

Handbuch der Klimatologie

in fünf Bänden

Verfaßt von Prof. E. Alt, Dresden; Prof. L. Berg, Leningrad; Dr. B. J. Birkeland, Oslo; Dr. W. Borchardt, Hamburg; Dr. C. Braak, De Bilt; Prof. Ch. F. Brooks, Blue Hill (Mass.); Prof. G. Castens, Hamburg; A. J. Connor, Toronto; Prof. V. Conrad, Wien; G. W. Cox, Pretoria; Dr. N. J. Föyn, Oslo; Prof. S. Fujiwara, Tokio; Prof. R. Geiger, München; Prof. A. Kaminskij, Leningrad; Dr. E. Kidson, Wellington; Prof. K. Knoch, Berlin; Prof. W. Köppen, Graz; Prof. E. Kuhlbrodt, Hamburg; Dr. F. Loewe, Cambridge (Engl.); Prof. W. Meinardus, Bonn a. Rh.; Prof. M. Milankovitch, Belgrad; Dr. C. W. B. Normand, Poona; Prof. T. Okada, Tokio; H. Petersen, Kopenhagen; C. L. Robertson, Salisbury; Dr. E. Rubinstein, Leningrad; Prof. K. Sapper, Garmisch; Prof. G. Schott, Hamburg; N. P. Sellick, Salisbury; Dr. W. Semmelhack, Hamburg; Prof. H. U. Sverdrup, Bergen; Prof. T. Gr. Taylor, Chicago; Prof. A. Wagner, Innsbruck; Sir Gilbert T. Walker, Cambridge (Engl.); Prof. R. DeC. Ward †, Cambridge (U. S. A.); Prof. K. Wegener, Graz; Prof. L. Weickmann, Leipzig.

herausgegeben von

W. Köppen, Graz und R. Geiger, München

Band I, Teil C

Das geographische System der Klimate

von

Prof. Dr. W. Köppen

Mit 14 Textfiguren

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Koester Ufer 17

1936

*I received this copy
from Köppen, Mar. 8, 1937*

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright 1936 by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Inhalt

	Seite
1. Einleitung	5
2. Entstehung meiner Klassifikation der Klimate. — Andere Klassifikationen . . .	7
3. Warm, kalt, trocken, feucht. — Jahreslauf	11
4. Spielraum der monatlichen Temperaturen und Regenmengen	15
5. Die gewählten Grenzen. — Trockenklimate und Trockenzeiten.	16
6. Vorschläge zur Fortbildung dieser Klassifikation	23
7. Charakteristik der 11 Hauptklimate, ihrer Nebenformen und Unterabteilungen. — Die Klimaformel	25
8. Die geographische Anordnung der Klimate und ihre Ursachen	31
9. Die Windgebiete	38
10. Schlüssel und Diagramme zur Bestimmung der Klimaformel	41
11. Angeführte Literatur.	44

Verzeichnis der Textfiguren

	Seite
Fig. 1. Regengebiete der Erde, nach der Zählung der Tage mit Niederschlag . . .	13
„ 2. Spielraum der Monatsmittel der Lufttemperatur auf der wirklichen Erdoberfläche	16
„ 3. Desgleichen der Monatsmengen des Niederschlags	16
„ 4. Jahresgang der wichtigsten klimatischen Elemente an je einem Vertreter der 11 Hauptklimate	26
„ 5. Anordnung der Klimate im Meridianstreifen von Spitzbergen bis Antarktika	32
„ 6. Das Klimaschema: Entscheidende Isothermen und Trockenheitlinien . . .	34
„ 7. Das Klimaschema: Die 11 Hauptklimate	35
„ 8. Das Klimaschema: Nähere Ausführung	36
„ 9. Schema der Isobaren, Luft- und Meeresströmungen im Januar	37
„ 10. Desgleichen im Juli	37
„ 11. Klimaschema von C. W. Thornthwaite	38
„ 12. Die Windgebiete der Erde	39
„ 13. Bestimmung der Grenzen von BS und BW	42
„ 14. Desgleichen von Af, Am und Aw	43

1. Einleitung

Neben der eingehenden Untersuchung der einzelnen Bestandteile des Klimas und der sie beherrschenden Einflüsse müssen wir danach streben, einen Überblick über die großen Züge in der räumlichen Verteilung der Klimate, ihre Ähnlichkeiten und Verschiedenheiten zu gewinnen. Wir haben dabei das Klima als Ganzes, nicht seine Bestandteile getrennt zu betrachten, da es auch auf den Menschen und die übrige Natur in seinem Zusammenhange, nicht getrennt nach seinen Bestandteilen wirkt: dieselbe Niederschlagsmenge z. B. ist etwas ganz anderes, je nachdem sie bei Hitze oder bei Frost fällt; 200—300 mm jährlicher Wassermengen, die auch in manchen Teilen der Sahara fallen, lassen in Ostsibirien Wälder wachsen und speisen in Spitzbergen sogar Gletscher.

Die Betonung der Unterschiede im Klima benachbarter Länder ist älter als alle Klimatologie; auch die Abgrenzung klimatischer Provinzen ist schon öfter für Teile der Erdoberfläche und einige Male auch für die ganze geschehen. Im folgenden wollen wir aber unser Augenmerk mehr noch als auf diese Unterschiede und die Feststellung dieser Grenzen auf die Ähnlichkeiten zwischen den Klimaten weit entfernter Länder richten, auf die Auffindung homologer Klimate, welche die gleiche Stellung im allgemeinen klimatischen System der Erde einnehmen. Indem wir so die Klimate klassifizieren, gewinnen wir ein Mittel, uns in dem verwirrend bunten Bilde zurechtzufinden und allmählich das Gesetzmäßige darin zu erkennen. In diesem Erkennen sind wir freilich noch nicht weit vorgeschritten, denn die Anwendung physikalischer Lehrsätze auf die spezielle Klimakunde der einzelnen Länder ist noch immer recht beschränkt. Niederschläge, Bewölkung, selbst der Wind sind so komplizierte Dinge, daß wir zunächst noch mit der Feststellung und möglichst übersichtlichen Gruppierung der Tatsachen genug zu tun haben. Es ist daher keine genetische, auf die Ursachen ihrer Entstehung gegründete Klassifikation der Klimate, die ich vorschlage, sondern eine, welche die Tatsachen und ihre Wirkung auf die übrige Natur nur zu einem möglichst klaren Bilde zusammenfassen will. Es können eben verschiedene Ursachen gleiche Wirkungen hervorrufen. Erst nachträglich wollen wir auch die Frage nach der Entstehung dieses Bildes kurz streifen.

Von den meisten ähnlichen Darstellungen unterscheidet sich die folgende dadurch, daß sie sich nicht mit einer gefühlsmäßigen Angabe der unterscheidenden Merkmale der Klimate begnügt, sondern sucht, diese überall durch bestimmte Werte der beiden heute allein dazu ausreichend bekannten Elemente — Lufttemperatur und Niederschlagsmenge — festzulegen, unter Hinzuziehung anderer zur näheren Kennzeichnung der Klimate. Da das Hauptinteresse einer Klassifikation der Klimate in deren Wirkung auf die übrige Natur und den Menschen liegt, so erscheint es angezeigt, die Merkmale nach diesen Wirkungen auszuwählen; die zu wählenden Schwellenwerte enthalten auch erst dadurch eine Begründung, weil es sonst willkürlich ist, welche unter den rein quantitativen meteorologischen Werten man dazu nehmen will, denn 10, 20 usw. sind an sich um nichts charak-

teristischer als 9 und 21. Hauptsächlich das Pflanzenkleid der Erde, das seinerseits in so hohem Grade Tier- und Menschenleben bestimmt, bietet in seiner Abhängigkeit vom Klima dafür eine Fülle von Anhaltspunkten. Die Klimate der Erde sind der feste Rahmen des Webstuhls, in dem die Pflanzenwelt die Kette, Tier und Mensch den Einschlag des wunderbaren Gewebes bilden. Ja, man kann die Pflanzendecke das kristallisierte, sichtbar gewordene Klima nennen, in dem sich so manche Züge deutlicher zeigen als in den Angaben unserer Instrumente.

Auch in den Formen der Erdoberfläche und in der Bodenbildung äußern sich überall klimatische Einflüsse; aber wegen der Dauerhaftigkeit der Wirkungen wird hier das Bild verwickelter, da sich Einflüsse des gegenwärtigen und vergangener Klimate kreuzen. So wichtig diese Beziehungen sind, so kann deren eingehende Darlegung nicht in diesem Handbuch Platz finden, sondern muß hier auf die biologische und geographische Literatur verwiesen werden. Zur ersten Orientierung mögen SCHIMPERS [21] und A. v. KERNERS [22] Schriften aus der ersteren, die von A. PENCK [8] und JOH. WALTER [23] aus der letzteren genannt sein, sowie für die Bodenbildung auf das eben erscheinende große Handbuch von E. BLANCK verwiesen sein.

Wärme und Wasser sind die beiden wichtigsten Dinge, von deren Darbietung in der Umwelt das Leben der Organismen und auch die Umbildungen in der anorganischen Natur eines Landes abhängen. Aber bei der Verwickeltheit dieser Abhängigkeit, namentlich wo es sich um lebendige Wesen handelt, darf man nicht erwarten, mit einigen Zahlen über Lufttemperatur und Regenmenge sie ihrem Wesen nach auszudrücken. Wir müssen uns damit begnügen, in den massenhaft veröffentlichten Zahlenwerten von diesen Elementen Ausdrücke zu finden, welche dieser Abhängigkeit annähernd parallel gehen und uns so helfen, Klimate, die nach ihrer Wirkung auf Natur und Mensch verwandt oder grundverschieden sind, im großen und ganzen richtig zu erkennen und deren Stellung in einem allgemeinen geographischen System festzulegen. Von den unendlich vielen möglichen und den immerhin höchst mannigfaltigen wirklichen Kombinationen von Temperatur und Niederschlag müssen wir diejenigen als typische herausgreifen, die auf bedeutenden Räumen der Erdoberfläche einheitlich auftreten und sich auch in Natur und Menschenleben widerspiegeln. Da die Flachländer der Erde weit größere Räume einnehmen als die Gebirgsländer, werden wir in erster Linie auf erstere Rücksicht nehmen müssen.

Hier entsteht die Frage, wie weit wir in der Unterscheidung von Klimaten gehen sollen. Dem natürlichen Wunsche nach Genauigkeit steht die Notwendigkeit gegenüber, ein möglichst einfaches, leicht erfaßbares und die großen Züge erkennbar lassendes System zu geben, von dem man auch erwarten darf, daß es Verwendung findet. Diesen Zwiespalt glaube ich dadurch überwunden zu haben, daß ich zwar nur wenige Hauptabteilungen einführe, die sich dem Gedächtnis unschwer einprägen, deren unterscheidende Buchstaben aber zu einer Klimaformel weiterbilde, die nach Bedarf verlängert werden kann und so eine kurze Beschreibung des Klimas gibt. Allerdings nur nach seinen wesentlichen Zügen, denn Lufttemperatur und Regenmenge, nebst der unbedingt nötigen Rücksicht auf ihren Jahreslauf und ihr Verhältnis zueinander, geben in den mittleren geographischen Breiten bereits ein so reiches Bild, daß man sich große Beschränkung auflegen muß, um das Ziel, ein auffaßbares Bild des großen Ganzen, zu erreichen.

Die drei Hauptquellen der klimatischen Verschiedenheiten sind 1. die geographische Breite, 2. der Gegensatz von Meer und Land und 3. die Höhe über dem Meere. Von diesen ist die geographische Breite die durchaus mächtigste;

sie wirkt sowohl durch Sonnenhöhe und Tageslänge als durch die mechanischen Wirkungen der Erdumdrehung auf alle Bewegungen. Wachsende Breite bedeutet Abnahme der Temperatur und Zunahme der jährlichen Temperaturschwankungen. Die folgende Tabelle möge zeigen, wie stark in der Lufttemperatur der Einfluß der Breite über die sonstigen Einflüsse überwiegt. Die Jahresmittel der Temperatur der unteren Luftschicht, reduziert auf den Meeresspiegel, stellen sich wie folgt:

Geographische Breite	80° N	60° N	40° N	20° N	0°	20° S	40° S	60° S	80° S
Jahresmittel (höchstes	—10°	7	17	29	28	25	14	2	—14
d. Temperatur (niedrigst.	—20°	—8	9	23	24	18	9	—5	—24
Differenz	10°	15	8	6	4	7	5	7	10

Der Unterschied zwischen dem Äquator und 80° Breite beträgt hiernach auf der nördlichen Halbkugel 38 und 44° C, auf der südlichen 42 und 48° C, im Mittel 43°. Für die Störungen im zonalen Gesetz erhalten wir dagegen ein Maß in den Differenzen zwischen den höchsten und niedrigsten Werten auf demselben Breitenkreis. Diese erreichen, wie man sieht, nur in einem Falle 15°, die übrigen Differenzen betragen nur 4—10° C.

Die jährliche Temperaturschwankung dagegen nimmt fast ebensoviel wie von niederen nach höheren Breiten auch vom Meere nach dem Lande zu. Schon vor 200 Jahren hat BUFFON die Klimate der nordischen Binnenländer als „excessive“ den „limitierten“ Klimaten der Küsten und der Äquatorialgegenden gegenübergestellt. Wegen ihrer überwiegenden Meeresbedeckung hat die südliche Halbkugel, mit Ausnahme der Polargegenden, limitiertere Klimate als die nördliche.

Hoher Luftdruck, Entfernung vom Meere, kontinentale und polare Winde bedingen Mangel an Regen oder Schnee. So sehen wir an den Rändern der Tropenzone dort, wo diese Bedingungen erfüllt sind, Trockengebiete teils das ganze Jahr liegen, teils sich mit der jahreszeitlichen Verlegung dieser Bedingungen verschieben; im letzteren Falle finden wir Klimate mit periodischem Wechsel von trockenen und nassen Jahreszeiten.

2. Entstehung meiner Klassifikation der Klimate Andere Klassifikationen

Im Jahre 1867 veröffentlichte GRISEBACH in Petermanns Mitteilungen eine Karte der Vegetationsgebiete der Erde, die in mir durch die vielen Züge der Symmetrie darin schon damals den Wunsch wachrief, die klimatisch bedingten analogen Gebiete, wie die (damals mit Vorliebe als „subtropische“ bezeichneten) Winterregengebiete am Mittelmeer, in Californien, Chile, Australien und Südafrika, zu höheren Einheiten verbunden zu sehen und so ein einheitliches System der Klima- und Lebensgebiete der Erde zu erreichen. Ein Menschenalter später [1] (1900) verschaffte mir eine Influenza die Muße, einen solchen Entwurf zu versuchen. Die Fortsetzung der recht mühsamen Überlegungen führte mich 1918/19 zu einer Umgestaltung dieses Entwurfs [2], die sich von ihm darin unterschied, daß ich ihn a) von seinem pflanzengeographischen Ursprung freier, reiner klimatologisch machte, b) daß ich den im „Versuch“ von 1900 auf die Spitze getriebenen Parallelismus aller Kontinente ersetzte durch mehr Rücksicht auf die größere Kontinentalität Asiens und der Nordhalbkugel, und c) daß ich durch die „Klimaformel“ die Möglichkeit gewann sowohl zur vereinfachten Angabe

der Hauptzüge des Klimas als zum Eingehen auf wichtige Einzelheiten ohne Belastung des Gedächtnisses durch eine Überzahl von unterschiedenen Gebieten. Die Klimaformel kann sowohl dazu dienen, das Klima eines Ortes kurz zu kennzeichnen, als dazu, klimatische Gebiete zu bezeichnen und abzugrenzen.

In meinem Buche „Die Klimate der Erde. Grundriß der Klimakunde“ (W. de Gruyter & Co., Berlin und Leipzig 1923, 2. Aufl. 1931) habe ich eine Einteilung (hauptsächlich der Ozeane) in Windgebiete hinzugefügt, die sich mit den Wärme- und Regengebieten überschneiden. Beide Einteilungen sind schließlich auch auf einer $2 \times 1\frac{1}{2}$ m großen Wandkarte dargestellt, die 1928 mit zugehörigen Erläuterungen erschienen ist [3]. Auch in dieser Karte habe ich einige Verbesserungen an der Klassifikation der Klimate versucht, ohne an ihrem Wesen zu rühren. Bei der Ausarbeitung des Programms für das vorliegende Handbuch ist eine Rundfrage an die Mitarbeiter über die in ihm zu befolgende Klassifikation ergangen, auf die leider nur eine Antwort erfolgt ist; diese wurde berücksichtigt. Weitere Änderungen mögen wünschenswert sein, würden aber die Vergleichbarkeit der regionalen Teile des Buchs unter sich stören, auf die es uns vor allem ankommt.

Die älteren Einteilungen der Erdoberfläche nach dem Klima von SUPAN [4] und HULT [5] bezwecken eine Einteilung der Erde in eine Anzahl (33—35) räumlich in sich zusammenhängender geographischer Provinzen. Dagegen ist mein Streben in erster Linie nicht, die Erdräume nach klimatischen Merkmalen zu scheiden, sondern die Klimate selbst in ein gewisses System zu bringen und dann festzustellen, wo sie sich finden. Der Zweck ist freilich auch bei mir ein durchaus geographischer und das System dementsprechend gewählt. Eine von diesem Zweck losgelöste Klassifikation der möglichen Klimate, wie sie kürzlich von russischer Seite empfohlen worden ist, halte ich für unfruchtbar.

Ähnliche Einteilungen der Klimate wie die meinige sind dagegen von RAVENSTEIN 1900 [6], H. DE MARTONNE 1909 [7], A. PENCK 1910 [8] und HETTNER 1911 [9] auf verschiedene klimatische Elemente gegründet worden. Unter diesen hat diejenige von PENCK meine Klassifikation von 1918 günstig beeinflußt, indem sie mich zu einer neuen Einteilung der Klimareiche C und D veranlaßte. Wenn auch, naturgemäß, die Ähnlichkeiten im Klima weit auseinanderliegender Gebiete längst bemerkt und gelegentlich besprochen waren, so waren die im Jahre 1900 gleichzeitig erschienenen Aufsätze von mir und RAVENSTEIN meines Wissens die ersten Versuche zur Einreihung aller Klimate der Erde in ein System. RAVENSTEIN'S Klassifikation war seltsamerweise auf zwei hierzu sehr ungeeigneten Elementen aufgebaut, nämlich der mittleren Jahrestemperatur und der relativen Feuchtigkeit; ungeeignet, weil hohe Luftfeuchtigkeit sowohl in den regenreichsten Gegenden als in den dürrsten Küstenwüsten herrscht und die gleiche Jahrestemperatur exzessivste und limitierteste Klimate verbinden kann.

Bei dem notwendig halb geographischen, halb meteorologischen Charakter der Einheiten der Klassifikation ist deren Bezeichnung höchst schwankend. Mir scheint, daß man mehr Gewicht darauf legen müßte, ob es sich um räumlich zusammenhängende geographische Gebiete oder um Zusammenfassung von Klimaten ähnlicher Art, aber z. T. voneinander weit getrennter Räume handelt und die Worte Provinz, Gebiet — und wohl auch Reich — auf die ersteren beschränken müßte, für die anderen Begriffe aber mit den Worten Klima, Hauptklima, Klimagruppe, Klimatype auszukommen suchen muß, solange man nicht die zoologisch-botanischen Ausdrücke Klasse, Ordnung dafür brauchen will, die freilich dort Blutsverwandtschaft, hier nur „Ähnlichkeit“ und möglichst auch „Homologie“ bedeuten.

Über die zahlreichen zwischen 1909 und 1922 erschienenen Klassifikationen

berichtet E. OBST in Kendes Encyclopädie der Erdkunde [10]. Ich kann hierauf verweisen und mich mit einer kurzen Besprechung der seitdem veröffentlichten begnügen.

Als Heft 5 der von ihm herausgegebenen „Geographischen Schriften“ (Leipzig und Berlin, B. G. Teubner, 1930) hat A. HETTNER unter dem Titel „Die Klimate der Erde“ seine 1911 in der „Geographischen Zeitschrift“ erschienene Aufsatzreihe gleichen Namens neu bearbeitet und mit Karten versehen erscheinen lassen [9]. Er will nicht die Wirkungen, sondern die Ursachen der Klimate ihrer Einteilung zugrunde legen. Obwohl das Resultat nicht so sehr verschieden ist, unterscheidet sich sein Standpunkt von dem meinigen wesentlich. HETTNER sagt auf S. 85: „Eine natürliche klimatologische Einteilung muß in erster Linie den allgemeinen Charakter der Klimate ins Auge fassen, wie er eben in der ganzen Art und im jährlichen und täglichen Verlaufe der Luftbewegung, der Hydrometeore, des Lichtes und der Wärme zum Ausdruck kommt. Erst danach darf sie die Zahlenwerte berücksichtigen.“ Ich dagegen verlange eben diese als festes Gerüst, nachdem ich sie allerdings ebenfalls gefühlsmäßig ausgewählt habe. Nach HETTNER kann nur eine auf die Ursachen begründete Klassifikation als natürliche gelten (S. 84). Die schöne alte Arbeit von WOJEWKOF über die atmosphärische Zirkulation in Pet. Mitt., Erg. H. 35 (1877), die er als Student kennenlernte, ist ihm in dieser Hinsicht besonders anregend gewesen.

Auf der Weltkarte S. 99 unterscheidet HETTNER folgende 14 Klimate; in Klammern setze ich die Zeichen meiner Klimate hinzu, die in den bezeichneten Räumen herrschen; wie man sieht, ist die Übereinstimmung bei A, B und E ziemlich gut, bei C und D gering: 1. Polares und subpolares Klima (ET, EF), 2. Gemäßigtes Seeklima (Cfs), 3. Kaltgemäßigtes Binnenklima (Dfc, Dwc, Dwd), 4. Warmgemäßigtes Binnenklima (Cfa, Cfb, Dwb), 5. Prärienklima höherer Breiten (BSk, Dwa), 6. Trockenklimate höherer Breiten (BWk), 7. Etesienklima (Cs), 8. Trockenes Passatklimate (BWh), 9. Subtropisches Klima der Ostseiten (Cw, Cfa), 10. Tropische Kontinental-Monsunklimate (Aw, Cw, BSh), 11. Feuchte Luvseiten (Am, Af, Cw), 12. Immerfeuchtes Äquatorialklima (Af), 13. Tropische und subtropische Hochlandklimate (Cw, ET, BS), 14. Monsunklima höherer Breiten (Cf, Df, Dw, ET).

Einige dieser Klimate sind von HETTNER in den Kärtchen der einzelnen Kontinente weiter untergeteilt, wodurch etwas bessere Übereinstimmung mit meiner Einteilung eintritt. Von den „feuchten Luvseiten“ gehören die meisten zu den Klimaten, die zwar große jährliche Regenmengen, aber zugleich eine ausgeprägte Trockenzeit besitzen (Am).

Auf überwiegend klimatischer Grundlage beruhen auch die von Prof. PASSARGE in Hamburg aufgestellten „Landschaftsgürtel“ [11]. Deren Grenzen sind von ihm auf zwei Weltkarten angegeben, ohne durch bestimmte klimatologische Werte festgelegt zu werden. Die beiden Karten weichen ziemlich stark voneinander ab, wir müssen also die spätere (L.kunde Heft 4, 1924) als die jetzt maßgebende betrachten. Darin sind erstens unterschieden die Gürtel: 1. tropisch, 2. subtropisch, 3. gemäßigt (mit subtropisch-gemäßigtem Übergangsgebiet), 4. subpolar (mit Tundrawald-Randgebiet) und 5. Kältesteppe (jenseits der Baumgrenze); 1 und 2 sind als „heißer Gürtel“, 3 und 4 als „Mittelgürtel“ zusammengefaßt, die Scheidung dieser beiden Hauptgürtel ist in ungewohnter Weise bei etwa 45° N und 40° S gelegt.

Zweitens sind aber, damit z. T. sich überschneidend, von PASSARGE Landschaftsgebiete unterschieden, denen ich wieder, so gut es angeht, die Zeichen meines Klimasystems zum Vergleich hinzufüge: 1. Regenwaldländer der heißen und ozeanische Wälder der Mittelgürtel (Af, Cfa, Cfs), 2. Monsunwaldländer der

Subtropen und Mittelgürtel Ostasiens (Cw, Cf, Df), 3. Misch- und Laubwälder Mitteleuropas (Cfb), 4. Nadelwälder der Mittelgürtel (Dfb, Dfc, Dwc, Dwd), 5. Kältesteppen- und -wüsten (ET), 6. Subpolare Wiesenländer (ET, Cfb), 7. Steppen- und Waldsteppen (BS, Aw, Cw, Cf), 8. Trockengebiete (BW, BS), 9. Hartlaubgehölze (Cs), 10. Galeriewaldsteppen, in den Mittelgürteln Waldsteppen (Aw und Südrand von D)¹⁾.

Das ostasiatische Monsungebiet von Südchina bis Kamtschatka, dessen große Ausdehnung WOJEIKOF entdeckt hat, ist von PASSARGE in ein Gebiet zusammengefaßt, von HETTNER dagegen sechs verschiedenen Klimaten zugeteilt, was bei dessen Betonung des allgemeinen Windsystems der Erde auffallend ist; noch auffallender ist es, daß er unter diesen das Klima von Nordchina und Mandschurei auf Fig. 56 als „im Hochsommer trockenes Binnenklima“ bezeichnet, trotz dessen so ausgeprägter Sommerregenzeit. Das Klima von Tibet rechnet PASSARGE wie ich zu den Tundrenklimaten, HETTNER dagegen zu seinen Hochlandklimaten.

Während die Einheiten dieser Klassifikationen, z. B. die 14 von HETTNER und 10 von PASSARGE, scheinbar ohne Bindung zu einem Schema nebeneinanderstehen, versucht B. STEFANOFF in einer bulgarisch und deutsch geschriebenen größeren Abhandlung [13] eine möglichst weitgehende Systematisierung. Da Wärme und Wasser die hauptsächlich bestimmenden Elemente für das Pflanzenleben sind, so kommt er durch deren Kreuzung zu folgendem Schema von 16 Klimaten: einem Quadrat, in dem die Wärme von oben nach unten, die Feuchtigkeit von rechts nach links zunimmt und dessen Ränder die vier extremen Klimatypen darstellen sollen.

		Polares Klima					
		1	5	9	13		
Insulares Klima		2	6	10	14		
		3	7	11	15		
		4	8	12	16		
		Äquatoriales Klima					
						Kontinentales Klima	

Würden sich die Wirkungen der Wärme und der Feuchtigkeit jeweils durch einfache Zahl ausdrücken lassen, z. B. durch die Jahrestemperatur und jährliche Regenmenge²⁾, so wäre es natürlich leicht, jedem Ort in diesem Diagramm eine Stelle anzuweisen. Aber das wäre doch ohne den Jahresgang von Wärme und Niederschlag eine völlig unvollkommene Kennzeichnung eines Klimas.

STEFANOFF ergänzt denn auch das Bild im Text durch weitere Züge, deren Verteilung auf das Schema nicht recht begründet wird. So heißt es (S. 85) vom Klima 6, daß es hauptsächlich jene Gebiete auszeichnet, die an den Ostküsten der Kontinente liegen und durch den Monsunwechsel im Sommer ozeanisches,

1) Die Namen sind die von HETTNER und PASSARGE in ihren Kartenlegenden angegeben.

2) STEFANOFF versteht zwar unter Feuchtigkeit vorwiegend die sog. relative Feuchtigkeit der Luft, aber zieht doch naturgemäß auch die Regenmenge in seine Betrachtungen. Von dem für die Pflanzen wichtigsten Wassergehalt des Bodens wissen wir ja leider allzuwenig.

im Winter kontinentales Klima haben. Das Klima 7 aber sollen hauptsächlich die Gebiete haben, die an den Westküsten liegen und während der Sommerzeit unter dem Einfluß des Passats stehen“. Es könnte wohl ebensogut umgekehrt heißen.

Da STEFANOFF keine Karten bringt, so läßt sich ein Vergleich mit meiner Klassifikation, wie er oben geschah, hier nicht ausführen. Nur im allgemeinen liegen im obigen Quadrat meine A-Klimate unten, die B-Klimate rechts, die C links und die E oben; aber da eben die jährliche Periode im Diagramm keinen Platz hat, so ist für die Klasse D der Schneewaldklimate im Schema kein bestimmter Platz gegeben.

Ich glaube in der Tat nicht, daß man gegenüber der mannigfaltigen Wirklichkeit mit Vorteil die Systematisierung wesentlich weitertreiben kann als ich es in den kleinen Tabellen auf S. 14 und 17 tun werde.

In den letzten Jahren sind in Nordamerika mehrere eingehende Arbeiten zur Klassifikation der Klimate erschienen. Da aber diese direkt an die meinigen anknüpfen, kann ich sie erst nach Darlegung der letzteren besprechen.

3. Warm, kalt, trocken, feucht. — Jahreslauf

Welche Züge des Klimas man der Klassifikation zugrunde legen soll, darüber können die Meinungen natürlich verschieden sein. Ich halte diejenigen für die geeignetsten, die sich am meisten dem Menschen aufdrängen und am leichtesten in vergleichbaren Zahlen ausdrücken lassen: Lufttemperatur und Niederschläge (Regen oder Schnee); für sie liegen deshalb auch am meisten brauchbare Beobachtungen vor, und zwar kommen von beiden nur die mehrjährigen Monats- und Jahresmittel in Betracht. Verdunstung und Bodentemperatur sind für den Pflanzenwuchs, und damit auch für Mensch und Tier, mindestens ebenso wichtige Elemente wie diese; Strahlung und Luftströmung sind von fundamentalerer Bedeutung für die übrigen klimatischen Elemente; aber sie alle sind der Beobachtung und Messung viel schwerer zugänglich als eben Lufttemperatur und Regen oder Schnee. Wir müssen uns also, wenn wir nach einem Gesamtbild der Erdoberfläche streben, an diese halten; bei der engen Verknüpfung der klimatischen Elemente untereinander spiegeln sich denn auch zum Glück die übrigen so weit in diesen zweien wieder, daß man ihre Wirkungen auf die organische Welt einigermaßen auch in ihnen erkennen und sie als Vertreter der übrigen Elemente gelten lassen kann. Freilich nur, wenn man Temperatur und Niederschlag zusammenfaßt, wie es Mephisto aufs knappste formuliert: dem Trocknen, Feuchten, Warmen, Kalten entwinden tausend Keime sich. Einzeln genommen können sie keinerlei Vorstellung vom Klima eines Ortes geben: New Orleans z. B. hat ungefähr dieselben Mitteltemperaturen des Jahres und der Monate wie Kairo, aber die 50fache Regenmenge, Khartum dieselbe jährliche Niederschlagsmenge (13 cm) wie Werchojansk, aber die Mitteltemperatur des Januars ist dort 22°, hier —50° C. Wo aber Monats- und Jahresmittel sowohl der Temperatur als des Niederschlags dem Betrag und der Jahreszeit nach ähnlich sind, darf man sehr wohl von einer Ähnlichkeit der Klimate sprechen und ähnliche Wirkungen auf die Lebewelt erwarten, auch wenn sich in anderen Beziehungen, z. B. in der Windrichtung, bedeutende Unterschiede zeigen. Mindestens für den Praktiker, mit Ausnahme des Seefahrers, ist die Kenntnis jener Elemente weit wichtiger.

Es läßt sich freilich nicht leugnen, daß durch die gleichzeitige Berücksichtigung mehrerer Klimatelemente und ihres jährlichen Ganges die Fragestellung kompliziert wird. In der Entwicklung der Klimatologie mußte daher die Feststellung der räumlichen Verteilung der klimatischen Einzelzüge der Gewinnung

des Gesamtbildes vorhergehen. Von der Temperatur war diese im Flachlande durch die Isothermen gegeben, und war meine Aufgabe nur, auch für Gebirgsländer auf Grund der vertikalen Temperaturabnahme und der Isohypsen die Lufttemperatur an der wirklichen Erdoberfläche festzustellen — eine allerdings mühsame Arbeit. Für die Verteilung der Niederschläge und ihres Jahresganges auf der Erde waren die Vorarbeiten noch schwieriger, weil deren Unterschiede noch viel mannigfaltiger sind. Die größeren Züge darin ließen sich erst nach Verarbeitung des Beobachtungsmaterials von den Ozeanen mit genügender Bestimmtheit feststellen, welche Arbeit in den Jahren 1880—1900 an der Deutschen Seewarte geschah. Fig. 1 gibt die von mir damals aufgestellten Regengebiete der Erde.

Bei den Jahreswerten stehen bleiben — wie es oft geschehen ist und geschieht — dürfen wir zu einer einigermaßen treffenden Kennzeichnung von Klimaten nicht, für die Temperatur noch weniger als für den Niederschlag. Wir müssen unbedingt den Gang der Jahreszeiten hinzunehmen, schon um den wesentlichen Unterschied zwischen „limitierten“ und „exzessiven“ Klimaten zu erkennen.

Andere Größen als Monats- und Jahresmittel stehen auch für Lufttemperatur und Niederschlag in viel zu beschränktem Umfange zur Verfügung, um darauf ein System der Klimate aufzubauen. Wir wollen also diese dem unseren zugrunde legen. Um aber unter diesen nur ihrer Größe nach verschiedenen Zahlen charakteristische Schwellenwerte zu bekommen, die qualitative Eigenheiten zeigen, berücksichtigen wir ihr Verhältnis zur übrigen Natur, besonders zur Pflanzenwelt, und wählen solche Werte, die mit den Verbreitungsgrenzen bekannter Pflanzen oder Pflanzengruppen annähernd zusammenfallen.

Da die Jahresmittel besonders bei der Temperatur wenig verwendbar sind, weil sie allzu Verschiedenes verbinden, so wählen wir bei ihr zur Kennzeichnung der Klimate die extremen Monate des Jahreslaufs, die in der Regel sich gut dazu eignen, wenn auch die Jahreszeitenmittel in manchen Fällen besser wären. Anders bei den Regenmengen, bei denen durch die Aufspeicherung des Wassers im Boden, in stehenden und in fließenden Gewässern auch die Jahressumme von entscheidender Bedeutung wird.

In der Wahl der Grenztemperaturen können uns folgende Erwägungen leiten. Die gemäßigten Klimate sind von den tropischen hauptsächlich durch das Vorhandensein einer kühlen oder kalten Jahreszeit unterschieden, die das Gedeihen tropischer und subtropischer Pflanzen in ihnen verhindert und andererseits günstige Wirkungen auf den Menschen hat. Von den Klimaten hoher Breiten dagegen unterscheiden sich die gemäßigten Klimate dadurch, daß auch ihnen die wärmere Jahreszeit so viel Wärme bringt und so lang ist, daß härtere Gewächse ihren jährlichen Lebensprozeß durchlaufen können und der Mensch Pflanzenbau treiben kann. Die Verhältnisse des Winters kommen hier weniger in Betracht, weil die Pflanzen ihn im Ruhezustand verbringen. Daher sind in niedrigen Breiten die Temperaturen des kältesten, in höheren die des wärmsten Monats die wichtigeren.

Diese Fähigkeit eines großen Teiles der Pflanzen, ungünstige Umstände durch Ruhezustände — Kälteruhe oder Trockenruhe — zu überwinden, bedingt es, daß hauptsächlich nur das Vorhandensein und die Dauer einer Zeit mit für ihr Leben günstigen Umständen, einer Vegetationszeit, für sie entscheidend ist.

Dort, wo die Wärme oder die Feuchtigkeit, oder beide, während eines Teiles des Jahres ungenügend vorhanden sind, wird durch die verschiedene Stellung der Regenzeiten zu den warmen Jahreszeiten das Bild besonders kompliziert. Entscheidend ist dasjenige Element, das, nach LIEBIG'S Ausdruck, im Minimum vorhanden ist, also in höheren Breiten die Wärme, in niederen das Wasser.

Wo die Temperatur eines ganzen langen Winters unter Null bleibt, da reicht selbst sehr dürftiger Schneefall aus, um im Frühling Pflanzenwuchs und selbst Hochwasser der Flüsse zu erzeugen. Wo kalte und warme Jahreszeiten wechseln und ein Teil des Jahres arm an Niederschlägen ist, ist es von entscheidender Bedeutung, in welche Jahreszeit die Trockenzeit fällt. Dagegen ist es dort, wo das ganze Jahr hindurch hohe Temperatur herrscht, von geringer Wichtigkeit, in welchen Kalendermonaten die Regen fallen; praktisch entscheidend ist dort nur, ob ausreichende Regenzeiten und ausgesprochene Trockenzeiten überhaupt da sind, oder ob der Regen oder die Dürre sich über das ganze Jahr erstrecken. Auf der Suche nach den charakteristischsten Zügen im Klimabild der Erde und dessen allmählicher Vereinfachung bin ich schließlich zur Unterscheidung von 11 Hauptklimaten gekommen. Sie gruppieren sich in 5 Klimaklassen, von denen vier auf beiden Halbkugeln zu finden sind, eine aber auf der ozeanischen Südhalbkugel fehlt. Auf beiden vertreten ist das Reich der Trockenklimata; die übrigen vier Klimaklassen haben mehr oder weniger reichliche Niederschläge und sind nach ihren Temperaturverhältnissen unterschieden.

Bezeichnen wir die Klimaklassen mit den fünf ersten Großbuchstaben des Alphabets in der Reihenfolge, wie sie sich im allgemeinen auf dem Flachlande vom Äquator zu den Polen aneinanderreihen, so umfassen A, C und D Baumklimata, B Trockenklimata und E Schneeklimata. In B und E unterscheiden wir je zwei Hauptstufen der Trockenheit — Steppenklimate BS und Wüstenklimate BW, sowie der Kälte — Tundrenklimate ET und Klimate ewigen Frostes EF, die Baumklimata aber scheidet wir danach, ob ihnen eine niederschlagsarme Zeit überhaupt fehlt (f), oder sie eine Trockenzeit im Winter (w) oder im Sommer (s) haben, unter Winter und Sommer allgemein die Jahreszeit verstanden, wo die höheren Breiten der betreffenden Halbkugel den tiefsten oder höchsten Sonnenstand haben.

Wir erhalten so das folgende Schema, nach wachsender geographischer Breite geordnet:

Klimaklasse	Trockenzeit			Stufe ¹⁾
	f	s	w	
Tropische Regenklimate..... A	fehlt	(Sommer)	Winter	— —
Trockenklimate..... B	—	—	—	Steppe Wüste
Warmgemäßigte Regenklimate.. C	fehlt	Sommer	Winter	— —
Boreale Klimate..... D	fehlt	(Sommer)	Winter	— —
Schneeklimata..... E	—	—	—	Tundra Frost ewig

Da As und Ds kaum entwickelt sind, außerdem bei A es für die Pflanzenwelt unwesentlich ist, in welchen Monaten es regnet, so ergeben sich in den 5 Klimaklassen 11 Hauptklimate oder Klimaordnungen:

1. Af, 2. Aw, 3. BS, 4. BW, 5. Cf, 6. Cs, 7. Cw, 8. Df, 9. Dw, 10. ET, 11. EF.

Als in ihren Wirkungen wesentlich gleiche Nebenformen kann man zu Af die Mischform Am, zu Aw die Form As schlagen.

Diese vorwiegend auf die Wirkung des Klimas auf den Pflanzenwuchs gegründete Klassifikation steht in naher Übereinstimmung mit der von PENCK auf das Verhalten des atmosphärischen Wassers zum Boden gegründeten, wenn man seine auf die Anwesenheit von Eisboden bezügliche Gruppe der „polaren“ Klimate mit seiner „subnivalen“ verschmilzt; zusammen entsprechen sie meiner D-Klasse. In jeder von seinen drei Hauptgruppen unterscheidet PENCK zwei Stufen, nämlich vollhumide und semihumide, vollaride und semiaride und

1) Will man internationalere Zeichen für diese Stufen anwenden, so wähle man für S und W B¹ und B² (d. i. B-Quadrat), für T und F E¹ und E².

vollnivale und seminivale, also 6 Arten von Klimaten, die sich mit meinen durch Buchstaben bezeichneten Gruppen in folgender Weise mehr oder weniger genau decken:

Nach PENCK	Nach KÖPPEN	„voll-“	„semi-“
„Humide Klimate“ = Baumklimate	=	A f	(s) w
		C f	s w
		D f	(s) w
„Aride Klimate“ = Trockenklimate	=	B W	S
„Nivale Klimate“ = Schneeklimate	=	E F	T

Da es der Hauptzweck meiner Klassifikation der Klimate ist, verwandte Klimate ohne Willkür wiederzuerkennen, wo wir sie auch antreffen mögen, so war es meine Aufgabe, sie durch bestimmte Zahlenwerte abzugrenzen, die möglichst von der ganzen Erdoberfläche zu beschaffen sind, und zwar werde ich diese der Einheitlichkeit wegen durchweg charakteristischen Monatsmitteln zu entnehmen suchen, um die reichlich komplizierte Aufgabe für mich und Nachfolger zu vereinfachen.

4. Spielraum der monatlichen Temperaturen und Regenmengen

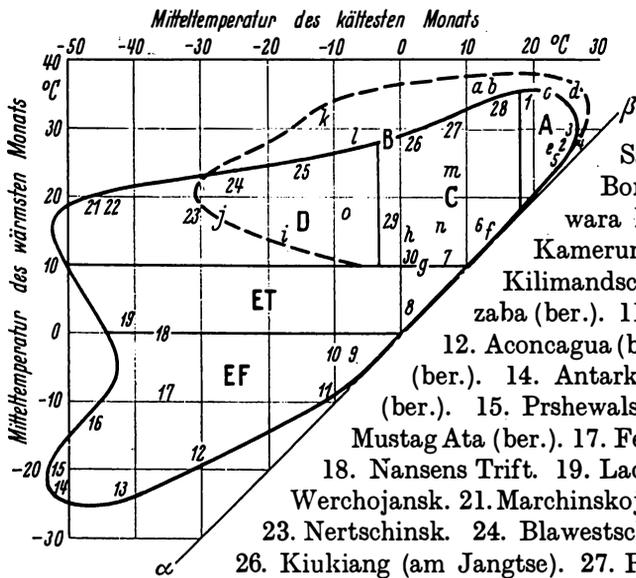
Bevor wir mit diesen Gesichtspunkten an die Entwerfung des geographischen Systems der Klimate gehen, verschaffen wir uns einen Überblick über die auf der festen Erdoberfläche vorkommenden höchsten und niedrigsten Monatsmittel der beiden hauptsächlich dafür zu benutzenden Elemente! Diesen Überblick über deren Spielraum geben uns die Fig. 2 für die Lufttemperatur und 3 für die Niederschlagsmenge, in denen die Abszissen die kleinsten und die Ordinaten die größten Monatsmittel beider Größen darstellen, in Celsiusgraden und Zentimetern. Jeder Ort der festen Erdoberfläche nimmt in jedem dieser Netze einen bestimmten Platz ein; für eine Anzahl charakteristischer Punkte ist dieser Platz angegeben, und zwar in Fig. 3 sowie für den Bereich der Trockenklimate (B) in Fig. 2 durch Buchstaben, für die übrigen Klimate (A, C, D, E,) in Fig. 2 durch Ziffern. Die Grundlinie $\alpha\beta$ ist die Linie mit der Jahresschwankung Null, ihr parallel laufen die übrigen Linien gleicher Schwankung, rechtwinklig zu ihr die Linien (ungefähr) gleicher Jahrestemperatur. Der Temperaturbereich der Trockenklimate ist durch eine unterbrochene, der der übrigen Klimate durch ausgezogene Kurve umgrenzt.

Von der Fig. 2 kann man mit ziemlicher Sicherheit sagen, daß die Monatsmittel der Temperatur aller Orte der festen Erdoberfläche innerhalb des von der krummen Linie umschriebenen Raumes fallen; denn die Temperatur der Berggipfel läßt sich angenähert nach den Stationen der Umgebung berechnen. Bei Fig. 3 ist eine solche Berechnung nicht möglich und es ist nicht ausgeschlossen, daß mit der Zeit Orte gefunden werden, deren extreme Monatsmittel noch merklich außerhalb der Kurve fallen. Die allgemeine Form der Kurven wird aber richtig sein.

In Fig. 3 ist a nach HELLMANN in Sitz.-Ber. Berl. Akad. 1925, S. 209, eingetragen; b bis k geben alle obersten Monatswerte der Regenmenge über 1000 mm aus HANNS Handbuch, 3. Aufl., wieder; o und p sind wegen ihres Regenreichtums bekannte Orte, die aber in dieser Darstellung wenig hervorragen. Die Figur lehrt uns, daß alle Monatsmengen oberhalb 800 mm in Gegenden mit ausgesprochen periodischen Regen vorkommen, wo die Regenmenge des regenreichsten Monats mindestens das Vierfache, bei Mengen über 2000 mm mindestens das Zwanzig-

fache von derjenigen des regenärmsten beträgt. Dieselben Orte Indiens, wo im Juli durchschnittlich fast 3 m Regen fallen, sind vom Dezember bis Februar fast regenlos.

Fig. 2. Spielraum der Monatsmittel der Lufttemperatur auf der wirklichen Erdoberfläche.
Fig. 3. Desgl. der Monatsmengen des Niederschlags.



Die eingetragenen Orte sind folgende:

- In Fig. 2: 1. Nagpur. 2. Madras. 3. Saigon. 4. Sandakan, Borneo. 5. Para. 6. Newara Eliya. 7. Cuzco. 8. Kamerunberg (berechnet). 9. Kilimandscharo (ber.). 10. Orizaba (ber.). 11. Chimborazo (ber.). 12. Aconcagua (ber.). 13. Gaurisankar (ber.). 14. Antarktis in 4600 m Höhe (ber.). 15. Prshewalskij-Geb. (ber.). 16. Mustag Ata (ber.). 17. Felsengebirge $52\frac{1}{3}^{\circ}$ N. 18. Nansens Trift. 19. Lady Franklin Bai. 20. Werchojansk. 21. Marchinskoje, Lena. 22. Jakutsk. 23. Nertschinsk. 24. Blawestschensk. 25. Mukden. 26. Kiukiang (am Jangtse). 27. Rawalpindi. 28. Allahabad. 29. Hamburg. 30. Punta Arenas; ferner in Trockenklimaten: a In Salah (Sahara). b Jakobabad. c Suakin. d Massaua. e Piura. f Arequipa. g Ollague (21,2 S. 68,3W).

h Uspallata. i Pamirskij Post. j Urga. k Luktshun. l Kaschgar. m Kimberley. n Sta Cruz (Patag.). o Leh (Tibet).

In Fig. 3: a und b Manoyuram (Seehöhe 1067 m) und Cherrapunji (1250 m), beides in den Khasia-Hills, Indien. c Mahabuleshwar (1384 m), W. Ghats, Ind. d, e und g Bibundi, Debundja, Isongo, alle drei am Fuße des Kamerun-Berges. f Conakry, frz. Guinea. h Akyab, Arakan. i Tavoy, Tenass. j Ins. Pemba. k Sierra Leone. l Qara Valu, Fidji. m Kusaie, Karolinen. n Singkel, Sumatra. o Jaluit, Marshall-Ins. p Buitenzorg, Java. r Hokitika, N.Seel. s Lynchburg, Virg. t Assuan, Ägypten.

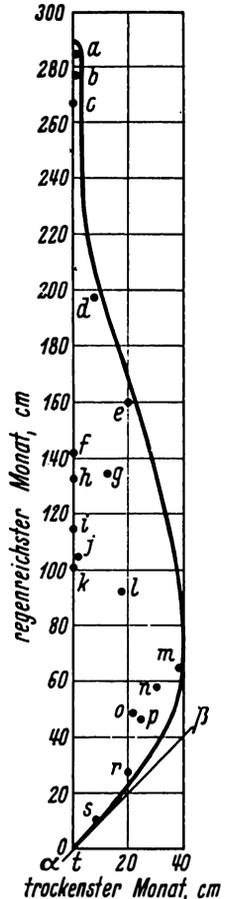


Fig. 3

5. Die gewählten Grenzen Trockenklimate und Trockenzeiten

Zur Abgrenzung dieser Klimagruppen voneinander benutze ich, wie oben begründet, die extremen Monatsmittel der Temperatur, und nur soweit es sich um Regen handelt, auch Jahresmittel. Bei der Temperatur stellt sich die Abgrenzung einfach: das Baumgebiet ACD ist von E durch das Mittel des wärmsten Monats = 10° geschieden und in sich durch das Mittel des kältesten Monats zerlegt, das in A über 18° , in C zwischen 18 und -3° und in D unter -3° liegt. Die Temperatur des wärmsten Monats = 0° C scheidet das Tundrenklima ET von dem des ewigen Frostes EF. Diese Hauptgrenzen sind bereits in die Fig. 2 eingetragen. Innerhalb der Klimareiche C und D können wir zweckmäßig drei Temperaturstufen a, b und c nach den Verhältnissen der warmen bzw. Vegetationszeit unterscheiden und aus D das Gebiet mit „Quecksilberfrösten“ um den winterlichen Kältepol ausscheiden. Da die Abgrenzung der Hauptklimate A, C und D gegeneinander nach dem Winter geschehen ist, so ist es zweckmäßig,

um ein vollständigeres Bild vom Klima zu erhalten, die genauere Einteilung von C und D nach dem Sommer vorzunehmen. Daß ein Tagesmittel über 10° während 4 Monate für die Verbreitung einer Reihe von unsern bekanntesten Bäumen und Sträuchern maßgebend ist, hat schon GRISEBACH gezeigt.

Übersichtlich stellen sich diese vier Temperaturstufen in den beiden Hauptklimaten C und D so dar:

Mitteltemperaturen	A	a	b	c	d	E
Kältester Monat	> 18°			u n t e r 18°		
Wärmster Monat	1)	> 22°		10 bis 22°		< 10°
Dauer der Temp. > 10°	ganzes Jahr	mehr als 4 Mon.		1 bis 4 Monate		< 1 Mon.
Kältester Monat		über —38°			< —38°	1)
		a	b	c	d	

Würden alle Kombinationen der drei Niederschlagstypen und vier Temperaturstufen möglich und verwirklicht sein, so würden sich in C und D zusammen 2×3×4 = 24 Klimate ergeben. Von diesen sind in der Wirklichkeit nur die 14 in der folgenden Tabelle mit Kreuzen angegebenen gut ausgebildet zu finden, von den übrigen 10 werden sich einige auf beschränkten Räumen noch herausstellen, im allgemeinen Klimabilde der Erde spielen sie aber keine Rolle.

Temperaturstufe	C			D		
	w	s	f	w	s	f
sommerheiße = a	×	×	×	×	—	×
gemäßigte = b	×	×	×	×	×	×
kalte = c	—	—	×	×	—	×
Kältepol = d	—	—	—	×	—	—

Viel schwieriger durch meteorologische Zahlen voneinander abzugrenzen — so deutlich sich deren Unterschiede auch in Boden und Pflanzenwuchs spiegeln — sind die Baumklimate ACD gegen die Trockenklimate B sowie die f-, w- und s-Klimate untereinander. Mit diesen Abgrenzungen wollen wir uns jetzt beschäftigen.

Klimate, in denen zwar alljährlich bestimmte Monate regenarm sind, aber andere Monate ausreichende Regen bringen, so daß die gesamte Regenmenge des Jahres eine gewisse, der Temperatur bzw. Verdunstung entsprechende Größe überschreitet, welche Baumwuchs unabhängig von Flüssen und Grundwasser gestattet, rechnen wir zu den Baum- oder Regenklimaten, in denen wir sie als die periodisch trockene Form (w oder s) neben die beständig feuchte (f) setzen, die Regen zu allen Jahreszeiten hat. In diesen nur periodisch trockenen Klimaten bedecken Bäume und Sträucher einen großen Teil der Erdoberfläche; mit ihren tiefgehenden Wurzeln erreichen sie Bodenschichten, in denen der in der Regenzeit angesammelte Vorrat an Feuchtigkeit auch während der Trockenzeit nicht vollständig versiegt. Wo aber die Trockenheit das ganze Jahr anhält oder doch die Niederschläge auch der feuchteren Jahreszeit nicht Zeit haben, in tiefere Schichten zu dringen, ehe sie verdunsten, da ist der Baumwuchs im allgemeinen auf die Stellen beschränkt, wo der Boden durch Flüsse oder Grundwässer, die von fern kommen, feucht gehalten wird. Unter den Pflanzen, die ohne Grundwasser beständige Regenarmut aushalten können, gibt es nur wenige niedrige Bäume; der bemerkenswerteste ist der Ssakssaul, eine Salsolacee in Zentral-

1) Dieselbe Unterscheidung ist zwar auch in diesen Klimaten zulässig, aber von geringer Bedeutung. Wesentlicher wäre in den E-Klimaten eine Scheidung der ozeanischen Klimate mit milden Wintern, wie das Islands und Kerguelens, von den eigentlichen Tundrenklimaten, etwa durch die Mitteltemperatur —3° des kältesten Monats.

asien. In heißen Klimaten mit periodischen Regen dagegen verringern viele Bäume ihre Verdunstung in der Trockenzeit dadurch, daß sie ihr Laub periodisch abwerfen. Diese „regengrünen“ Wälder gleichen in der Trockenzeit dem Winterbilde unserer „sommergrünen“ Laubwälder. Das Zusammenspiel von Kräften, durch die das Wasser in die Baumkronen gehoben wird, reicht zudem in diesen Klimaten offenbar nur bei wenigen Baumarten für Hochwald aus: Gesträuche (Maquis) haben das Übergewicht, freilich in hohem Maße unterstützt durch den Holzbedarf des Menschen, dem die größeren Bäume zum Opfer fallen. Gerade in solchen Ländern mit aus Wald und Fluren gemischter Vegetation hat sich ja der Mensch früh und dicht angesiedelt.

Man darf sagen, daß „Vegetationszeit“ gleichbedeutend ist mit „Zeit ausreichender Bodenfeuchtigkeit und genügender Wärme in Boden und Luft“. Pflanzen, die sie nicht ganz ausnutzen, wie z. B. das Brotgetreide in Mitteleuropa, das schon im Hochsommer abstirbt, sind zum Teil nachweisbar aus anderem Klima eingeführt, dem sie angepaßt sind. Dabei ist für Kräuter und Gräser der Zustand der obersten 10—20 cm des Bodens, für Bäume aber der des Untergrundes in der Tiefe von $\frac{1}{2}$ —2 m entscheidend. Doch verrät sich die Anwesenheit einer längeren Trockenzeit auch an Bäumen stets durch eine der mannigfaltigen Einrichtungen zum Schutze gegen allzu große Verdunstung, welche beständig feuchtwarmen Gegenden fehlen. Nicht zu vergessen ist dabei, daß für jeden der vielfältigen Lebensprozesse desselben organischen Wesens eigene, oftmals verschiedene, Anforderungen an die Temperatur, Wasserzufuhr usw. bestehen.

Augenfällige Vorrichtungen zur Vermeidung übermäßiger Verdunstung sind neben dem erwähnten periodischen Laubfall besonders die Einschränkung der verdunstenden Oberflächen, z. T. auch Schutz derselben durch Haare usw. und undurchlässige Überzüge von Zellulose oder Wachs, Firnis, Kalk, Kiesel auf den übrigen Organen, ferner Bindung des Wassers durch Salze oder Gummi (Tragant usw.), endlich Aufspeicherung des Wassers im Gewebe bei Succulenten, Adansonien, Bombaceen u. a. Dagegen sind drei weitere häufige Eigenschaften der Pflanzen trockener Gebiete — Stacheln und Dornen, harte saftlose Struktur und Ausscheidung stark riechender ätherischer Öle und Balsame — Schutzmittel nicht gegen die Trockenheit, sondern gegen die in waldlosen Gegenden heimischen Weidetiere.

Für die xerophilen Baum- und Strauchformationen, die nur periodischer Trockenzeit angepaßt sind, ist also die Anwesenheit einer genügend ausgeprägten Trockenzeit entscheidend, für die höhere Stufe der Trockenheit aber, die den Baumwuchs ausschließt, die Abwesenheit einer genügenden Regenzeit; und danach sollen sich denn auch unsere Unterscheidungen richten.

Über das, worauf es dabei am meisten ankommt, den Wassergehalt des Bodens, sind wir leider sehr wenig unterrichtet; bis jetzt ist noch keine einfache, vergleichbare Werte liefernde Methode für dessen Messung gefunden. Selbst für die Verdunstung liegt die Sache nicht viel besser. Wir müssen uns damit begnügen, aus den am häufigsten beobachteten meteorologischen Größen Ausdrücke zu gewinnen, die den gesuchten Größen sichtlich ungefähr parallel gehen und sie vertreten können. Um brauchbare Grenzen für wenigstens zwei Stufen — Steppenklimate und Wüstenklimate — zu finden, habe ich nacheinander verschiedene Wege eingeschlagen, die übrigens praktisch zu wesentlich denselben Resultaten führten. Daß die Regenmenge allein hier kein Maß der Bodenfeuchte abgeben kann, zeigt sich schon darin, daß in Klimaten, wo sie ein so ausgesprochenes Sommermaximum zeigt, wie in den Steppen Südrußlands, dennoch durchweichte Wege dem Winter, Staub dem Sommer angehören. Bezeichnender

ist schon, erfahrungsgemäß, die Zahl der Tage mit Niederschlag, weil in ihr die mit der Temperatur, ebenso wie die Verdunstung, im allgemeinen steigende Dichte der Regen ausfällt und zugleich die Dauer der an Regentagen verringerten Lufttrockenheit mehr zur Geltung kommt. In meinen älteren Karten der Regenverhältnisse der Ozeane und der ganzen Erde habe ich seit 1883 die Grenze der regenlosen bzw. regenarmen Klimate dorthin gelegt (s. Fig. 1), wo der regenreichste Monat des Jahres nur 6 Tage mit Regen, also eine „Regenwahrscheinlichkeit“ von 0,20 aufweist. In den Ländern, aus denen genügendes Material über die Zahl der Regentage vorliegt, wie Rußland, Nordamerika und Indien, findet man, daß eine größte monatliche Regenwahrscheinlichkeit von 0,36 (d. i. 11 Regentage im Monat) der Grenze zwischen Wald- und Steppengebiet entspricht [vgl. 1, S. 17]. Denselben zwei Grenzen entspricht auch ein Quotient aus der Regenmenge des regenreichsten Monats und der seiner Mitteltemperatur entsprechenden Maximalspannung des Wasserdampfes im Werte von 4,0 mm für die erstere und 2,2 für die letztere Grenze [1, S. 18], mit der noch zu besprechenden Ausnahme für Südamerika. Später habe ich, immer in dem Streben nach möglichst einfachen Ausdrücken, gesucht, für diesen Zweck mit den jährlichen Mitteln der Temperatur und der Regenmenge auszukommen, entweder in der Form auf eine bestimmte Temperatur (16°) „reduzierter“ Regenmengen [14] oder in der einer Additionskonstante zur mittleren Jahrestemperatur [2, 3, 15]. Dabei setzte ich stets die Regenmenge an der Grenze der vollariden oder Wüstenklimate als halb so groß an wie die an der äußeren Grenze der semiariden oder Steppenkimate (der „Trockengrenze“ bzw. der Grenze der B-Klimate überhaupt). Dabei suchte ich der Einfachheit wegen mit den Jahreswerten auszukommen, obwohl es in höheren Breiten zweifellos sehr wesentlich ist, ob die Regen in der wärmeren oder in der kälteren Jahreszeit fallen; auf diesen Unterschied suchte ich durch Änderung der Konstanten Rücksicht zu nehmen, da eine große Genauigkeit hierin meines Erachtens nicht erreichbar ist. In der folgenden Tabelle sind die Regenmengen angegeben, bei welchen ich die Grenze der B-Klimate gegen die Baumklimate A, C und D angesetzt habe (in cm, t = Jahrestemperatur in $^{\circ}\text{C}$).

Jährliche Regenmengen an der Trockengrenze (cm)

Nach den Vorschlägen von	1918 [2]	1919 [14]	1922 [15]	1928 [3]	
a) wenn kein Unterschied der Jahreszeiten in Temperatur oder Regenmenge besteht	$2t + 20$	$50 + \frac{5}{4}(t - 16)$	$t + 33$	$2t + 14$	
b) bei ausgeprägten Winterregen . .	—	$0,7(50 + \frac{5}{4}(t - 16))$	$t + 22$	$2t$	
c) bei ausgeprägten Sommerregen .	—	$1,3(50 + \frac{5}{4}(t - 16))$	$t + 44$	$2t + 28$	
bei $t = 6^{\circ}$	a) ohne Jahreszeiten-Unterschiede . .	32 cm	37 cm	39 cm	26 cm
	b) Winterregen . . .	—	26 „	28 „	12 „
	c) Sommerregen . .	—	48 „	50 „	40 „
bei $t = 16^{\circ}$	a) ohne Jahreszeiten-Unterschiede . .	52 cm	50 „	49 „	46 „
	b) Winterregen . . .	—	35 „	38 „	32 „
	c) Sommerregen . .	—	65 „	60 „	60 „
bei $t = 26^{\circ}$	a) ohne Jahreszeiten-Unterschiede . .	72 cm	52 „	59 „	66 „
	b) Winterregen . .	—	37 „	48 „	52 „
	c) Sommerregen . .	—	68 „	70 „	80 „

Um die Ergebnisse dieser Formeln miteinander vergleichen zu können, sind sie in obiger Tabelle für drei Temperaturen ausgerechnet, und zwar für $t = 6^{\circ}$ (Gobi, Dakota), $t = 16^{\circ}$ (Mittelmeer, Oklahoma) und $t = 26^{\circ}$ (Sahara, Mittelamerika). Für $t = 16^{\circ}$ sind sie wenig voneinander verschieden; wie man sieht,

habe ich aber den Einfluß der Temperatur zunehmend gesteigert, vielleicht allzusehr.

In der ersten Auflage meines Grundrisses der Klimakunde (1923) habe ich mich an die Formel von 1922 gehalten, in der zweiten Auflage (1931) an diejenige von 1928 und überhaupt seit 1928 mich für die Erkennung der B-Gebiete der bequemen graphischen Darstellung bedient, die zuerst in der Wandkarte [3] erschienen und unten in Fig. 13 wiedergegeben ist.

Daß die Wirkung einer bestimmten Regenmenge auf Bodenfeuchte und Pflanzenwuchs von vielen Umständen abhängt, unter denen die Verdunstung am meisten große geographische Züge zeigt, ist längst erkannt; Versuche, durch eine Korrektur der Regenmenge nach der Temperatur zu bezeichnenderen Ausdrücken zu kommen, sind in neuerer Zeit von mehreren Seiten gemacht worden. Um nützlich verwendbar zu sein, müssen sie sowohl einfach als treffend sein, d. h. den wichtigsten Unterschied, den zwischen Baum-, Steppen- und Wüstenklimaten, richtig ausdrücken.

Der einfachste dieser Ausdrücke ist der von R. LANG vorgeschlagene „Regenfaktor“: jährliche Regenmenge in mm, dividiert durch die Jahrestemperatur in °C. Daß dieser Ausdruck ganz ungenügend ist, kann man leicht aus der mit dessen Hilfe entworfenen „Isonotiden-Karte“ von P. HIRTH in *Peterm. Mitt.* 1926 ersehen, nach der die Steppen Südrußlands feuchter sein sollen als die baumbestandenen Landschaften Griechenlands und Italiens. Der Ausdruck gibt der Temperatur einen übergroßen Einfluß und nimmt, was noch wichtiger ist, keine Rücksicht auf die Jahreszeit, in der die Niederschläge fallen. Ungefähr gleichzeitig und ohne Kenntnis voneinander haben H. DE MARTONNE¹⁾ und ich unter sich recht ähnliche Ausdrücke aufgestellt, nur setzt sich MARTONNE ein weitergehendes Ziel als ich, da er die Einführung der neuen Größe für die einzelnen Monate und alle Klimate sowie deren kartographische Darstellung vorschlägt, während ich mich mit ihrer Anwendung zur Abgrenzung der Steppen- und Wüstenklimate von den übrigen und unter sich begnüge. Den weitergehenden Vorschlag, den ich 1919 (s. [14]) gemacht habe, nehme ich als unpraktisch zurück.

Wenn man auf die Jahreszeit, in der die Regen fallen, keine Rücksicht nimmt, so stellen sich die verschiedenen Formeln so: Nach meinem Vorschlag von 1928 ist an der Grenze von B- gegen A-, C- und D-Klimate $\frac{r}{t+7} = 2$, an der Grenze von BW gegen BS ist $\frac{r}{t+7} = 1$. Dagegen ist der „indice d'aridité“ von H. DE MARTONNE allgemein $i = \frac{10r}{t+10}$ und der „Regenfaktor“ von LANG $f = \frac{10r}{t}$, r in cm gemessen.

Wenn man, wie MARTONNE es empfiehlt, seine Berechnung auf die einzelnen Monate anwendet und dann deren Mittel nimmt, so ist damit auch die notwendige Berücksichtigung der Jahreszeit erreicht, freilich durch sehr umständliche Rechnungen.

Um die Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsweisen zu vergleichen, wollen wir ein extremes, aber doch nicht zu weit von den wirklich (in BS-Gebieten) vorkommenden Größen liegendes Beispiel nehmen, statt der Monate aber in sich gleichmäßige Halbjahre, die wir „Winter“ und „Sommer“ nennen.

Sei $r = 30$ cm, $t = 16^{\circ}$, t_w und t_s die Temperatur des Winters und des Sommers, und zwar $t_w = 6^{\circ}$ C, $t_s = 26^{\circ}$ C, so ergeben die Formeln folgende

1) H. DE MARTONNE, Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. *La Météorologie*, Oct. 1926, S. 449.

Werte, wenn die 30 cm 1. nur im Sommerhalbjahr, 2. gleichmäßig in beiden Halbjahren, 3. nur im Winterhalbjahr fallen:

Regen	a) MARTONNE nach den Jahreswerten	b) MARTONNE nach den Halbjahren	c) KÖPPEN (verzehnfacht)	d) LANG
1. Sommerregen	$300/26=11.5$	$0+300/36=8.3$	$300/30=10.0$	$300/16=18.8$
2. Gleichmäßig verteilt. . .	$300/26=11.5$	$150/16+150/36=13.8$	$300/23=13.0$	$300/16=18.8$
3. Winterregen	$300/26=11.5$	$300/16+0=18.8$	$300/16=18.8$	$300/16=18.8$

Wie man sieht, gibt hier die einfache, aus der Fig. 13 (S. 42) schnell und sicher abzugreifende Rechnungsweise c sehr nahe dasselbe Ergebnis, wie die umständliche Berechnung b aus den 12 Monaten ergeben würde, und da die Natur der Aufgabe doch keine Exaktheit erreichen läßt, so empfehle ich öftere Anwendung der Methode c, während ich a und d überhaupt nicht empfehlen kann. Als untere Grenze der zu berücksichtigenden jährlichen Temperaturschwankung ist etwa 10° zu wählen. Als Klimate mit „Sommerregen“ sind dabei nur solche zu nehmen, wo der Bruch $r/t + 7$ in der warmen Jahreszeit größer als in der kalten ist¹⁾, was z. B. in Deutschland nicht der Fall ist, wohl aber in China usw. Es ist illusorisch, hier eine größere Genauigkeit erzielen zu wollen, besonders wegen der Unbestimmtheit der Begriffsfassung bei Minustemperaturen und Schneedecke.

Bei dem gewählten Beispiel fällt der Ort, wenn er Sommerregen hat, an die Grenze des BS- gegen BW-Klima, wenn er Winterregen hat dagegen an die Grenze von BS- gegen C- oder D-Klimate.

Eine Berechnung des Trockenheitsindex von MARTONNE für viele deutsche Orte hat kürzlich E. REICHEL durchgeführt (Jahresbericht des Preuß. Met. Inst. für 1928).

Im jetzigen Beobachtungsnetz der Erde finden sich keine ständigen Stationen, die gleichzeitig den Temperaturbedingungen für E und den Niederschlagsbedingungen für B entsprechen würden; und in der Tat finden sich jetzt im Tiefland überall die Steppen von den Tundren durch einen Streifen mit Wäldern getrennt. In den Hochländern Asiens, vielleicht auch Amerikas und Afrikas, dürfte es aber Gebiete geben, wo Wüstenklima direkt in „Schneeklima“ übergeht, das wir dann mit EB bezeichnen können. Im Eiszeitalter, wo die Ränder des Inlandeises nicht (wie jetzt überall) an den Rändern, sondern weit im Innern der Festländer lagen, scheint solches EB-Klima auch im Tieflande, nach der Pflanzen- und Tierwelt zu schließen, weite Strecken eingenommen zu haben.

Zwischen die beständig trockenen und beständig feuchten Gebiete der Erde schieben sich weite Räume mit periodischen Regen- und Trockenzeiten ein. Auch für deren Erkennung habe ich in meinen älteren Arbeiten die Regenhäufigkeit benutzt, besonders um auch die Ozeane in die Untersuchung einbeziehen zu können; und zwar habe ich auch hier die Zahl von 6 Tagen mit Regen im Monat als Trockenheitsschwelle genommen. So habe ich es in meinen Beiträgen zu den Atlanten der Seewarte und zu den meteorologischen Atlanten von HANN und von BARTHOLOMEW getan und halte ich es auch bei Weltkarten für das zweckmäßigste, um auch die Ozeane hinzuziehen zu können. Später habe ich die auf den Festländern so reichlich vorliegenden Regenmessungen benutzt, mußte aber hier für die tropischen und die außertropischen Länder verschiedene Merkmale anwenden wegen der jährlichen Temperaturschwankung in den letzteren. In den Tropen ist die hervorragendste Äußerung des Klimaunterschieds der Urwald in den beständig feuchten und die Savane nebst laubabwerfenden Bäumen in den

1) Also wenn die Regenmengen r nach der warmen Zeit hin weniger wachsen als die Temperaturen $t + 7^{\circ}$.

periodisch trockenen Klimaten. Aber in manchen urwaldtragenden Gegenden, wie z. B. an der Malabar-Küste, finden wir doch auch regelmäßig sehr regenarme Monate. In solchen Gegenden fallen während der übrigen Monate besonders große Regenmengen, und man muß annehmen, daß dadurch die tieferen Bodenschichten auch während der Trockenzeit Feuchtigkeit behalten. Auch zeigt es sich, daß in solchen „Urwaldklimaten trotz Trockenzeit“ die letztere um so ausgeprägter sein kann, je größer die jährliche Regenmenge ist. Als Maß für die Ausprägung der Trockenzeit wäre wohl deren Dauer am geeignetsten, der Einfachheit wegen nehme ich aber jetzt die fast ebenso geeignete mittlere Regenmenge des trockensten Monats dafür: die Grenze dieses Mischklimas *Am* gegen *Aw* und *As* ist

bei der Jahresmenge	1000	1500	2000	2500	mm
die Menge im regenärmsten Monat	60	40	20	0	„

Beträgt die mittlere Regenmenge im regenärmsten Monat mehr als 60 mm, so bezeichne ich das Klima als anhaltend feuchtes Äquatorialklima *Af*. Eine anschauliche Darstellung dafür findet man auf S. 43, Fig. 14.

In Klimaten mit kühler Jahreszeit muß man einen anderen Weg einschlagen, weil hier die Periodizität der Niederschläge geringer, dafür aber ihr Verhältnis zur Temperatur entscheidend ist. Um auch hier sehr einfache Merkmale zu haben, nehmen wir das Verhältnis der Niederschlagsmenge im niederschlagsreichsten Monat der wärmeren oder kälteren Jahreszeit zu der des niederschlagsärmsten der anderen Jahreshälfte. Bringt der trockenste Monat der kälteren Jahreszeit mindestens zehnmal weniger als der nässeste der wärmeren, so rechnen wir das Gebiet als „wintertrocken“, *Cw* bzw. *Dw*. Wegen der stärkeren Verdunstung im Sommer nennen wir es aber schon „sommertrocken“, *Cs* (*Ds* kommt kaum vor), wenn der nässeste Monat der kälteren Jahreszeit mehr als das Dreifache vom trockensten der wärmeren bringt, doch mit einer gleich zu nennenden Ausnahme. Ist der Unterschied zwischen den Monaten geringer, so bezeichnen wir das Klima als *Cf* bzw. *Df*. Da wir aber an den Westküsten von Nord- und Südamerika in höheren Breiten Gegenden sehr großen, vor allem winterlichen Regenreichtums finden, für die der Ausdruck „sommertrocken“ nicht mehr zutreffen würde, obwohl das erwähnte Verhältnis > 3 ist, so setzen wir für *Cs* noch die Forderung hinzu, daß der trockenste Monat des Sommerhalbjahrs weniger als 30 mm Regen bringe und bezeichnen jene regenreichen Klimate mit *Cfs*.

Mit Recht unterschied A. SCHIMPER (Pflanzengeographie, Jena 1898) zwischen physikalischer und physiologischer Trockenheit; auch ein sehr nasses Substrat ist für die Pflanze trocken, wenn sie ihm kein Wasser zu entnehmen vermag. Xerophyten entsprechen physiologischer Trockenheit, Hygrophyten physiologischer Feuchtigkeit. Eine dritte Klasse sind die auf den Wechsel eingerichteten Tropophyten mit periodischem Laubfall: die Struktur der perennierenden Teile ist bei ihnen xerophil, die der nur während der physiologisch nassen Jahreszeit vorhandenen hygrophil. Das sind die Pflanzen mit Trockenruhe in den tropischen und Kälteruhe in der gemäßigten Zonen. Physiologische Trockenheit und xerophile Struktur werden bedingt teils durch Behinderung der Wasseraufnahme aus dem Boden durch dessen Trockenheit, Kälte, Reichtum an Salzen oder Säuren, teils durch verstärkte Verdunstung infolge Trockenheit, Wärme oder Verdünnung der Luft.

Xerophile Struktur äußert sich an den Pflanzen in allerlei Zügen und Pflanzen aus ganz verschiedenen Verwandtschaftskreisen nehmen dabei ähnliche Gestalten an: den Agaven, Kakteen und Wollbäumen Amerikas entsprechen auffallend die Aloen, Euphorbien und Baobab Afrikas in äußerer Form und innerem Bau.

6. Vorschläge zur Fortbildung dieser Klassifikation

In den letzten Jahren sind in Nordamerika mehrere Arbeiten über die Klassifikation der Klimate entstanden, nachdem 1919 R. DE C. WARD [16] und 1926 J. B. LEIGHLY [17] ihre Landsleute mit meinen Versuchen bekannt gemacht hatten. Darauf hat 1926 und 1932 R. J. RUSSELL [18] die Klimate der Vereinigten Staaten und 1931 und 1933 C. W. THORNTWHAITE [19] diese und die der ganzen Erde in dieser Richtung bearbeitet mit neuen Vorschlägen, die wir hier besprechen müssen. Alle vier Abhandlungen sind von Karten begleitet.

In der Arbeit über Californien fügt RUSSELL meiner Karte drei neue Klimate als Unterabteilungen hinzu: Csn auf einem nur etwa 6 km breiten Küstenstreifen, nordwärts von Esteros Point an, und ein ähnlich nebelreiches BWn bei San Diego, sowie ein Klima BWhh in der Colorado-Wüste mit durchschnittlichen Temperaturmaxima über $100^{\circ}\text{F} = 38^{\circ}\text{C}$ in drei Monaten (BWn entspricht meinem Garúa-Klima an anderen Küsten, und die Nebel scheinen in ihm und im Csn-Streifen ebenso nässend zu sein wie bei Lima und bei Kapstadt).

In seiner zweiten Arbeit führt RUSSELL eine sehr dankenswerte Untersuchung aus über die Anwendung meiner älteren und neueren Definitionen der BW- und BS-Klimate auf die Trockengebiete der Vereinigten Staaten, die er durch zahlreiche Reisen persönlich kennengelernt hat. Er findet unter Heranziehung einer ganzen Zahl von meteorologischen Stationen, daß meine Definitionen von 1922 (vgl. oben, S. 19) den Vegetationsverhältnissen besser entsprechen als die neueren von 1928, die auch diesem Handbuch zugrunde gelegt sind. Wenn sich, wie sehr möglich ist, dieses auch in anderen Teilen der Erde bestätigt, so wird es ratsam sein, die Definitionen entsprechend wieder zu ändern, vielleicht einem Mittelweg zwischen diesen beiden entsprechend (etwa $1,4\text{ t} + 20$ für die äußere Trockengrenze bei geringem Unterschied der Jahreszeiten). Denn auf S. 14 seiner Arbeit erklärt RUSSELL, daß die Änderung von 1928 gegen 1922 in der richtigen Richtung nur viel zu weitgehend sei. Für dieses Handbuch kommt diese Änderung nicht mehr in Betracht, weil sie das Wichtigste, die Vergleichbarkeit seiner Angaben für verschiedene Länder, beeinträchtigen würde.

Für die C/D-Grenze zieht RUSSELL die Januartemperatur von 0° der von mir gewählten -3° vor und wünscht diese auch als Grenze zwischen heißen und kalten Trockenklimaten h/k einzuhalten, für die ich eine Jahrestemperatur von 18° vorschlage. Ich ziehe meine Grenzen aus folgenden Gründen vor: eine regelmäßige winterliche Schneedecke stellt sich nicht schon bei Januartemperaturen $< 0^{\circ}$, sondern erst bei solchen $< \text{etwa } -3^{\circ}$ ein, wie auch PENCK angibt, und da ich für Trockenklimate (außer für deren Oasen) die feinere Gliederung nach den Temperaturen des kältesten und des wärmsten Monats überhaupt für entbehrlich halte, wähle ich statt beider eine Jahrestemperatur. Interessiert man sich für den Pflanzenbau in Oasen, so ziehe man die Temperaturgliederung der feuchten Klimate hinzu.

Noch eingehender studiert diese Fragen C. W. THORNTWHAITE in den beiden Abhandlungen [19]. Auch er geht zunächst von meiner Klassifikation aus; er verfolgt aber meine Gedankengänge weiter und gelangt dabei zu so komplizierten Formeln, daß deren allgemeinere Anwendung wohl kaum zu erwarten ist. Um so weniger, als dabei die großen Züge im System der Klimate ziemlich verlorengehen. Doch ist der Versuch einer solchen strengeren Begründung der Klassifikation und noch weitergehender Vermeidung des gefühls-

mäßigen Urteils jedenfalls sehr verdienstlich, auch wenn er praktisch nicht zu Zweckmäßigem führt.

Von 4—12jährigen Verdunstungsmessungen für die Monate April bis September an 21 Stationen der Vereinigten Staaten ausgehend, ermittelt THORNTHWAITE zunächst das Verhältnis zwischen Niederschlag und Verdunstung („P/E ratio“) und ordnet dies für fünf Gruppen von $P/E = 0.1$ bis $P/E = 1.3$ nach der mittleren Monatstemperatur in Graden Fahrenheit. So gelangt er zu einem Ausdruck, welcher an Stelle der Verdunstung die Lufttemperatur zu setzen gestattet, nämlich $P/E = 11.5 (P/T - 10)^{10/9}$. Indem er diese Größe für die einzelnen Monate berechnet, für die 12 Monate addiert und mit 10 multipliziert, erhält er den „Index der Niederschlagswirksamkeit“ (precipitation effectiveness index) I, den er so formuliert:

$$I = \sum_{n=1}^{12} \cdot 11.5 \cdot \left[\frac{P}{T-10} \right]_n^{10}$$

P in englischen Zollen, T in Graden Fahrenheit.

„The computation of the P/E index by means of the formula is a laborious process“; er ist deshalb mit einem Nomogramm und einer mechanischen Vorrichtung vorgegangen, die er abbildet. Durch Vergleich mit der Vegetation ist er zu fünf Feuchtigkeitsstufen gelangt:

Charakteristische Vegetation . . .	A (Wet) Rain forest	B (Humid) Forest	C (Sub-humid) Grassland	D (Semi-arid) Steppe	E (Arid) Desert
P/E Index	≥ 128	64—127	32—63	16—31	< 16

Durch den Vergleich an drei Orten der Vereinigten Staaten findet THORNTHWAITE den P/E-Index in guter Übereinstimmung mit den Zuwachsgrößen.

In ähnlicher Weise verwandelt er — unnötigerweise — auch die Temperaturangaben in „Temperature Efficiency“, deren er sechs Grade unterscheidet:

	A' Tropical	B' Meso-thermal	C' Micro-thermal	D' Taiga ¹⁾	E' Tundra	F' Perpetual frost
Temperature Efficiency	≥ 128	64—127	32—63	16—31	1—15	0

Endlich findet er es, wie auch ich, nötig, auch den Jahresgang der Niederschläge zu berücksichtigen, und zwar r = Regen in allen Jahreszeiten, s = Trockenzeit im Sommer, w (und w') = Trockenzeit im Winter, d = Regen spärlich in allen Jahreszeiten. Abweichend von mir aber will er diese drei entscheidenden Elemente nicht zu Haupttypen und Unterabteilungen verschmelzen, sondern unabhängig voneinander durchführen und die ersten beiden durch gleichwertige Symbole bezeichnen — theoretisch richtig, aber praktisch, wenigstens für mich, zum Verlust aller Übersicht führend. Freilich verzichtet THORNTHWAITE auf einen großen Teil der möglichen 120 Kombinationen und begnügt sich mit 32, die er mit AA'r, AB'r, AC'r . . . EC'd, nur die letzten mit den Einzelbuchstaben D', E', F' bezeichnet. Vielleicht würde das Bild auch klarer, wenn er für die sechs Temperaturstufen A', B', C' . . . F' andere Zeichen gewählt hätte. Vergleicht man die Karten Fig. 48 und 49 auf S. J187 und J194 dieses Handbuchs

1) Taigá wird der Nadelholz-Urwald in Sibirien genannt.

miteinander, so wird man sehen, daß die von THORNTWAITE gezogenen Trockengrenzen vom P/E-Index 16 und 32 den Grenzen meines Wüsten- und Steppenklimas sehr ähnlich sind, nur etwas weiter nach der feuchten Seite verschoben und im Detail, wegen größerer Materialkenntnis, wohl genauer sind.

Überhaupt sind die räumlichen Gegensätze in den Niederschlagsmengen so groß, daß mäßige Änderungen an der Definition der Grenzen die größeren Züge des Bildes nicht verändern, und auf diese kommt es hauptsächlich an.

7. Charakteristik der 11 Hauptklimate, ihrer Nebenformen und Unterabteilungen

Die Hauptzüge dieser Klimate sind in Fig. 4 an ausgewählten Vertretern veranschaulicht, wie in der Wandkarte von KÖPPEN und GEIGER [3]. Die Lufttemperatur ist in den Diagrammen durch die Kurve der Monatsmittel, durch die mittleren tiefsten und höchsten in jedem Jahre vorkommenden Temperaturen und durch die tägliche Schwankung (Differenz der Angaben von Maximum- und Minimumthermometer) dargestellt, letztere nur in den Monaten der größten und kleinsten Schwankung. Die Niederschläge sind durch die mittleren Monatsmengen, die Zahl der Tage mit Niederschlag und die Bewölkung veranschaulicht, letztere beiden ebenfalls nur für die Monate ihrer extremen Werte und in der Kolumne eben dieser Monate. Bei den zwei der Südhalbkugel entnommenen Beispielen sind, um den Vergleich mit den übrigen nicht zu hindern, Januar mit Juli usw. vertauscht.

Die tropischen Regenklimate Af und Aw stimmen überein in der Höhe der Temperatur und der Abwesenheit einer kühlen Jahreszeit; ihr Unterschied liegt im Vorhandensein einer Trockenzeit im Savannenklimate Aw und in deren Fehlen im Urwaldklimate f.

Die Trockenklimate BS und BW unterscheiden sich durch das Maß der Trockenheit. Im Wüstenklimate BW ist in keinem Monat auf Regen zu rechnen, wenn auch in den meisten solcher Gegenden Regenfälle, sogar Regengüsse, als große Ausnahme vorkommen. Im Steppenklima BS ist hingegen eine, wenn auch nicht ergiebige, Regenzeit mit ziemlicher Sicherheit zu erwarten. In welcher Jahreszeit sie eintritt, gehört nicht zur Definition von BS, sondern wird durch Hinzufügung weiterer Zeichen kenntlich gemacht. Das Hauptmerkmal bleibt die Regenarmut.

Entsprechend der geringen Bewölkung sind die Strahlungswirkungen, so insbesondere der Temperaturunterschied zwischen Tag und Nacht, in den B-Klimaten sehr groß.

Bei den drei gemäßigt warmen Regenklimate, d. h. denen, die eine für mannigfaltige Kulturen ausreichende Regenmenge haben, ist die Jahreszeit der Regen- und Wolkenarmut von entscheidender Bedeutung; solche Trockenzeit fehlt in Cf, sie fällt in Cw auf den Winter, in Cs auf den Sommer.

In der Zeit vor dem Eintritt der sommerlichen Regen ist im Cw-Klima die tägliche Temperaturschwankung sehr stark und erreichen die Temperaturmaxima so hohe Werte wie in den B-Klimaten. Der Temperaturunterschied zwischen Winter und Sommer ist in den C-Klimaten nur mäßig, in Cw wegen der niedrigen geographischen Breite, in Cs und Cf weil dies überwiegend ozeanische, meist Westküstenklimate sind. Nur in der Umgebung des Mittelmeeres und an den östlich sich anschließenden Gebirgen dringt das Cs-Klima weit ins Innere des Festlandes ein, in geringerem Grade auch im Oregontal; in beiden Fällen unter Verschiebung der Regenzeit zum Frühling hin, während in dessen oze-

anischen Teilen Herbstregen vorherrschen. Charakteristisch für manche Gebiete des Cw-Klimas (Hindustan, Mexiko, Südafrika) ist das Auftreten der höchsten Temperatur vor dem Eintritt der sommerlichen Regenzeit.

Von den A-Klimaten unterscheiden sich die C-Klimate durch den Besitz einer kühlen Jahreszeit mit mindestens einem Monat von $< 18^{\circ}$ Mitteltemperatur, was sie bewohnbarer für die weiße Rasse macht. In den Regenverhält-

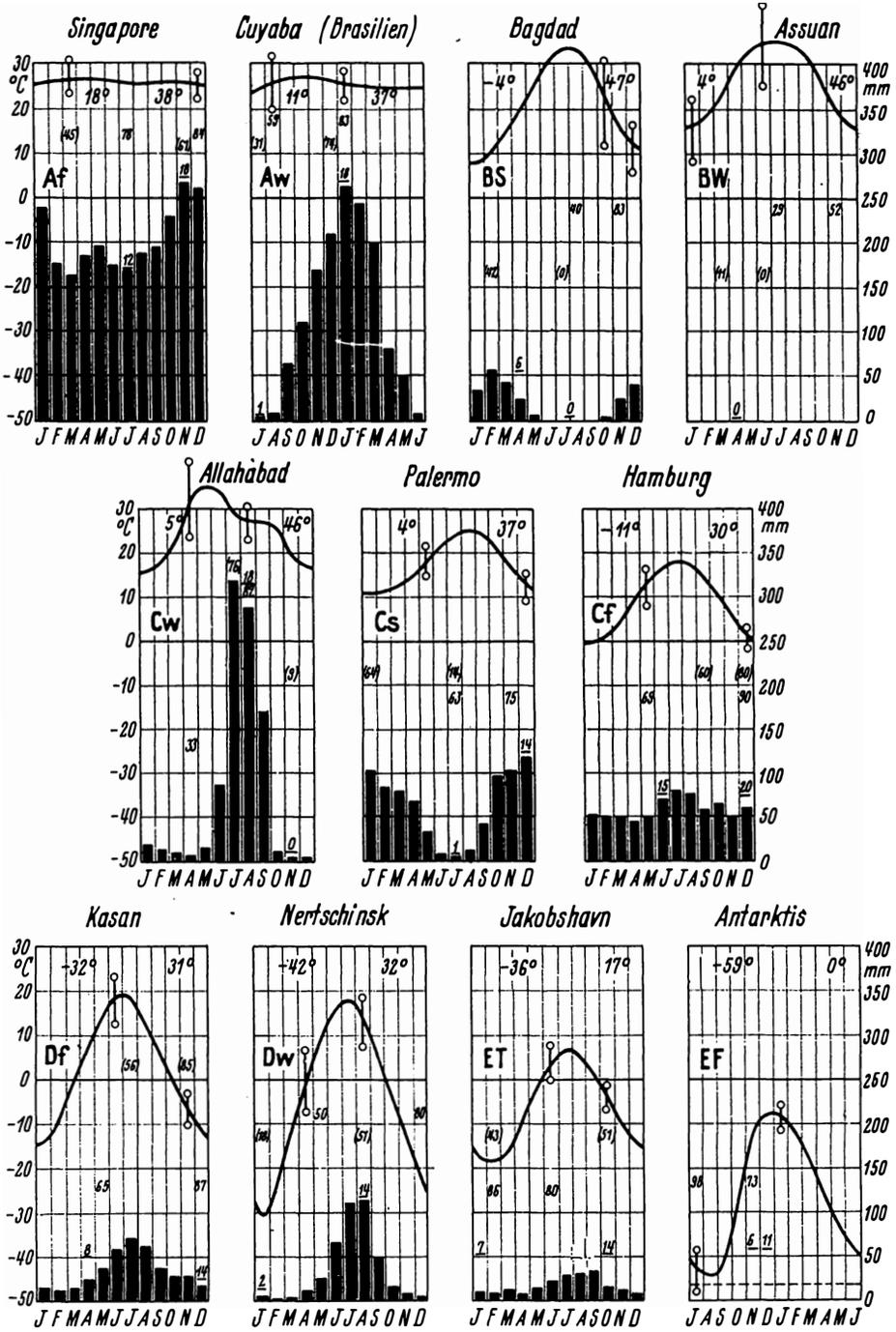


Fig. 4. Die 11 Hauptklimate, in Vertretern dargestellt. Kurven: Monatsmittel der Lufttemperatur. Treppen: Monatsmittel des Niederschlags. Obere Ziffern: Mittlere Jahresextreme der Lufttemperatur. Untere Ziffern: Höchstes und niedrigstes Monatsmittel, und zwar kursiv: das der relativen Feuchtigkeit; in Klammern: das der Bewölkung; unterstrichen: das der Zahl der Tage mit Niederschlag. Vertikalstriche: tägliche Temperaturschwankung. Unten: Anfangsbuchstaben der Monatsnamen.

nissen stimmt aber das Cw-Klima mit dem angrenzenden Aw-Klima überein, von dem es auch früher gewöhnlich nicht unterschieden wurde. Dagegen sind die Cs- und Cf-Gebiete von den A-Gebieten im Westen und im Innern der Kontinente durch Trockengebiete mit B-Klimaten räumlich geschieden.

Frost und Schneefall sind zwar in den C-Klimaten, außer in ihren wärmsten Teilen, nicht unbekannt, aber doch nur Ausnahmereischeinungen. Eine regelmäßige winterliche Schneedecke mit Schlittenfahrt als ständigem Zubehör jedes Winters finden wir erst in den D-Klimaten. Als Abgrenzung dieser von den C-Klimaten kann man eine Mitteltemperatur des kältesten Monats von -3° nehmen.

Da für die sommerkühle (b-)Stufe der Cf-Klimate die Buche ein sehr bezeichnender Charakterbaum ist, diese aber in Mitteleuropa etwas über die Januarisotherme -3° hinausgeht (vgl. Met. Z. 1926, S. 179), so habe ich in der von mir mit Dr. GEIGER herausgegebenen Wandkarte der Klimate statt dieser Isotherme die Andauer von vier Monaten einer Mitteltemperatur unter $+1^{\circ}$ als Grenze zwischen dem „Buchenklima“ Cfb und dem „Eichenklima“ Dfb genommen. Doch kehre ich für dieses Handbuch zu der ursprünglichen Definition zurück. Diese ergibt im Innern Nordamerikas ein merklich größeres Gebiet mit Klima Dfa, d. h. mit schneereichen Wintern und heißen Sommern, das in der alten Welt fehlt, aber charakteristisch ist („Sioux-Klima“).

Alle D-Klimate verbinden Sommer, die warm genug für Waldwuchs sind, mit Wintern, die regelmäßig Schneedecke mit sich führen; man kann sie nach diesem Merkmal Schnee-Waldklimate nennen. Solche gibt es nur auf der kontinentaleren nördlichen Halbkugel, denn wo auf der südlichen die Mitteltemperatur des kältesten Monats unter -3° sinkt, da ist auch die des wärmsten unter $+10^{\circ}$, so daß dort die C-Klimate unmittelbar an die baumlosen E-Klimate grenzen. Auf der Nordhalbkugel ist dies nur auf Island und einigen Gebirgen der Fall.

Während unter den warm gemäßigten C-Klimaten die maritimen mit Winterregen und sommerlicher Trockenheit (Cs) eine wesentliche Rolle spielen, fehlt eine solche Form in den überwiegend kontinentalen D-Klimaten so gut wie ganz¹⁾. Neben Df-Klimaten mit genügenden Niederschlägen zu allen Jahreszeiten sind hier nur Dw-Klimate mit strahlungsreichen, niederschlagsarmen Wintern entwickelt, und das nur in Ostasien. In Nordamerika finden wir zwar Andeutungen, aber keine typische Ausbildung dieser Form. Die größten jährlichen Temperaturamplituden finden sich in diesem Gebiet in Ostsibirien. In den Dw-Klimaten ist nicht nur, wie auch in den meisten Df-Klimaten, die Niederschlagsmenge, sondern auch die Bewölkung im Winter kleiner als im Sommer.

Je weiter nach Norden, um so kürzer wird die Vegetationszeit. Wo die Mitteltemperatur des wärmsten Monats unter etwa 10° C sinkt, wachsen keine hochstämmigen Bäume mehr, aber Kriechformen derselben oder verwandter Baumgeschlechter gehen noch bedeutend weiter. In ihren dichten Polstern erreicht eben die Temperatur bei Sonnenschein erheblich höhere Temperaturen als in der freien Luft darüber. Nur in beschränkten Gebieten gehen Bäume etwas über diese Grenze hinaus, und zwar sowohl im extrem ozeanischen Klima am Kap Horn, als im relativ kontinentalen der Zentralalpen. Dabei sind die Baumarten, welche die Baumgrenze bilden, sehr verschieden, in ozeanischen Klimaten Laubbäume, in kontinentalen Koniferen.

Wie bei den Trockenklimaten B, können wir auch bei den Eisklimaten E eine extreme und eine Übergangsstufe unterscheiden: wie dort die Wüsten BW von den Steppen BS, so hier die Klimate ewigen Frostes — Kältewüsten — EF

1) Unter den Stationen in den Tabellen dieses Handbuchs zeigt sich Ds-Klima nur in Oregon (Teil J, Tab. 1, Nr. 169, 211, 212).

von den Tundrenklimaten ET, den zwar baumlosen, aber doch im kurzen Sommer auf dem Lande von Pflanzen- und reichem Tierleben bevölkerten Gebieten; auf und in den Meeren hält sich letzteres im ganzen Jahr. Dagegen herrscht im Klima EF Kältetod nahezu absolut, während im Klima der Trockenwüste BW aus den Nachbargebieten kommendes Fluß- oder Grundwasser reiches Pflanzenleben hervorbringen kann, namentlich mit menschlicher Hilfe. Wegen der Zufuhr von Wasser im Boden durch Grundwasser oder künstliche Bewässerung ist eben B lange nicht so lebens- oder baumfeindlich wie E und vermögen B-Gebiete ohne Regen wegen ihres Reichtums an Sonnenschein und Nährsalzen oasenweise reichsten Pflanzenertrag zu liefern.

Die jahreszeitliche Verteilung der Niederschläge spielt in der Definition der B- und E-Klimate keine wesentliche Rolle. In dem für BS in Fig. 4 gewählten Beispiel fallen die schwachen Regen im Winter, in anderen BS-Gebieten in anderen Jahreszeiten; der entscheidende Zug ist ihre Spärlichkeit, und für E die Geringfügigkeit der Sommerwärme.

Diese 11 Haupttypen von Klimaten zeigen nun oft Abweichungen, die zwar die großen Züge nicht verwischen, aber doch ihren Definitionen nicht mehr ganz entsprechen und besondere Bezeichnungen verlangen. Ferner ist es wünschenswert, die Unterscheidung der Klimate etwas weiterzutreiben und innerhalb der 11 Haupttypen Unterabteilungen zu bilden. Es ist aber dabei zur größeren Klarheit zweckmäßig, gleiche Kennzeichen mit gleichen Buchstaben zu bezeichnen. Endlich empfiehlt es sich, besondere klimatische Züge, die in der Definition keinen Platz gefunden haben, nach Bedarf hinzufügen zu können. Wir wollen sie hier nacheinander kurz aufführen. Schlüssel und Diagramme zur näheren Bestimmung findet man am Ende dieses Teiles (S. 41).

A. Zwischen dem beständig feuchten Urwaldklima Af und dem periodisch trocknen Savannenklimate Aw vermittelt das Klima einiger Gegenden, die trotz scharf ausgeprägter kurzer Trockenzeiten Urwald tragen, weil die Regenarmut der letzteren ausgeglichen wird durch die gewaltige Größe der jährlichen Regenmenge, offenbar indem die tieferen Bodenschichten feucht bleiben (Am). In Indien und Oberguinea wird dies durch Monsunwechsel bedingt, in Südamerika zeigt es sich ohne solchen scharfen Windwechsel.

Durch Aw wird angedeutet, daß die Trockenzeit im Savannenklimate zumeist in der Zeit des Winters und Frühlings der betreffenden Halbkugel herrscht. Doch finden sich im Savannenklimate auch Ausnahmegebiete, wo die Trockenheit in anderen Monaten eintritt. Sie sind in ihren Kulturbedingungen nicht von den Aw-Gebieten unterschieden, weil in diesen Breiten, wo alle Monate ungefähr dieselbe Temperatur haben, es praktisch nicht so wichtig ist, in welchen Kalendermonaten die Regen fallen. Doch ist natürlich deren Kennzeichnung theoretisch sehr interessant. Fällt die Trockenzeit in den Sommer (der gemäßigten Breiten dieser Halbkugel), so setzen wir also bei genauerer Charakterisierung As, ist sie gegen den Spät- oder Frühherbst verschoben, w' oder s', tritt sie zweimal auf, so haben wir je nachdem, welche Regen- oder Trockenzeit die „große“ ist, w'', selten s'' zu setzen.

B. Steppen- und Wüstenklimate (BS und BW) sind zwei Stufen der Regenarmut, die als ihre Folge in Boden- und Pflanzenwuchs ungleiche Wirkungen aufweisen. Natürlich gibt es noch mehr Abstufungen; sie sind aber nicht durchgreifend genug, um eine allgemeine Einführung zu verlangen. Für BS-Klimate ist Lößbildung, für BW-Klimate Deflation charakteristisch.

Eine Gliederung der B-Klimate nach der Temperatur könnte zwar sehr wohl, wie in den Baumklimaten, nach den Stufen A, C, D, a, b, c vorgenommen werden,

aber das gäbe hier, wo Maß und Art des organischen Lebens weniger durch die Wärme als durch den Wassermangel bestimmt werden, eine unnötig große Komplikation. Für Oasen mag man sie immerhin anwenden. Ich unterscheide im übrigen hier nur zwischen heißen (*h*) und kalten (*k*) Trockenklimaten, und zwar nach dem 18^o-Jahresmittel (vgl. oben S. 23). Die für die B-Klimate charakteristischen Temperaturexzesse und starken Winde liegen bei den ersteren nach der Seite der Glutwinde — Samume, Khamsine —, bei den letzteren nach der der winterlichen Schneestürme — Burane, Purga, Blizzards. Doch gibt es, auf beschränkten Räumen, Trockenklimate mit kühlem Sommer als Ausnahme, wo auch die Mitteltemperatur des wärmsten Monats unter 18^o bleibt: Patagonien und Gebirge in Innerasien; diese Klimate mögen mit *Bk'* bezeichnet werden.

C und D. Da die Abgrenzung der C-Klimate nach oben und unten durch die Temperatur des kältesten Monats geschieht, so sind in ihnen Klimate mit sehr verschieden warmen Sommern vereinigt. Es ist daher eine Unterteilung nach der Temperatur der warmen Jahreszeit zweckmäßig, um das sommerheiße Klima der südlichen Vereinigten Staaten nicht mit den kühlen Sommern der Nordsceküsten zusammenzuwerfen. Um so mehr, als mit zunehmender geographischer Breite die Sommer entscheidender für die Pflanzenwelt werden als die Winter, die ein mit wachsender Winterkälte immer größerer Teil der Organismen in Erstarrung verbringt.

Die winterkalten D-Klimate sind überwiegend kontinental, die C-Klimate überwiegend ozeanisch. Wie in den deutschen Gebirgen nach Westen zu das Dfb-Klima dem limitierteren Cfc-Klima weicht, findet man in Bd. II, Seite M 109 des Handbuchs dargelegt.

E. Wie bei den B-Klimaten zwei Stufen der Trockenheit, so haben wir bei den E-Klimaten zwei Stufen der Kälte zu unterscheiden, die sich zur Organismenwelt wesentlich verschieden verhalten. Die Gebiete mit ET-Klima (Tundrenklima), wo die Mitteltemperatur des wärmsten Monats zwischen 10^o und 0^o liegt, sind baumlos, aber im Sommer belebt, die des EF-Klimas (Klima ewigen Frostes), wo sie unter 0^o bleibt, überhaupt ohne Leben. Man kann letzteres auch das Inlandeisklima nennen, da in ihm das feste Land mit Inlandeis bedeckt ist, dessen Ränder von hier in Gletschern ins ET-Klima abfließen, oder, wenn sie aufs benachbarte Meer gelangen, durch Auftrieb abbrechen und als Eisberge wegschwimmen.

Auf den Hochebenen Innerasiens — Tibet, Pamir — herrscht teilweise auch in der Region der den E-Klimaten entsprechenden Temperaturen solche Armut an Niederschlägen, daß man diese Klimate auch zur Kategorie B rechnen könnte. EB wäre eine passende Bezeichnung für diese (vgl. S. 21). In der Quartärperiode der Erde, als der Eisrand der damals weit größeren Inlandeise auf der Nordhalbkugel inmitten großer Festlandmassen lag (was jetzt nirgends der Fall ist), spielte dieses Klima eine viel größere Rolle.

Den Unterschied zwischen den Flachlandklimaten höherer und den Gebirgsklimaten niederer Breiten haben wir bis jetzt vernachlässigt, soweit er sich nicht in den Temperatur- und Regenverhältnissen ausspricht. Bei den E-Klimaten werden aber die Folgen des nach oben abnehmenden Luftdrucks und der vertikalen Luftbewegungen doch so fühlbar, daß wir gut tun, die letztgenannten Höhenklimate durch ein beigesetztes H als solche zu bezeichnen und ETH, EFH für diese zu schreiben. ETH können wir als Almenklima bezeichnen, da der Hauptbereich der Almenwirtschaft oberhalb der Baumgrenze liegt.

Weitere Zeichen, die zur Angabe besonderer Eigenheiten des Klimas beizufügen sich empfiehlt, sind folgende:

- abnorme Luftfeuchtigkeit: n, n', n'', n''' ;
- abnormer jährlicher Temperaturgang: g, g', g'' ;
- dessen Geringfügigkeit (Isothermie der Monate): i ;
- Besonderheit in Gang und Art der Niederschläge: x, x', x'' .

Die Wahl der Zeichen geschah, weil n zu Nebel führt, g vom Gangestal am meisten bekannt ist, und x , weil dessen Behandlung mir am meisten zu schaffen gemacht hat.

Das Verhalten der Luftfeuchtigkeit ist am eigenartigsten in den Trockengebieten. Während im Binnenlande die B-Klimate sich allgemein, wenigstens in den Tagesstunden, durch große Lufttrockenheit auszeichnen, finden wir in der Nähe der Wendekreise schmale (10—50 km breite) Küstenstreifen, die nahezu regenlos sind, in denen aber die Luft so feucht ist, daß mehr oder weniger dichte, sogar nässende Nebel häufig sind. Sie liegen stets an relativ kalten Meeresteilen (Peru, Südwestafrika) und die Lufttemperatur in ihnen liegt weit unter dem Mittel des betreffenden Breitenkreises (Bn, Garuaklima). Nach dem Binnenlande zu nimmt in diesen Ländern die Luftwärme rasch zu und die relative Feuchtigkeit sinkt bis auf sehr niedrige Werte, auch dort, wo das Land schnell ansteigt. Andere Küsten ähnlicher Lage zeigen verschiedene Abstufungen dieser Züge, zwar seltene Nebel, aber unsichtige Luft und hohe Luftfeuchtigkeit, und selbst wo die Hitze auf ihnen sehr groß und die Schwüle sehr drückend ist, ist die Lufttemperatur niedriger als in der benachbarten Inlandwüste. Wir können nach der Temperatur des wärmsten Monats die Stufen $> 24^{\circ}$ (Marokko und Kalifornien) als n' , $24—28^{\circ}$ (Nilmündungen, Tripolis) als n'' und $> 28^{\circ}$ (Massaua, Aden, Buschir, Maracaibo, La Guayra) als n''' unterscheiden. Und zwar ist die Luft in ihnen meistens im Sommer nicht, wie bei uns, trockener, sondern feuchter als im Winter. Auch im Trockengebiet am Indus erreicht die Luftfeuchtigkeit im Nordsommer ihren höchsten Wert, aber unter anderen Bedingungen, nämlich im SW-Monsum, mit spärlichen Regen nach der trockenen Hitze der Frühjahrsmonate. Dasselbe Zeichen n können wir aber auch beim Cf-Klima anwenden, wenn wir (mit Cfn) das Klima des Nebelwaldes angeben wollen, der in der mittleren Wolkenhöhe vieler tropischer Gebirge sich entwickelt. Von ihm sagt PASSARGE¹⁾: „In allen Gebirgen mit einer Regenwaldfußstufe entwickelt sich, wenn sie hoch genug sind, der Nebelwald . . . Im Durchschnitt beginnt der Nebelwald in weniger als 2000 m Mh, oft schon in 1500 m, zuweilen aber auch erst in 2400—3000 m. Auffallend tief liegt seine untere Grenze auf dem Isthmus von Panama, nämlich in 1000 m Mh . . . Die obere Grenze liegt meist zwischen 2500—3500 m Mh . . . Alles schimmelt in der feuchten Luft, und in den Hütten unterhält man Rauchfeuer . . . Der Reichtum an Flechten und Moosen ist äußerst bezeichnend, desgl. an Farnbüschen und Unterholz.“ Meteorologische Stationen in diesem Klima gibt es noch kaum.

Die jährliche Verteilung der Niederschläge zeigt dort, wo die Cs- und Cf-Klimate an B-Klimate grenzen, nicht selten eine Eigentümlichkeit, die auch von praktischer Bedeutung ist und nicht ohne Bezeichnung bleiben sollte (vgl. Met. Zeitschr. 1929, S. 121—126). Sie äußert sich teils durch (x) Regen im Frühsommer oder Frühling mit heiterem Spätsommer oder Herbst, teils durch (x') seltene, aber starke Regen zu allen Jahreszeiten, teils endlich durch (x'') zwei ziemlich gleichwertige Regenzeiten im Frühsommer und Spätherbst. Be-

1) Vergleichende Landschaftskunde, S. 356. Vgl. auch dieses Handbuch, Bd. II, Seite G 141.

sonders wichtig ist der x -Typus, den die amerikanischen Meteorologen als „Missouri-Typus“ für den wichtigsten in den Vereinigten Staaten erklären und der sich in Südrußland, Rumänien und Ungarn wiederfindet; seine Ausläufer kennt man auch in Deutschland als „Altweiber-“ und in der übrigen Union als „Indianer-Sommer“. Po-Ebene, Melbourne, Pt. Elizabeth liefern Beispiele von x'' , Uruguay und die angrenzenden Länder solche von x' . Aber auch das Cs-Klima zeigt dort, wo es weit ins Binnenland dringt, wie in Turkestan und Oregon, Hinneigung zum x -Typus durch Verspätung der Regenzeit bis in den Frühling.

In niederen Breiten, etwa zwischen 30° N und S, wo der jahreszeitliche Unterschied in der Sonnenhöhe noch nicht sehr groß ist, kann seine Wirkung auf die Jahresperiode der Lufttemperatur durch Nebeneinflüsse aufgehoben werden. So tritt in den mit einem g bezeichneten festländischen Klimaten die höchste Wärme statt einen Monat nach der Sommersonnwende schon etwas vor dieser, vor dem Eintritt der großen Regenzeit ein (vgl. in Fig. 4 Allahabad). Daß dabei das frühe Ende der heißesten Zeit beim Ausbruch des SW-Monsuns weniger durch die direkte Wirkung des Regens als durch die Herkunft dieses Monsuns vom kühleren Ozean und von der Winterhalbkugel der Erde bedingt ist, zeigt sich in Süd-Dekan und Ceylon, wo der Wärmegang auch an den Orten diesem Typus folgt, an denen im Juli die Regen schwächer sind als im Mai. Mit g' bezeichne ich ein Klima, wo, wie im westlichen Sudan und Oberguinea, noch dazu der kühlfte Monat auf die Sommersonnwende folgt, freilich bei sehr geringer jährlicher Temperaturschwankung.

Wo die Differenz zwischen den extremen Monaten unter 5° sinkt, empfiehlt es sich, dies durch ein zugesetztes i erkennbar zu machen, besonders, um ewig gleichtemperierte tropische Bergklimate von gemäßigten Klimaten der Ebenen höherer Breiten zu scheiden.

Wir sind so zu dem gekommen, was ich die Klimaformel nenne, die mit Ausnahme der ständigen beiden ersten Buchstaben nach Bedarf länger oder kürzer gefaßt werden kann. Sie soll in größter Kürze eine Beschreibung des Klimas nach seinen Hauptzügen geben und so die Unterschiede und die Verwandtschaft mit anderen Klimaten erkennen lassen. Man wird dieselbe in diesem Handbuch für alle Stationen der Tab. 1 jeweils an dem Fuße angegeben finden. Diagramme und Schlüssel zu ihrer Bestimmung gebe ich, zur Ergänzung des Obigen, am Ende dieses Teiles.

8. Die geographische Anordnung der Klimate und ihre Ursachen

Die beiden Hauptfaktoren im geographischen System der Klimate sind das Streben zur gürtelförmigen Anordnung von Temperatur und Luftdruck — eine Folge der Sonnenstrahlung und Erdumdrehung — und der Gegensatz zwischen Festland und Meer. Beide sind nach der Jahreszeit, infolge des spitzen Winkels zwischen Erdachse und Erdbahn-Ebene, verschieden.

Da sich im allgemeinen die Monatsmittel als durchaus brauchbare Größen für die Gewinnung bezeichnender Klimagrenzen erweisen, so liegt die Schwierigkeit, soweit diese Grenzen von der Temperatur her genommen sind, einzig nur darin, daß die Darstellung die gewöhnlichen, auf das Meeresniveau reduzierten Isothermen nicht ohne weiteres benutzen kann, da sie unbedingt auf die wirkliche Erdoberfläche sich beziehen muß. Man muß also, außer in völlig flachen Ländern und auf dem Meere, teils nach Isohypsen und Reduktion mit der wahrscheinlichen vertikalen Temperaturabnahme, teils nach den Einzelstationen,

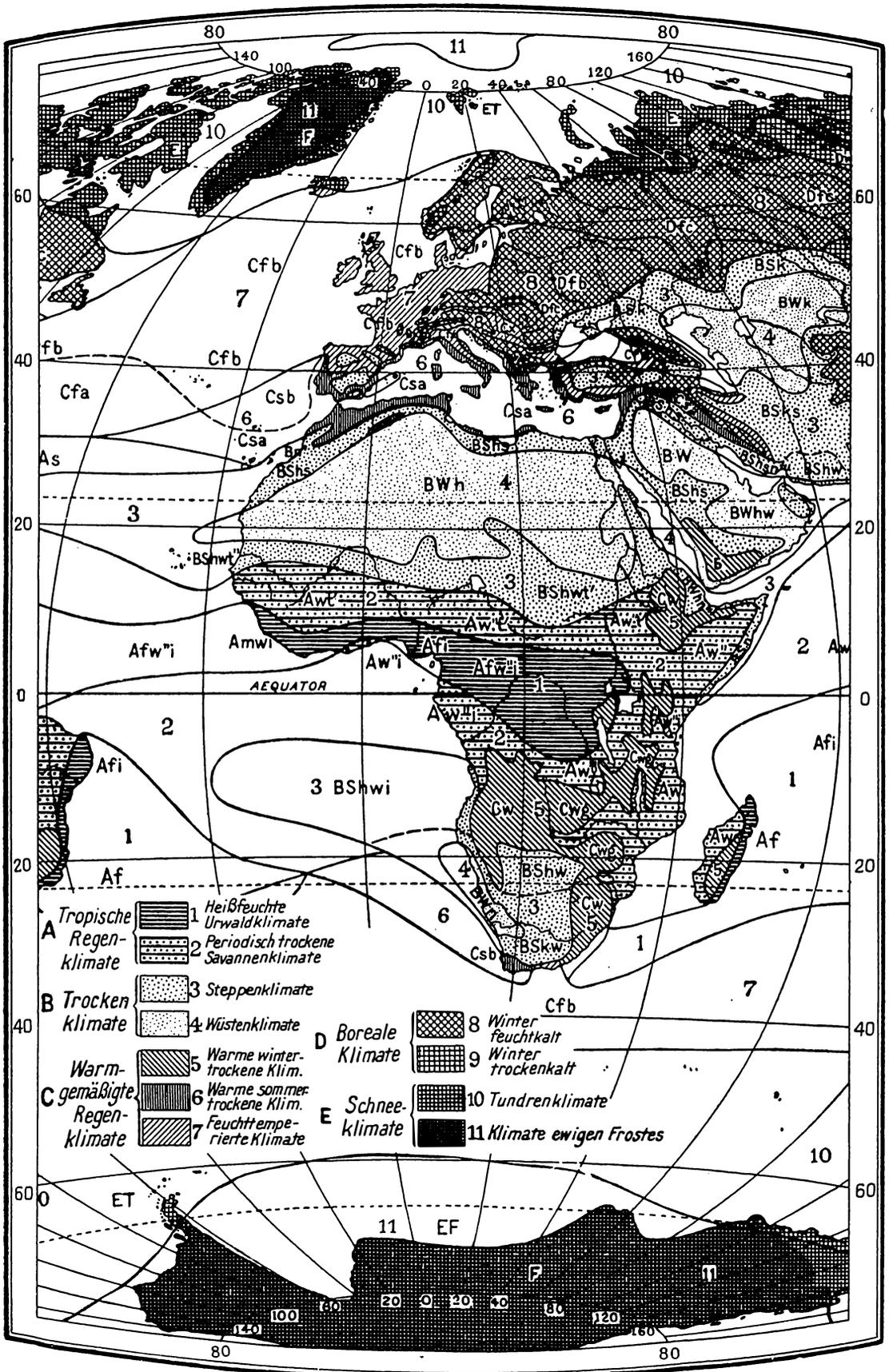


Fig. 5. Anordnung der Klimate im Meridianstreifen von Spitzbergen bis Antarktika

die Höhenlagen aufsuchen, wo das betreffende Temperaturmittel am Erdboden zu finden sein wird — eine zeitraubende, aber durchaus notwendige Operation.

So gewonnene farbige Weltkarten der Verteilung der Klimate nach meiner Klassifikation derselben findet man in [2] und [3] des Literaturverzeichnisses sowie in [1] nach einem früheren Stadium derselben. In diesem Handbuch findet man entsprechende Karten jeweils am Ende der regionalen Texte, vor den Tabellen der Bände 2 bis 5. Um etwas größeren Überblick zu gestatten, möge hier als Fig. 5 ein zum Format dieses Handbuchs passender Ausschnitt aus der schwarzweißen Wiedergabe der Karte aus [2] Platz finden, die in den Schriften der Amerikanischen Geographischen Gesellschaft [16] und nachher in der ersten Auflage meines Grundrisses der Klimakunde erschienen ist. Er zeigt die Anordnung der Klimate von Pol zu Pol in charakteristischer Weise.

Betrachten wir aufmerksam diese Weltkarten der Klimate, so erkennen wir leicht eine gesetzmäßige Orientierung der unterschiedenen Klimate nach der geographischen Breite und der Lage zu den Festländern, die aber durch deren verschiedene Größe und Form sowie die Gebirge vielfach abgewandelt ist. Die borealen Klimate fehlen auf der Südhalbkugel, das Klima 9 (Dw) ist sogar nur in Asien, der größten Landmasse, zu finden.

Denken wir uns einen idealen, von Pol zu Pol reichenden ebenen oder hügeligen Kontinent, der rechts und links von zwei Weltmeeren begrenzt sei; um der größeren Ozeanität der südlichen Halbkugel Rechnung zu tragen, lassen wir den Kontinent sich von 30° N an, wo er 90 Längengrade bedeckt, bis zu 60° S zuspitzen.

Fig. 6 veranschaulicht den aus der Weltkarte zu gewinnenden schematischen Verlauf der entscheidenden Isothermen und Trockenheitslinien. Bei den letzteren bedeutet α das Auftreten ausgesprochener periodischer Trockenzeiten, β die Grenze des Steppenklimas, γ die des Wüstenklimas.

Greifen wir nun aus den Linien dieser Figur, unter Hinzuziehung des Jahreslaufes als drittes Moment, die Stücke heraus, die nach dem oben Gesagten für die Klassifikation der Klimate in erster Linie brauchbar sind, so erhalten wir die auf Fig. 7 dargestellte typische Verteilung der 11 Hauptklimate auf unserem idealen Kontinent und den angrenzenden Meeren. In dieser Figur ist das Baumgebiet (PENCKS „humides Klimareich“) weiß gelassen und, in je zwei Abstufungen, das der Trockenklimate (B) punktiert, das der Eisklimate (E) gestrichelt dargestellt. Fig. 8 gibt sodann die nähere Ausführung des Schemas.

Diese Figuren suchen, innerhalb jeder Erdhalbkugel, das Übereinstimmende zwischen den Kontinenten durch eine Art Mittelbildung hervorzuheben. Je nach deren Größe ist freilich das Schema verschieden ausgebildet. Auf dem größten Festland Asien sind Dw und Cw stark entwickelt und ist Cf am Ostrand auf schmale Küstenstreifen zurückgedrängt; im kleineren Nordamerika dagegen fehlt Dw und nehmen Cf und Df einen großen Raum auf der Ostseite des Festlandes ein; Cf ist eben ein überwiegend ozeanisches, Dw ein durchaus kontinentales Klima (vgl. S. J193 dieses Buches). Cw erreicht in Asien, Afrika und Australien die Ostküste des Festlandes, in Nord- und Südamerika aber nicht.

Die Verwendung dieses — von ungarischen Studenten scherzweise „die Rübe“ getauften — Diagramms im akademischen Unterricht haben die Professoren F. LINKE und P. Graf TELEKI im J. 1931 [25] sehr günstig besprochen, ersterer vom meteorologischen, letzterer vom politisch-ökonomischen Standpunkt.

Als Ausnahmerecheinungen nicht zur Darstellung gekommen in diesem Schema sind das Hinüberreichen des Trockengebiets bis an eine Ostküste in

Patagonien und im Nordwesten des Indischen Ozeans sowie die n'' - und n''' -Klimate an Binnenmeeren, während Bn (Feuchtluftwüste) bzw. n' an der Westküste als normal eingetragen ist; anomal tritt es auch an der Somali-, Venezuela-, Yukatan- und sogar Togoküste auf, anscheinend überall als Begleiter von aufquellendem kaltem Tiefenwasser. Die Übergangsklimate mit X-Charakter gruppieren sich um das x in der Mitte des nördlichen Festlandes. Gebirgsklimate, wie z. B. Cfi, konnten natürlich in Fig. 8 nicht aufgenommen werden.

Die wichtigsten übrigen Klimate wiederholen sich in den analogen Lagen aller Weltteile, wenn auch in verschiedener Ausdehnung. Von einer im allgemeinen etwas nördlich vom Äquator laufenden Linie (dem meteorologischen Äquator)

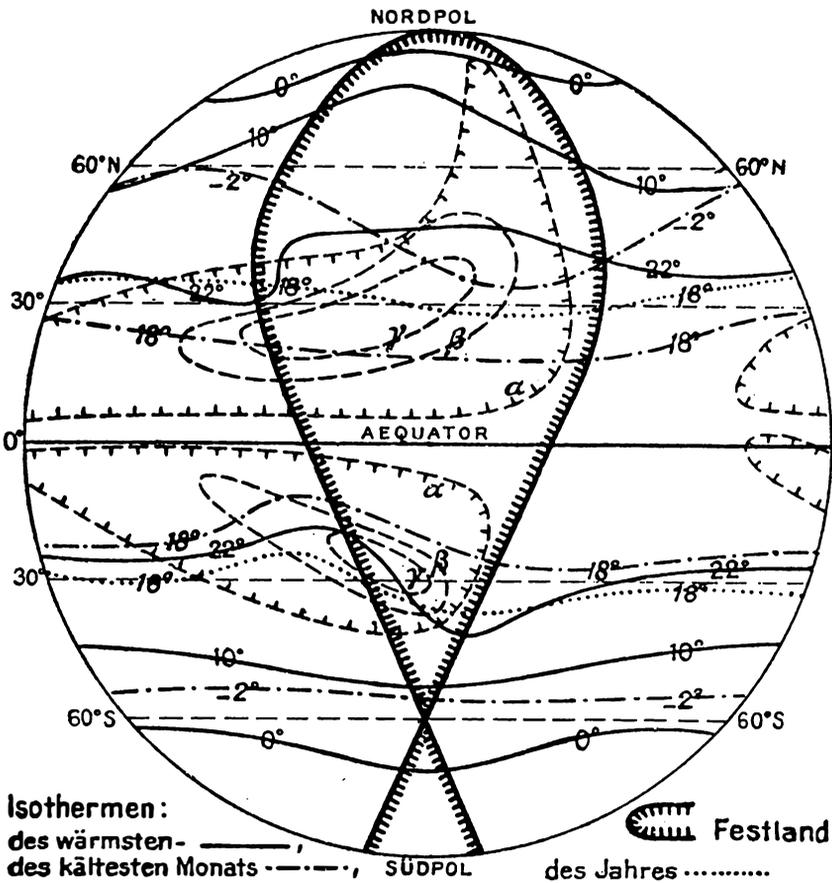


Fig. 6. Das Klimaschema: Entscheidende Isothermen und Trockenheitslinien¹⁾

ordnen sich nach beiden Polen hin die Klimate in folgender Reihenfolge: an den Westküsten der Kontinente 1 Af, 2 Aw, 3 BSw, 4 BW, 3 BSs, 6 Cs, 7 Cf, 8 Df, 10 ET, im östlichen Innern aber, längs der Ostküste, 1 Af, 2 Aw, 5 Cw (oder 7 Cfa), 9 Dw (oder 8 Df), 10 ET, 11 EF, wie dies auch in Fig. 8 dargestellt ist. In Australien und Afrika werden Cf erst an der Südküste und die Klimate 8—11 überhaupt nicht erreicht.

Die Trockengebiete haben ihre Schwerpunkte in der Nähe des dreißigsten N- und S-Breitengrades. Soviel sich bis jetzt feststellen läßt, ist ausgeprägtes Wüstenklima — BW — zwischen dem Äquator und 14° Breite nur auf zwei schmalen Küstenstreifen, um Aden und um La Guayra (Venezuela) anzutreffen,

1) Die Figuren 6—10 sind dem Buche KÖPPEN, Grundriß der Klimakunde (W. de Gruyter & Co, 2. Aufl. 1931) entnommen.

und überschreitet es polwärts nur im Windschatten der Cordilleren und im Innersten von Eurasien den 40. Breitengrad. Es ist daher, wenn wir irgendwo fossile Reste von Wüsten- oder wenigstens Steppenklimate — Salz, Gips, Wüstensandstein — finden, zwar nicht sicher, aber sehr wahrscheinlich, daß diese Gegend zur Zeit ihrer Bildung zwischen 14° und 40° Breite lag, mindestens zwischen 10° und 50° . Daß wir es gerade mit einer Ausnahme zu tun hätten, ist ja stets ein zwar möglicher, aber unwahrscheinlicher Zufall. Solche Reste eines Trockenklimas findet man jetzt in Schichten aus dem Perm und Karbon auf Spitzbergen in 78° Breite; nach der Rekonstruktion der alten Pollagen durch ALFRED WEGENER [24] war deren damalige geographische Breite aber nur

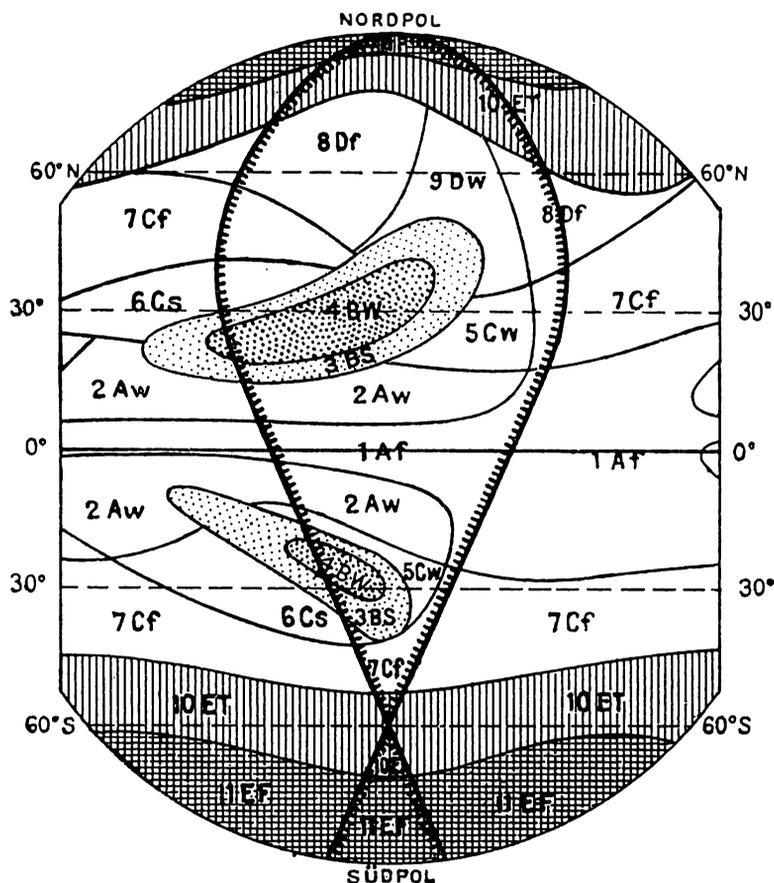


Fig. 7. Das Klimaschema: Die 11 Hauptklimate

$24-32^{\circ}$. Die sichere Scheidung der Klimate A, B und C voneinander ist für geologische Zeiten noch nicht möglich, aber die Ausbreitung des ganzen Raumbereichs gegen die Pole hin ist durch die Kohlenfunde gut belegt, wenn auch durch das völlige Fehlen von sicheren Eisspuren seine Polargrenzen von der Trias bis zum Eozän noch unbekannt sind.

Die Ursachen dieser eigenartigen Anordnung der Klimate liegen in der verschiedenen Wirkung der Sonnenstrahlung auf verschiedene Breitengrade und auf Land und Meer, sowie in dem hierdurch erzeugten allgemeinen Kreislauf der Atmosphäre und der Meere. Die Fig. 9 und 10 stellen die jährliche Verschiebung der Druckgebiete und der Winde dar, die wir auf dem zu den Fig. 6—8 benutzten Schema der Landverteilung anzunehmen hätten. Statt der Windrichtung am Erdboden ist jedoch in ihnen der „Gradientwind“, d. i. die Luft-

Die in den Fig. 6—8 dargestellte normale Verteilung der Klimate erklärt sich uns, wenn wir uns die folgenden Sätze in Erinnerung rufen:

I. Die Lufttemperatur nimmt vom Äquator zu den Polen ab, im Winter, namentlich auf den Kontinenten, schnell, im Sommer, namentlich auf diesen, langsam. Daher die Reihenfolgen A C D E, a b c d, h k, T F.

II. 1. Druckverteilung und Luftströmung sind durch das barische Windgesetz verbunden.

2. Im Jahresdurchschnitt bestehen zwei Gürtel hohen Druckes bei etwa 30° N- und S- und drei Gürtel niederen Druckes bei 0° und 60° N und S-Breite, welche sich im Jahreslaufe etwas von dem jeweils kälteren Pol entfernen.

3. Es findet Luftanhäufung nach der jeweils kälteren Gegend hin statt, im Winter nach den Kontinenten, im Sommer nach den Ozeanen.

4. Hoher Luftdruck, kontinentale Lage (besonders im Windschatten von Gebirgen) und polare Luftströmung bewirken Verringerung der Niederschläge.

5. Die Luftströmungen tragen das Klima mit sich weiter.

6. Die Veränderlichkeit der Windrichtung und aller Elemente wächst mit der geographischen Breite.

7. Die jährliche Temperaturschwankung wächst mit der geographischen Breite und der Kontinentalität.

Aus diesen Sätzen erklären sich: ein Gürtel Af am Äquator und zwei Gebiete Aw in den Breiten, denen im Winter der betreffenden Halbkugel deren Hoch-

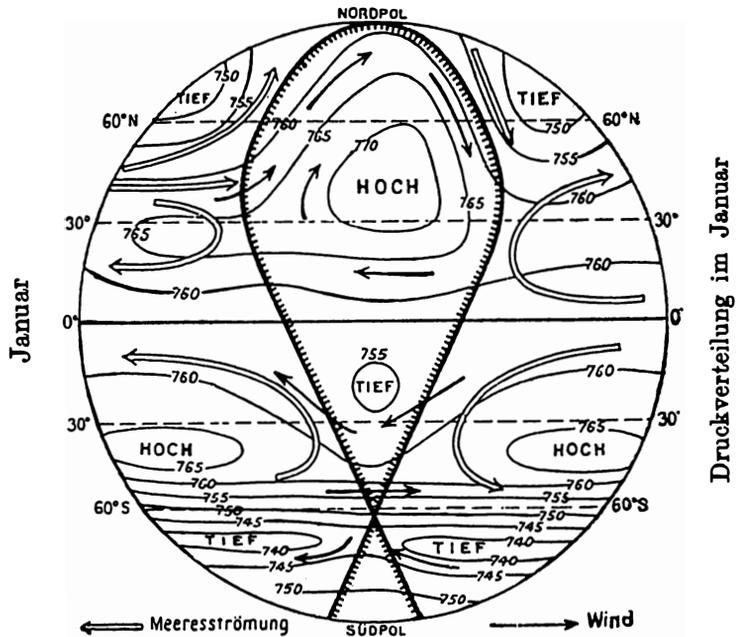


Fig. 9. Luftdruck, Winde und Meeresströmungen im Januar

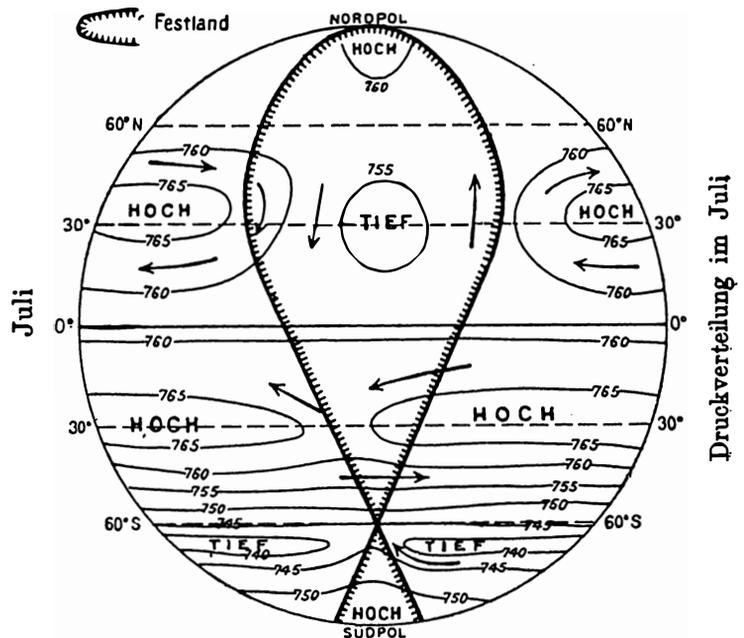


Fig. 10. Luftdruck und Winde im Juli

druckgürtel naht (Sätze 2 und 4), ferner B-Klimate, wo letzterer dauernd sich findet, und vorwiegend auf den Kontinenten (Satz 4); Cs-Klimate polar-westlich hiervon, in Gebieten, die im Sommer in solchem Gürtel oder an dessen Ostrand im Winter aber auf dessen polarer und ozeanischer Seite liegen (Sätze 2, 3, 4, 5); dagegen Cw- und Dw-Klimate in Gebieten, die im Winter im Hochdruck oder an dessen Ostrand liegen, im Sommer aber Niederdruck und äquatoriale Winde haben (dieselben Sätze). Ferner das Fehlen der D-Klimate auf der südlichen ozeanischen Halbkugel (Satz 7) und das Auftreten von Dw nur auf der Osthälfte des größten Kontinentes (Sätze 2, 3, 4, 5, 7). Endlich die Ausbreitung des Df-Klimas in höheren Breiten der nördlichen und des Cf-Klimas in solchen der südlichen Halbkugel (Sätze 2, 4, 6, 7).

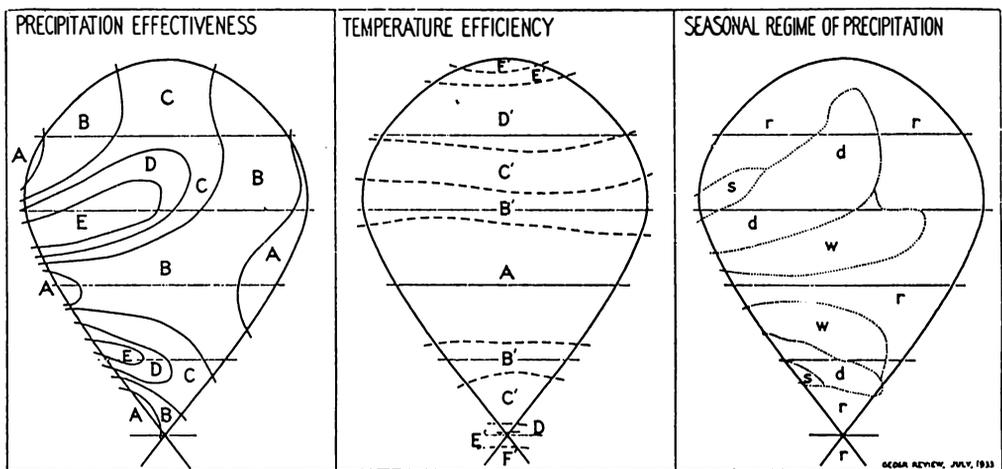


Fig. 11. Klimaschema, von Thornthwaite nach den drei Grundelementen getrennt

Die auffallendste Ausnahme aus diesem großen Klimaschema ist das Auftreten von Regenarmut durch Ausfall der regelgemäßen Regenzeit im nördlichen Gürtel der Aw-Klimate an der Somali-, Togo- und Venezuelaküste. Es ist verbunden mit und wahrscheinlich bedingt durch das verstärkte Auftreten von aufquellendem Tiefenwasser gerade in dieser Zeit.

Die Doppelpfeile in Fig. 9 und 10 deuten die Bewegung der Meeresoberfläche an, welche die klimatischen Wirkungen der Luftströmungen in hohem Grade unterstützt und ergänzt. Das im übrigen recht brauchbare, in Fig. 6—10 angewandte Schema eines idealisierten Kontinents versagt für diese allerdings in einem wichtigen Punkte, indem es die Herüberdrängung der warmen westwärts strömenden Wassermassen der Tropenzone in den Nordatlantischen Ozean durch den stumpfen Keil Südamerika nicht berücksichtigt. Diese Herüberdrängung ist offenbar die Hauptursache der ganz abnormen, bis in große Tiefen reichenden Wärme des Nordatlantiks, die sich durch die vorherrschenden westlichen Winde Europa mitteilt.

9. Die Windgebiete

Der allgemeine Luftkreislauf der Erde wird im Teil B dieses Handbuchs von Prof. Dr. CONRAD besprochen. An dieser Stelle ist nur zur Ergänzung des Systems der Klimate das Schema der geographischen Verteilung der Winde in ähnlicher Weise kurz zu fassen, wie dies im obigen für ein Klimaschema geschehen ist. Diese Fassung wollen wir unabhängig vom letzteren vornehmen, um die Übersicht zu erleichtern und weil sie nur für die Meere hinreichend durchführbar ist, während die Unebenheiten des Landes das Bild allzusehr verwickeln.

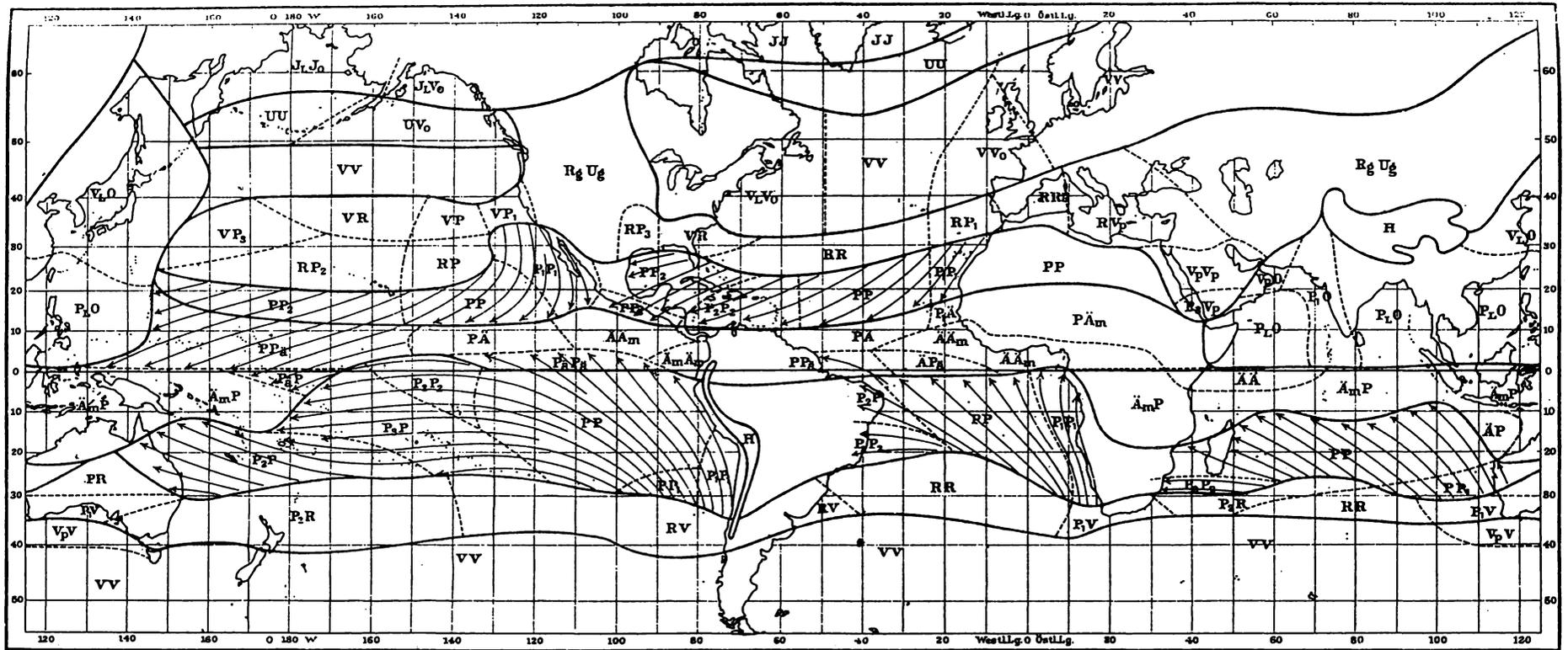


Fig. 12. Die Windgebiete der Weltmeere. Erster Großbuchstabe = Januar, zweiter = Juli. *Ä* Äquatoriales Gebiet mit Windstillen und umlaufenden Winden (Mallungen). *Ä_m* Über den Äquator übergetretener und entsprechend der Erdumdrehung zu einem Monsun mit Westkomponente abgelenkter Passat, von Mallungen unterbrochen. *P* Stetiger Passat, mäßig oder frisch, aus NO auf der nördlichen, SO auf der südlichen Halbkugel. *P₁* Passat-Anfang, aus hochpolarer Richtung. *P₂* Passat-Ende, aus östlicher Richtung. *P₃* Desgl., noch mehr abgelenkt, mit vom Äquator fortgerichteter Komponente, schwach. *P_ü* Ebenso abnorme Richtung, aber durch Übertritt des Passats von der anderen Halbkugel ohne Änderung seiner Richtung bedingt. *P_L* Passat aus regelrechter Richtung, der zugleich winterlicher Landwind ist. *O* Sommerliche Seewinde vom Ozean (Sommer-Monsun). *R* Umlaufende Winde und Stillen der Roßbreiten, hoher Druck. *R_g* Mallungen und Gebirgswinde bei hohem Luftdruck. *V* Veränderliche, vorwiegend westliche Winde. *V_L* Desgl., überwiegend als winterliche Landwinde. *V_O* Desgl., überwiegend als sommerliche Seewinde. *V_p* Stetigere Winde aus polarwestlicher Richtung. *U* Wechselnde, vielfach stürmische Winde unbestimmter Richtung; niedrigster Luftdruck. *U_g* Unbestimmte (meist schwache) und Gebirgswinde, niedriger Luftdruck. *H* Hochländer. *J* Jenseits der polaren Windscheide (des Gürtels niedrigsten Druckes) liegendes Gebiet lokaler oder östlicher Winde. (*J_L* vorwiegend vom Lande, *J_O* vorwiegend vom Ozean.)

Für das örtliche Verhalten der Luftströmungen zum Regen ist eigentlich nicht ihre Richtung am Erdboden, sondern die in der Höhe der Regenwolken maßgebend. Diese schließt sich in mittleren und höheren Breiten sehr nahe den Isobaren an, den hohen Druck auf der nördlichen Halbkugel rechts, auf der südlichen links lassend; dementsprechend sind die Luftströmungen in Fig. 9 und 10 eingezeichnet. Dagegen bezieht sich die Weltkarte Fig. 12 auf die in der untersten Luftschicht beobachteten Windrichtungen. Zunächst sei auf ihr der Tatbestand tunlichst einfach dargestellt. Die verwendeten Buchstaben sind andere als in der Klimaformel, so daß die beiden Schlüssel einander nicht stören. Die Windverhältnisse sind hier durchweg durch zwei Großbuchstaben charakterisiert, deren erster dem Januar und Februar, deren zweiter dem Juli und August gilt. Wie in der Lufttemperatur, so verspäten auch in den Windverhältnissen die jährlichen Extreme auf dem Meere im allgemeinen gegenüber dem Lande. Namentlich aber brauchen die großen ozeanischen und tellurischen Luftströmungen deutlich mehr Zeit zu ihrer Entwicklung, als die Seewinde der Binnen- und Landmeere; so herrschen z. B. südliche Winde in und bei Indien schon lange vor dem „Ausbruch des Monsuns“.

Soweit die mittlere Windrichtung beider Jahreszeiten weniger als um 90° verschieden, ist deren Mittelwert in die Karte eingetragen. Dadurch sind in ihr die Gebiete andauernden Passats aus den übrigen hervorgehoben, in denen wenigstens in einem Teil des Jahres veränderliche Winde wehen oder die Windrichtung vom Winter zum Sommer umschlägt.

Das normale Windsystem der Erde zeigt vom Äquator zu den Polen die Reihenfolge Ä P R V U J. Ä und U entsprechen den Gürteln niedrigeren Luftdrucks, R dem Gürtel hohen Drucks der Roßbreiten. Durch die etwas schiefe Lage dieses Systems gegen die Erdachse fehlt der Ä-Gürtel auf der Südhalbkugel über dem Atlantischen und dem östlichen Stillen Ozean sowie auf der Nordhalbkugel über dem westlichen Stillen und dem Indischen Ozean, und liegen auch die übrigen Gürtel auf dem Atlantischen nördlicher als auf dem Stillen. Ferner wird durch die ungleiche Erwärmung von Land und Meer dies normale Windsystem, das W. M. DAVIS¹⁾ das planetarische genannt hat, gestört, in der Umgebung des größten Kontinents Asien sogar größtenteils überwältigt. Aber wo es deutlich ist, zeigt es im Jahreslaufe ein regelmäßiges Pendeln von der Winterhalbkugel zur Sommerhalbkugel, und kann sein normales Verhältnis zum geographischen System der Klimate durch folgendes Diagramm dargestellt werden:

Lage im		Dem entsprechende Niederschlagsperiode	Klima
Nordsommer	Nordwinter		
V	V	immerfeucht	Cf
R		sommertrocken	Cs, BSs
P	R	immertrocken	BW
Ä	P	wintertrocken	BSw, Aw
	Ä	immerfeucht	Af
P	P	wintertrocken	Aw, BSw
R		immertrocken	BW
V	R	sommertrocken	BSs, Cs
	V	immerfeucht	Cf
Südwinter	Südsommer		

1) American Meteorolog. Journal 1887/88, S. 512, und Ann. der Hydr. u. Mar. Met., 1894, S. 11.

Denn \ddot{A} bringt starke Niederschläge, P und R sind vorwiegend oder ganz trocken, V wieder regenreich.

In dieses einfache Schema bringt nun vor allem die große Landmasse Asien durch sommerliche Seewinde und winterliche Landwinde — die Monsune — Störung. Die ersteren sind in Fig. 12 mit O bezeichnet, die letzteren in Südasien, wo sie nur eine Form des Passats sind, mit P_L , in Ostasien entsprechend mit V_L . In höheren nördlichen Breiten finden wir in demselben Sinne V_O , J_L und J_O angegeben.

Der Passat der Winterhalbkugel ist der stärkere und weht auf einem großen Teile des Äquatorumfangs um 10 und mehr Breitengrade über den Äquator hinüber. Dies geschieht in zwei Formen, in beiden jedoch unter schneller Abnahme seiner Stärke. Liegt nämlich das nächste Land im Westen, so geschieht es ($P_{\ddot{a}}$) ohne wesentliche Änderung seiner Richtung; liegt es im Osten, so wird er dahin umgebogen bis zu einem mehr oder weniger westlichen Monsun (SW auf der nördlichen, NW auf der südlichen Halbkugel) (\ddot{A}_m). Hierbei wirkt jedenfalls der auf beiden Halbkugeln entgegengesetzte Sinn der Erdumdrehung mit; aber die ablenkende Kraft derselben ist in dieser Nähe des Äquators gering, und das verschiedene Verhalten des Passats im westlichen und östlichen Teil der Ozeane zeigt, daß die Aspiration der hier ja wärmeren Kontinente wesentlich an der Erscheinung beteiligt ist.

Am Rande des Konvergenzgürtels der Passate \ddot{A} finden sich also mehrere Divergenzpunkte an den Grenzen zwischen \ddot{A}_m und $P_{\ddot{a}}$.

Diese Divergenzpunkte, die westlichen Enden der drei SW-Monsune im Norden und des indisch-australischen NW-Monsuns im Süden, liegen im Nordsommer etwa bei 25° W 6° N, bei 115° W 7° N und vielleicht bei 40° E 5° N, im Südsommer anscheinend bei 50° E 5° S, in den beiden letzten Fällen also nahe dem Westrande eines Ozeans, in einer Gegend, wo übrigens das Beobachtungsmaterial noch ziemlich beschränkt ist. Westlich von diesen Divergenzpunkten liegen Trockengebiete auffallend nahe vom Äquator — Ceará, Malden-Eiland, Somaliland —, aber in allzuweitem Abstand von ihnen, als daß ein Zusammenhang mit ihnen angenommen werden könnte.

Der sommerliche SW-Monsun Vorderindiens bezieht zwar seine Luft aus dem Südostpassat der südlichen Halbkugel, aber zwischen ihnen liegt eine Zone schwächerer überwiegend südlicher Winde. Wegen der Kontinuität muß in ihrem südlichen Teile die Luft aufsteigen, und dem entspricht es, daß hier ganz besonders viel Regen fällt.

Während des größeren Teils des Jahres ist in den Gürteln der Roßbreiten der Luftdruck auf den Ozeanen höher als auf den Festländern, wohl infolge der größeren Erhitzung der letzteren. Der rundlichen Form dieser Kerne höchsten Druckes entsprechend, wehen die Passate, besonders im Sommer, auf den östlichen Teilen der Ozeane aus mehr polarer, auf den westlichen aus mehr rein östlicher Richtung. Auf Fig. 12 ist ersteres durch P_1 , letzteres durch P_2 bezeichnet, während auf der Mitte jedes Ozeans der als P schlechtweg bezeichnete Passat etwa im halben rechten Winkel zum Breitenkreis und am stärksten weht.

10. Schlüssel und Diagramme zur Bestimmung der Klimaformel

Folgende Buchstaben kommen mit gleicher oder ähnlicher Bedeutung in mehreren Hauptklimaten vor (alle Angaben beziehen sich auf mehrjährige Mittelwerte):

- I. Temperatur: a, b, c, d, k' beziehen sich auf Monatsmittel der Temperatur; g (g' , g'') auf deren jährlichen Gang, i auf dessen Amplitude, h und k auf Jahresmittel.

II. Trockenzeiten: f und x' bezeichnen deren Fehlen, s (s' s''), w (w' , w'') und x (x'') deren Lage (letztere 7 Zeichen, wo sie nach f stehen, nur die relativ trockenste Zeit).

III. Luftfeuchtigkeit: n (n' , n'' , n''').

Nach Art der Schlüssel zur Pflanzenbestimmung ergibt sich der folgende

Schlüssel zur Bestimmung der Klimaformel.

a) Erster und zweiter Buchstabe der Formel

- | | | |
|---|--|------------------|
| 1. Temperaturmittel des wärmsten Monats | unter $+10^{\circ}$ | E, siehe 11 |
| | über $+10^{\circ}$ | siehe 2 |
| 2. Jährliche Regenmenge in cm | unter $2t$ (bei Winterregen) bis $2(t + 14)$ (bei Sommerregen) ¹⁾ | B, siehe 3 u. 12 |
| | über diesem Wert | A C D, siehe 4 |
| 3. Jährliche Regenmenge in cm | unter t bis $t + 14$ ¹⁾ | BW |
| | über diesem Wert | BS |

Jahrestemperatur und Regenmenge verhalten sich wie im folgenden Diagramm.

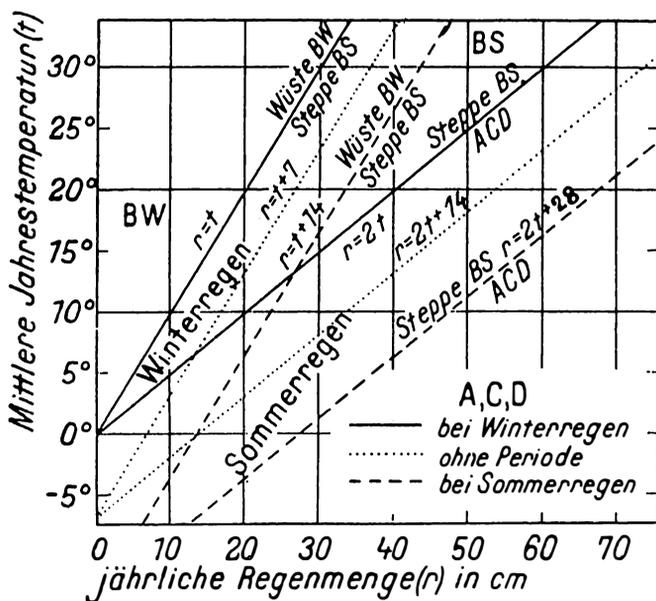


Fig. 13.

- | | | |
|--|--|-----------------|
| 4. Temperaturmittel des kältesten Monats | über 18° | A 5 |
| | zwischen 18° und -3° | C |
| | unter -3° | D |
| | | } 8, 13, 14, 15 |
| 5. Regenärmster Monat bringt | über 60 mm | Af |
| | unter 60 mm | 6 |
| 6. Trockenzeit ist | durch große Jahresmenge kompensiert, nach nebenstehendem Diagramm (Fig. 14). | Am |
| | nicht kompensiert | 7 |

1) Unter t die Jahrestemperatur in Grad Celsius verstanden, unter „Sommer“ und „Winter“ die Jahreszeit des höheren und niedrigeren Sonnenstandes der betr. Erdhalbkugel.

- | | | |
|--|---|--|
| 7. Trockenzeit | $\left\{ \begin{array}{l} \text{einfache im Winterhalbjahr} \dots\dots\dots \text{Aw} \\ \text{Regenzeit zum Herbst verschoben} \dots\dots\dots \text{Aw}' \\ \text{außer größerer Trockenzeit im Winter keine im Sommer} \text{Aw}'' \\ \text{Trockenzeit im Sommerhalbjahr} \dots\dots\dots \text{As}^1) \end{array} \right.$ | |
| 8. Minimum des Niederschlags | | $\left\{ \begin{array}{l} \text{in der wärmeren Jahreszeit} \dots\dots\dots 9 \\ \text{in der kälteren Jahreszeit} \dots\dots\dots 10 \end{array} \right.$ |
| 9. Niederschlag des trockensten Monats | | |
| 10. Niederschlag des trockensten Monats | | $\left\{ \begin{array}{l} \text{weniger als } \frac{1}{10} \text{ des feuchtesten des Sommerhalbjahrs} \text{Cw, Dw}^1) \\ \text{mehr als dies} \dots\dots\dots \text{Cf, Df} \end{array} \right.$ |
| 11. Temperaturmittel des wärmsten Monats | $\left\{ \begin{array}{l} \text{über } 0^\circ \dots\dots\dots \text{ET} \\ \text{unter } 0^\circ \dots\dots\dots \text{EF} \end{array} \right.$ | |

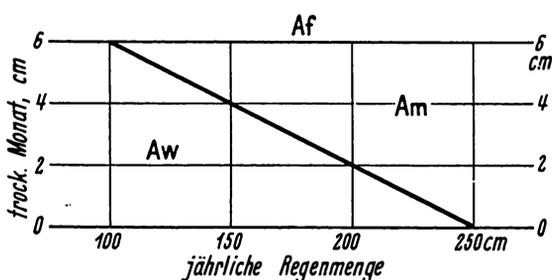


Fig. 14

β) Dritter Grundbuchstabe der Formel

- | | |
|---|--|
| 12. Jahrestemperatur | $\left\{ \begin{array}{l} \text{über } 18^\circ \dots\dots\dots \text{h} \\ \text{unter } 18^\circ \left\{ \begin{array}{l} \text{wärmster Monat} > 18^\circ \dots\dots\dots \text{k} \\ \text{wärmster Monat} < 18^\circ \dots\dots\dots \text{k}' \end{array} \right. \end{array} \right.$ |
| 13. Temperaturmittel des wärmsten Monats | |
| 14. Temperaturmittel von mehr als 10° | $\left\{ \begin{array}{l} \text{dauern über 4 Monate} \dots\dots\dots \text{b}^2) \\ \text{weniger als 4 Monate} \dots\dots\dots 15 \end{array} \right.$ |
| 15. Temperaturmittel des kältesten Monats | |

γ) Weitere Zeichen nach Bedarf

- | | | |
|---|--|--|
| Allgemein: Trockenste Jahreszeit | $\left\{ \begin{array}{l} \text{im Winter} \dots\dots\dots \text{w, w}', \text{w}'' \\ \text{im Sommer} \dots\dots\dots \text{s, s}', \text{s}'' \end{array} \right.$ | |
| Häufige Nebel | | n |
| Zu 3. Nebel selten, aber große Luftfeuchtigkeit bei Regenmangel | $\left\{ \begin{array}{l} \text{Sommertemperatur} < 24^\circ \dots\dots\dots \text{n}' \\ \text{Sommertemperatur } 24-28^\circ \dots\dots\dots \text{n}'' \\ \text{Sommertemperatur} > 28^\circ \dots\dots\dots \text{n}''' \end{array} \right.$ | |
| Zu 4. { | | $\left\{ \begin{array}{l} \text{wärmster Monat} \left\{ \begin{array}{l} \text{vor der sommerlichen Sonnenwende} \dots\dots\dots \text{g} \\ \text{erst im Herbst} \dots\dots\dots \text{g}' \end{array} \right. \\ \text{kühlster Monat nach der sommerlichen Sonnenwende} \dots\dots\dots \text{g}'' \\ \text{Temperatur-Unterschied dieser Monate} < 1^\circ \text{ (isotherm)} \dots\dots\dots \text{i} \end{array} \right.$ |
| | | |
| Zu 3 und 4. { | $\left\{ \begin{array}{l} \text{Regen im Vorsommer, heiterer Spätsommer} \dots\dots\dots \text{x} \\ \text{Regen in allen Monaten, selten aber stark} \dots\dots\dots \text{x}' \\ \text{Zwei Regenzeiten, im Frühsommer und Spätherbst} \dots\dots\dots \text{x}'' \end{array} \right.$ | |
| Zu 11. { | | $\left\{ \begin{array}{l} \text{wenn Niederschläge unter der B-Grenze} \dots\dots\dots \text{EB} \\ \text{wenn kältester Monat über } -3^\circ \dots\dots\dots \text{ETC} \\ \text{wenn Seehöhe über 1500 m} \dots\dots\dots \text{ETH} \end{array} \right.$ |
| | | |
| | | |

1) Beziehungsweise s' und s'', w' und w'' wie bei 7 angegeben.

2) Auf der nördlichen Halbkugel. Wird bestimmt dadurch, ob das Mittel $\frac{1}{2}$ (Mai + September) über oder unter 10° C ist.

11. Angeführte Literatur

1. KÖPPEN: Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. 45 S. und 2 Karten. Erschien 1900 in Band VI von Hettners Geograph. Zeitschr., sowie als Sonderabdruck, Leipzig bei B. G. Teubner 1901. — Auszug in Meteor. Zeitschr. 1901, S. 106, ohne Karte.
2. KÖPPEN: Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. Petermanns Geogr. Mitt. 1918, S. 193—203 und 243—248, mit 2 Tafeln. — Eine gute Wiedergabe der Karte in Mercator-Projektion in Meyers Konv.-Lexikon, 7. Aufl., 6. Band 1927, S. 1420 und dieselbe in der 2. Auflage meines Grundrisses der Klimakunde, Berlin 1931.
3. W. KÖPPEN und R. GEIGER: Klimakarte der Erde. Gotha, Justus Perthes 1928. Wandkarte, Größe 150×200 cm. Eine verkleinerte Wiedergabe dieser Karte findet sich in Goode's School Atlas, 4th ed., Taf. 21.
4. SUPAN: Grundzüge der physischen Erdkunde. 1884.
5. R. HULT: Jordens Klimatområden. Vetenskap. Meddelanden of Geogr. Förening i Finland, I, 1892—93.
6. RAVENSTEIN: The Geographic Distribution of Relative Humidity. Rep. Brit. Ass. Adv. Sc. 1900, S. 817.
7. H. DE MARTONNE: Traité de géographie physique. Paris 1909 S. 206—225.
8. A. PENCK: Versuch einer Klimaklassifikation auf physiographischer Grundlage. Sitzungsber. Berliner Akad. 1910, S. 236—246. — Derselbe: Die Formen der Landoberfläche und Verschiebungen der Klimagürtel. Ebenda 1913, IV, S. 1—21.
9. A. HETTNER: Die Klimate der Erde. Geogr. Z. 1911, S. 425, 545, 618, 675, sowie separat, ergänzt durch Karten und Diagramme, Leipzig u. Berlin, B. G. Teubner 1930.
10. A. DEFANT und E. OBST: Lufthülle und Klima. Leipzig u. Wien 1923, S. 156—180.
11. S. PASSARGE: Vergleichende Landschaftskunde. Berlin, Dietr. Reimer. 1921—24. 4 Hefte kl. 4^o. — Derselbe: Die Landschaftsgürtel der Erde, in der Sammlung „Jedermanns Bücherei“, Breslau, Ferd. Hirt 1923.
12. LUNDEGÅRDH: Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben. Jena, G. Fischer, 1925.
13. B. STEFANOFF: Versuch zur Darstellung einer parallelen Klassifikation der Klimate und der Vegetationstypen. Sofia 1930. (Buch 26 der Sammlung der bulgar. Akad. d. Wiss.) 122 S. gr. 8^o.
14. KÖPPEN: Klimaformel und reduzierte Regenmenge. Meteor. Zeitschr. 1919, S. 6.
15. KÖPPEN: Die Regenmenge an der Trockengrenze. Meteor. Zeitschr. 1922, S. 242.
16. R. DE C. WARD in The Geograph. Review, Sept. 1919.
17. J. B. LEIGHLY in Univers of Calif. Publications in Geogr., Vol. 2, Nr. 3.
18. R. J. RUSSEL: Climates of California. Ebenda Vol. 2, No. 4. — Dry Climates of the U. S., I. Ebenda Vol. 5, No. 1 und No. 5.
19. C. W. THORNTHWAITE: The Climates of N. America. Geograph. Review Oct. 1931. — The Climates of the Earth. Ebenda Juli 1933.
20. H. DE MARTONNE: Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité. Zeitschrift „La Météorologie“. Oct. 1926, S. 449.
21. SCHIMPER: Pflanzengeographie auf physiologischer Grundlage. Jena 1896.
22. A. KERNER VON MARILAUN: Pflanzenleben. 1888.
23. J. WALTHER: Das Gesetz der Wüstenbildung. Leipzig 1912.
24. W. KÖPPEN und A. WEGENER: Die Klimate der geologischen Vorzeit. Berlin 1924.
25. GERLANDS Beitr. z. Geophysik, Bd. 32, S. 275; F. LINKE: Erfahrungen mit der Köppenschen Klimaformel im akadem. Unterricht. — S. 282; P. Graf TELEKI: Köppens Klimaeinteilung und -schema ein grundlegender Lehrbehelf in der politischen Geographic.

Handbuch der Klimatologie (Handbook of Climatology)

was edited by Wladimir Köppen (Graz, Austria) and Rudolf Geiger (Munich, Germany), of Köppen and Geiger fame. 19 of 26 planned parts of this handbook were published in five volumes between 1930 and 1938, featuring contributions by influential colleagues such as Milankovich, Sverdrup, Taylor to name a few. This is a pdf of Volume I Part C, entitled **The geographic System of Climates**, in which Köppen devises the climate classification that is later to be known as Köppen-Geiger system of climate classification.



Gebr. Borntraeger Verlagsbuchhandlung (now Borntraeger Science Publishers) were founded by J. Nicolovius in Königsberg, Prussia in 1790. It has an active program in the Earth and environmental sciences.

Later headquartered in Berlin, Gebr. Borntraeger became an affiliate company of E. Schweizerbart in 1967, moving its operation to Stuttgart.

Borntraeger Science Publishers has a sizeable program of scholarly journals (e.g. Meteorologische Zeitschrift, Annals of Geomorphology (ZFG), Newsletters of Stratigraphy) and many series and books. Visit our homepage at:

www.borntraeger-cramer.com



Borntraeger Science Publishers

Johannesstrasse 3A, 70176 Stuttgart, Germany www.borntraeger-cramer.com mail@schweizerbart.de