: Die Klimate der Erde. Geogr. Zeitschr. 1911.
25. *Jacobs, W. C., Sverdrup, H. U.*, in: Compendium of Meteorology (1951), 1057—1081.
26. *Knoch, K.*, u. *Schulze, A.*: Methoden der Klimaklassifikation. Peterm. Geogr. Mitt. Erg. H. 249 (1952).
27. *Kostin, S. I., Pokrowskaja, T. W.*: Klimatologie (russ.), Leningrad 1953.
28. *Kupfer, E.*: Entwurf einer Klimakarte auf genetischer Grundlage, Z. f. d. Erdkundeunterricht 6 (1954), 5—13.
29. *Lamb, H. H., Britton, G. P.*: General Atmospheric Circulation and Weather Variations in the Antarctic. Geogr. Journ. 121 (1955), 334—349.
30. *Lauer, W.*: Humide und aride Jahreszeiten in Afrika und Südamerika und ihre Beziehung zu den Vegetationsgürteln. Bonner Geogr. Abh. 9 (1952), 15—98.
31. *Lautensach, W.*: Der geographische Formenwandel. Coll. Geographicum 3 (1952).
32. *Lettau, H.*: A Study of the Mass, Momentum and Energy Budget of the Atmosphere. Arch. Meteor. Geophys. Biokl. A 7 (1954), 133—157.
33. *Mather, J. R.* (Herausg.): The measurement of potential evapotranspiration. Publ. Climatology VII, 1 (1954); vgl. auch Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. B 3 (1951), 16—39.

²⁾ Die physikalische Ursache dieser Maßstabeinteilung in Meteorologie und Klimatologie liegt in der turbulenten Struktur der Atmosphäre begründet; das atmosphärische Turbulenzspektrum umfaßt acht Zehnerpotenzen. Hieraus ergibt sich auch für die synoptische Meteorologie eine spektrale Einteilung (vgl. *H. Flohn*, Mitt. Dt. Wetterdienst 10, 1955, sowie *R. C. Sutcliffe*, Arch. Meteor. Geophys. Broklin A 7, 1954), ebenso wie *G. Manley* (Quart. Journ. Roy. Met. Soc. 79, 1953, 185—209), vom Turbulenzbegriff ausgehend, ein Spektrum der Klimaschwankungen aufgestellt hat.

³⁾ Den Anstoß zur Formulierung und Veröffentlichung dieser anspruchsvollen Skizze gaben anregende Diskussionen auf einer Amerikareise im Sommer 1956, mit Klimatologen wie *C. W. Thornthwaite* und *G. T. Trewartha*, und Tropenmeteorologen wie *C. E. Palmer* und *H. Riehl*, sowie ein Briefwechsel mit *S. P. Chromow*. Infolge anderer Aufgaben hat Verf. leider kaum Gelegenheit, die angedeuteten Gedankengänge systematisch durchzuführen. (Manuskript abgeschlossen Neujahr 1957.)

34. Möller, F.: Energetische Klimatologie. Gerl. Beitr. Geophys. 42 (1934), 252—278; vgl. auch Ann. Meteor. 1951, 157—160.
35. Neef, E., u. Mitarb.: Allgemeine physische Erdkunde, Lehrbuch f. d. 9. Schuljahr, Berlin 1954, 73—81.
36. Pende, A.: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiogeographischer Grundlage. Ber. Preuß. At. Wiss. Phys. Math. Kl. 1910.
37. Petterssen, Sv.: Weather Analysis and Forecasting. New York und London 1940, 2. Aufl. 1956.
38. Reichel, E.: Der Stand des Verdunstungsproblems. Ber. Dt. Wetterdienst US-Zone 35, 155—172 (1952).
39. Rossby, C. G., u. Mitarb.: Relations between Variations in the Intensity of the Zonal Circulation of the Atmosphere and the Displacement of the Semipermanent Centers of Action. Journ. Mar. Res. 2 (1939), 38—55.
40. Schick, M.: Die geographische Verbreitung des Monsuns, Nova Acta Leopoldina N. F. 112 (1953).
41. Schulze, A.: Weg und Ziel der Klimaklassifikation. Geogr. Taschenb. 1956/7, 429—433.
42. Sutcliffe, R. C.: Water balance and the general circulation of the atmosphere. Quart. Journ. Roy. Met. Soc. 82 (1956), 385—395.
43. Thornthwaite, C. W.: An approach toward a rational classification of Climate. Geogr. Rev. 28 (1948), 55—94.
44. Thornthwaite, C. W., Mather, J. R.: The Water Balance. Publ. Climatology VIII, 1 (1955).
45. Trewartha, G. T.: An Introduction to Climate. 3. Edit. New York—London 1954.
46. Troll, C.: Der jahreszeitliche Ablauf des Naturgeschehens in den verschiedenen Klimagürteln der Erde. Studium Generale, 8 (1955) 713—733; Karte auch in Geogr. Taschenbuch 1956/7, 268—269.
47. Uhlig, S.: Berechnung der Verdunstung aus klimatischen Daten. Mitt. Dt. Wetterdienst 6 (1954), sowie auch a. a. O. 13 (1955) und 15 (1956).
48. Weischet, W.: Die räumliche Differenzierung klimatologischer Betrachtungsweisen. Ein Vorschlag zur Gliederung der Klimatologie und ihrer Nomenklatur. Erdkunde 10 (1956), 109—122.
49. Wissmann, H. v.: Die Klima- und Vegetationsgebiete Eurasiens. Z. Ges. Erdk. Berlin 1939, 1—14.
50. Wüst, G.: Gesetzmäßige Wechselbeziehungen zwischen Ozean und Atmosphäre in der zonalen Verteilung vom Oberflächensalzgehalt, Verdunstung und Niederschlag. Arch. Meteor. Geophys. Bioklim. A 7, 305—328 1954.

URSPRUNGSHERDE UND AUSBREITUNGSWEGE VON PFLANZEN- UND TIERZUCHT UND IHRE ABHÄNGIGKEIT VON DER KLIMAGESCHICHTE

Fortsetzung des Aufsatzes aus Band XI, Heft 2

Hermann von Wissmann

6. Steppenbauer und Oasenbauer

Das damals dreiseits von scharfen Wüsten umschlossene Hochland zwischen Syrien und West-Iran, Kaukasien⁸²⁾ und Mesopotamien, vermutlich Ursprungsland von Weizenbau und Rinderzucht, Erfindungen von vielleicht einer Bevölkerung in einer Periode, wird durch diese geduldig entwickelten Erfindungen zur Ausgangsheimat dessen, was wir ein volles Bauerntum nennen, jener engen Vereinigung von Halmgetreidebau, Rinder- und Kleinviehzucht im gleichen Haushalt. „Erst dieses Vollbauerntum hat den gewaltigen Aufstieg und den großen kulturellen Vorsprung dieses Gebietes ermöglicht. Es ist eine große Leistung des Alten Orients, dem damals eine große Stunde anbrach. Sie hat viel stärker, als dies bis dahin möglich war, ein Kulturgefälle geschaffen, das seit jener Zeit mit all seinen Gesetzen wirksam geblieben ist, und immer das Schwächere, Undifferenziertere in den Bann des kulturell Stärkeren und Entwickelteren gezogen hat“ (F. Kussmaul 1952/53, S. 358).

Dieses Bauerntum spaltete sich wiederum auf in ein sehr seßhaftes Oasenbauerntum mit künstlicher

Bewässerung und ein beweglicheres Steppenbauerntum mit Regenfeldebau⁸³⁾. Im Steppenbauerntum war naturgemäß der Anteil der Viehzucht und auch der Jagd ein weit stärkerer als im Oasenbauerntum. Das Steppenbauerntum war daher weit besser zu Wanderungen befähigt. Man darf es aber keineswegs als Nomadentum bezeichnen, wenn man dieses Wort nicht seines eigentlichen Sinnes berauben will.

In diesem Zusammenhang ist der Lebensraum des frühen Bauerntums näher zu betrachten. Als

⁸³⁾ R. Gradmann hat 1934 und sehr vielseitig in einem Manuskript (1944) die hohe Bedeutung der subtropischen Steppen des Orients für den Ursprung und die frühe Entwicklung des Halmgetreidebaues dargestellt. Den Ausdruck „Steppenbauer“ benutzte ich 1946. Über die drei Gürtel der Steppen, die winterkalten Nordsteppen, die sommerheißen Steppen einschließlich der subtropischen und die tropischen Steppen ohne Frost der Alten Welt in ihrer verschiedenen Bedeutung für die Ausbreitung des Bauerntums vgl. H. v. Wissmann 1956, S. 286 ff., Karte Fig. 86 sowie auch die Karte Abb. 3 der hier vorliegenden Arbeit. Fast alle Oasen liegen im mittleren dieser drei Gürtel. F. Kussmaul entwickelt in seiner ungedruckten Dissertation II S. 266—278 eingehend den Begriff des Steppenbauern, beschreibt diese Lebensform und stellt sie dem Oasenbauern und auch dem Waldbauern gegenüber, einer Lebensform, zu der der Bandkeramiker des lichten Eichenwaldes schon hinüberleitet.

⁸²⁾ Vgl. E. Schieman 1939.