In der

SAMMLUNG GÖSCHEN

Unser heutiges Wissen in kurzen, klaren, allgemeinverständlichen Einzeldarstellungen

sind die nachstehenden einschlägigen Bände erschienen:

Physische Geographie von Prof. Dr. Siegmund Günther. Mit 32 Figuren . . . . . Nr. 26

Physische Erdkunde I. und II. Teil von Prof. Dr. R. Langenbeck. . . . . Nr. 849 und 870

Astronomische Geographie von Prof. Dr. Siegmund Günther. Mit 52 Figuren . . . . . Nr. 92

Geschichte der Geographie von Prof. Dr. Konrad Kretschmer. Mit 11 Karten im Text . . . . Nr. 624

Paläoklimatologie von Dr. Wilhelm R. Eckardt Nr. 482

Meteorologie von Prof. Dr. W. Trabert. Neubearbeitet von Dr. Albert Defant. Mit 46 Figuren und Tafeln . . . . . Nr. 54

Jeder Band Grundzahl 1

Der Preis wird errechnet durch Multiplikation der Grundzahl mit der jeweiligen Schlüsselzahl (in jeder Buchhandlung zu erfahren)

Auslandspreis: 1,25 Schw. Franken

Ausführliche Verzeichnisse der bisher erschienenen Bände umsonst und postfrei

Walter de Gruyter & Co.

vorm. G. J. Göschen'sche Verlagshandlung - J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung - Georg Reimer - Karl J. Trübner - Veit & Comp.

Berlin W. 10 und Leipzig

DIE
KLIMATE DER ERDE

GRUNDRISS DER KLIMAKUNDE

VON

PROFESSOR DR. W. KÖPPEN
METEOROLOGE DER SEEWARTE A. D.

MIT 8 TAFELN UND 19 TEXTFIGUREN

BERLIN UND LEIPZIG 1923
WALTER DE GRUYTER & CO.
VORMALS G. J. GÖSCHEN'SCHE VERLAGSHANDLUNG — J. GUTTENTAG, VERLAGSBUCHHANDLUNG — GEORG REIMER — KARL J. TRÜBNER — VEIT & COMP.

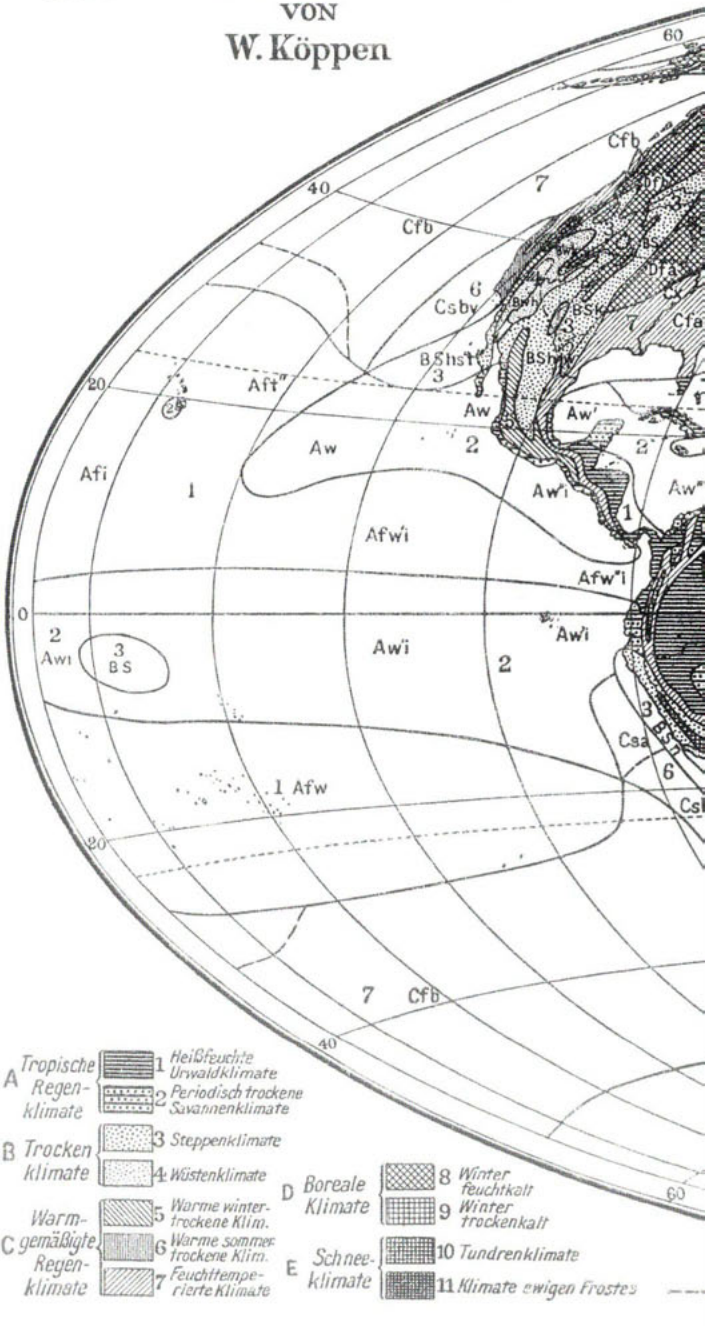
Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht von der Verlagshandlung vorbehalten.

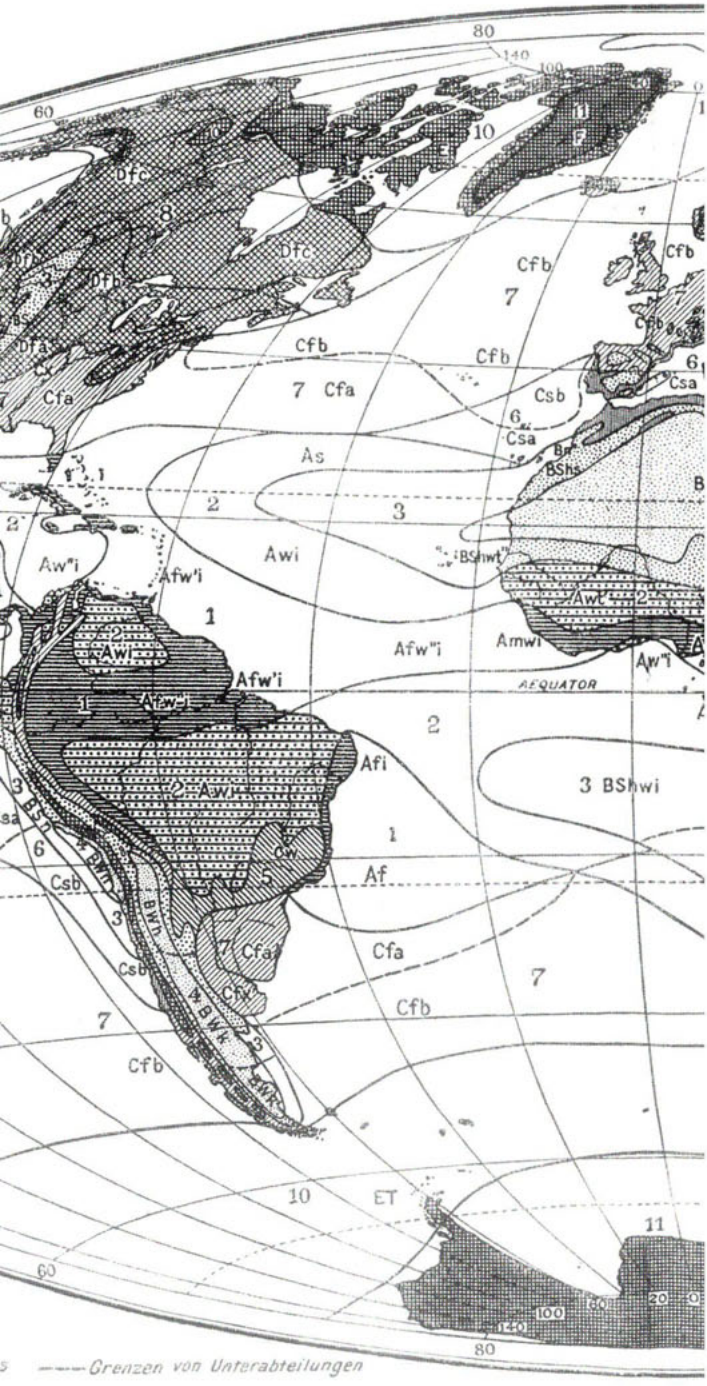
Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

KLIMATE DER ERDE

VON

W. Köppen





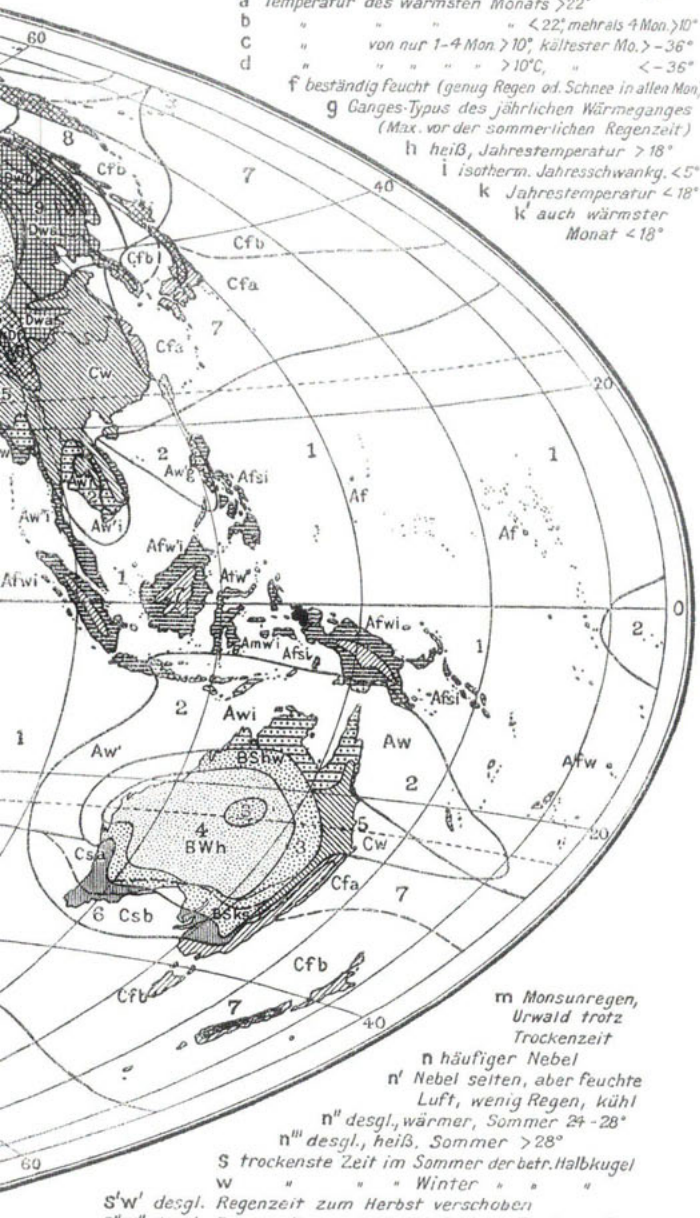
Verlag von Walter

1' Sud
1'' Kap

de Gruyter & Co., Berlin.

Tafel I

S Steppenklimate, Regenmenge t + 16½ cm bis t + 33 cm (bezw. 22 oder 44)
W Wüstenklimate, " unter t + 16½ cm (t Jahrestemperatur)
T Temperatur des wärmsten Monats zwischen 0° und 10°. F desgl. < 0°
a Temperatur des wärmsten Monats > 22°
b " " " " < 22°, mehr als 4 Mon. > 10°
c " von nur 1-4 Mon. > 10°, kältester Mo. > -36°
d " " " " " > 10°C, " < -36°
f beständig feucht (genug Regen od. Schnee in allen Mon.)
g Ganges-Typus des jährlichen Wärmeganges (Max. vor der sommerlichen Regenzeit)
h heiß, Jahrestemperatur > 18°
i isotherm. Jahresschwankg. < 5°
k Jahrestemperatur < 18°
k' auch wärmster Monat < 18°



Vorwort.

Der erste Teil dieses Buches ist eine Umarbeitung des unter dem Titel Klimakunde I, Allgemeine Klimalehre, erschienenen 114. Bändchens der Sammlung Göschen, das nicht wieder aufgelegt wird.

Der Versuch, auch die spezielle Klimakunde in ähnlich kleinem Rahmen mit wertseiendem Inhalt darzustellen, bot große Schwierigkeiten und führte nach langen Bemühungen dazu, daß der Verlag sich in entgegenkommender Weise zur Befreiung von den Beschränkungen der genannten Sammlung und zur Herausgabe eines gesonderten Buches bereit erklärte.

Immerhin ist auch dieses Buch in allem auf größtmögliche Kürze eingestellt. Um sie zu erreichen, habe ich einige vom Gewohnten abweichende Methoden der Darstellung angewendet. Zunächst ist fast alles Zahlenmaterial in zwei große Tabellen am Schluß des Buches verwiesen, wodurch sehr viel Raum an Tabellenköpfen usw. gespart ist. Da die Anordnung dieser Tabellen genau der des Textes im dritten Teile entspricht, so dürfte der Zusammenhang beider dennoch leicht hergestellt sein. Ich hoffe, daß diese Tabellen, in deren jeder je eine Zeile die wichtigsten Grundwerte von einer großen Zahl von Orten angibt, vielen, besonders Geographen, als bequeme Nachschlagequelle willkommen sein werden, um so mehr als ich auch ein vollständiges Ortsverzeichnis beigefügt habe. Weitaus die meisten Zahlen sind der 3. Auflage des unschätzbaren Handbuchs der Klimatologie von Hann entnommen. Doch mußten, um diese Tabellen so gleichmäßig aufzufüllen, auch manche andere Werke benutzt werden. Den Wind aufzunehmen fehlte der Raum; seine geographischen Hauptzüge haben durch Hinzufügung des Kapitels 16 und der zweiten Weltkarte Berücksichtigung gefunden.

In derselben Richtung der Raumersparnis lag es, die übereinstimmenden Züge der Trockenklimate usw., die sich auf

jedem der Kontinente wiederholen, nicht bei jedem von diesen ausführlich darzulegen, sondern sie gemeinsam zu besprechen, d. h. der Darstellung das geographische System der Klimate zugrunde zu legen und diesem den ganzen zweiten Teil des Buches zu widmen. Der dritte Teil gibt dann kurz dessen Ausbildung auf den einzelnen Erdteilen. Ich habe dabei diejenige Klassifikation der Klimate verwendet, die ich 1918 in Petermanns Geographischen Mitteilungen veröffentlicht habe. Die dort in Farbendruck beigegebene Karte findet man in verkleinerter schwarzer Wiedergabe als Tafel 1 in diesem Buche. Das System ist eine Verbesserung der von mir 1901 in Hettners Geographischer Zeitschrift, ebenfalls mit Weltkarte, veröffentlichten Klassifikation der Klimate.

Die ähnlichen Klassifikationen von Hult, Supan, Hettner, Martonne, Penck u. a. zu besprechen, hätte übermäßigen Raum in Anspruch genommen.

Die Klassifikation hat, hier wie anderswo, den Zweck eine übergroße, schwer zu bewältigende Menge von Tatsachen übersichtlich zu ordnen und sie vielfach erst dadurch klar hervortreten zu lassen. Je kürzer die Darstellung ist, um so wertvoller ist dieses Hilfsmittel. Wo dabei die Klassifikation nicht, wie in der organischen Welt, wahrscheinlichen Blutsverwandtschaften nachgeht, da kann freilich die Auswahl der Merkmale, die man dabei verfolgt, sehr verschieden sein.

Die Bedeutung der Klimatologie liegt zum großen Teil in dem Einfluß des Klimas auf die übrige Natur, einschließlich des Menschen; und da wir es in ihrem Material fast nur mit stetigen Übergängen und quantitativen Unterschieden zu tun haben, müssen wir uns zur Gewinnung natürlicher Schwellen nach Wirkungen des Klimas auf die übrige Natur umsehen, und dazu bietet sich besonders das Pflanzenleben dar, daneben aber auch der Boden und anderes.

Der Zweck der in diesem Buche befolgten Klassifikation ist weder ein botanischer, noch ein geologischer, sondern sie soll der richtigen Auffassung der Klimakunde selbst und ihrer Anwendung auf Natur und Menschenleben im allgemeinen dienen. Die Auswahl der Merkmale wird natürlich individuell sein, es genügt aber, wenn sie lehrreich ist. Hat die Klassifikation dem Leser zur Beherrschung der Tatsachen verholfen, so hat sie ihre Schuldigkeit getan und verliert sie an Bedeutung für ihn.

Durch die Aufstellung dieses Systems der Klimate, dessen wesentliche Züge sich überall wiederholen, wird es möglich, die spezielle Klimatographie der einzelnen Länder, die den dritten Teil füllt, kurz zu halten. Besprochen werden die einzelnen Kontinente in der Reihenfolge ihrer Anfangsbuchstaben — Afrika, Amerika, Asien, Australien, Europa — und bei jedem die klimatischenHauptzonen A bis D nacheinander. Ferner die Polargegenden und die Ozeane. Bei den letzteren kommt der Wind zu seinem Recht, der leider bei den Festländern und in den Tabellen seiner Kompliziertheit wegen übergangen werden mußte.

Im vierten Teile sind die nötigen Zahlen, fast sämtlich in zwei großen Tabellen am Schluß des Werkes gegeben. Deren Einrichtung ist dieselbe wie die des 3. Teils. Die Numerierung der Teiltabellen ist die gleiche in beiden Tabellen. Den Schluß bildet ein alphabetisches Ortsverzeichnis für die vorangehenden Tabellen, mit Angabe des geographischen Orts und des Tabellenteils. Die Seehöhe ist bereits, zur besseren Beurteilung des Sinns der Angaben, in beiden Tabellen beim Stationsnamen, in Dekametern, angegeben.

Das meteorologische Beobachtungsnetz, das zwar höchst ungleichmäßig, aber stellenweise schon sehr dicht die Erde bedeckt, reicht selbst in seinen Anfängen nur wenig über hundert Jahre zurück. Auf seinen Aufzeichnungen beruht die Klimakunde fast gänzlich, und zwar konnte sie sich erst entwickeln, als durch das Wachstum dieses Netzes der Vergleich verschiedener Klimate möglich wurde. Die Klimakunde ist daher eine sehr junge Wissenschaft und zurzeit noch weit mehr mit dem Zusammentragen des Materials als mit dem Aufstellen allgemeiner Gesetze beschäftigt. Ihre Literatur besteht deshalb überwiegend einerseits aus den vielbändigen Jahrbüchern der meteorologischen Zentralstellen, in denen die täglichen Beobachtungen und die Mittel usw. derselben veröffentlicht sind, aber auch manchmal klimatologische Abhandlungen beigegeben sind, andererseits aus einer großen Menge von Skizzen und Aufsätzen, die teils in den meteorologischen Zeitschriften gesammelt, teils in anderen Zeitschriften und Werken, namentlich geographischen Inhalts, verstreut sind. Als die weitaus reichste Quelle sind die 20 Jahrgänge (1866—85) der Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie und die 40 der sich daran anschließenden Meteorologischen Zeitschrift zu nennen, die gemeinsam von der Österreichischen und der, seit 1884 bestehenden,

Deutschen Meteorologischen Gesellschaft herausgegeben wird. Ergänzung finden sie in den von der Deutschen Seewarte herausgegebenen Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie, ferner im Quarterly Journal der Londoner meteorologischen Gesellschaft und der vom Washingtoner Weather Bureau veröffentlichten Monthly Weather Review, sowie in den geographischen Zeitschriften. Zusammenfassende Darstellungen der Klimatologie gibt es nur sehr wenige: weitaus die wichtigste ist das Handbuch der Klimatologie von Jul. Hann (Stuttgart, Engelhorn, dritte Auflage in 3 Bänden, 1908—1911). Eine kürzlich erschienene Schrift: Grundzüge einer Physioklimatologie der Festländer von W. R. Eckardt (Berlin 1922, Gebr. Borntträger, 123 Seiten) versucht vor allem den Ursachen nachzugehen.

Neben dem Wort und der Tabelle haben viele Tatsachen der Klimakunde ihre Darstellung in Karten gefunden. Die wichtigsten derselben sind gegenwärtig in guter Ausführung auch in den geographischen Hand- und selbst Schulatlanten zu finden. Reichhaltigere Sammlungen von klimatologischen Karten findet man in Hanns Atlas der Meteorologie (Gotha, Perthes, 1887) und in Bartholomews Physical Atlas, III. Meteorology (London 1899), für die Ozeane in den Atlanten der Seewarte (Hamburg, Friederichsen, 1891, 1896 und 1902). Ferner die großen Klimaatlanten von Rußland (1900), Indien (1906) und Deutschland (Berlin, D. Reimer, 1921). Kleinere Sammlungen liegen für viele andere Länder vor, besonders in den Monographien über das Klima der Schweiz, der Skandinavischen Länder und der Britischen Inseln. Eine Klimatographie des alten Österreichs nach Ländern ist nicht ganz fertig geworden. Über die Vereinigten Staaten von Nordamerika findet sich sehr viel, jedoch wenig gesichtetes Material in den Veröffentlichungen des Weather Bureau zu Washington.

Vorausgesetzt wird im folgenden eine gewisse Bekanntschaft mit Meteorologie. Kurze Darstellungen derselben findet man u. a. im Bändchen 54 der Sammlung Göschen, bearbeitet von Trabert und neuere Auflagen von Defant, sowie in der soeben erschienenen Schrift „Lufthülle und Klima“ von Defant und Obst (Wien, Deuticke, 1923). Eingehende Belehrung findet man in Hann-Süring, Lehrbuch der Meteorologie (4. Auflage im Erscheinen).

Hamburg, im August 1923. **W. Köppen.**

Inhalt.

I. Teil.

Allgemeine Klimalehre.

Seite

Kapitel 1. **Der Inhalt der Klimakunde und die klimatischen Elemente und Faktoren.**

§ 1. Begriff der Klimakunde 1
§ 2. Bestandteile oder Elemente des Klimas 2
§ 3. Höchste und niedrigste Werte der klimatischen Elemente, Veränderlichkeit und Häufigkeit ihrer Werte 5
§ 4. Die Veränderlichkeit als klimatisches Element 7

Kapitel 2. **Meteorologische Beobachtungen und deren Bearbeitung.**

§ 5. Meteorologische Beobachtungen 12
§ 6. Klimatologische Untersuchungen 19

Kapitel 3. **Strahlung und Wärme.**

§ 7. Die Sonnenstrahlung, deren Bedeutung und mathematische Bedingungen 23
§ 8. Physikalische Bedingungen, denen die Sonnenstrahlung in der Atmosphäre unterliegt 27
§ 9. Der Wärmeumsatz auf Festland und Meer 30
§ 10. Temperatur fester und flüssiger Körper auf der Erdoberfläche 36
§ 11. Gestalt der täglichen und jährlichen Temperaturkurve der untersten Luftschicht 38
§ 12. Hauptsätze über die horizontale Temperaturverteilung auf der Erdoberfläche 41
§ 13. Verteilung der Temperatur nach der Höhe 45

Kapitel 4. **Wind.**

§ 14. Ursachen des Windes und dessen Beziehungen zum Luftdruck 50
§ 15. Kreislauf der Atmosphäre; planetarische Winde . . 53

Seite

§ 16. Einfluß der Festländer auf den Kreislauf der Atmosphäre 57
§ 17. Periodische und unperiodische Änderungen des Windes 58
§ 18. Stürme und besondere Winde. Wirkungen des Windes 61

Kapitel 5. **Das Wasser in der Atmosphäre.**

§ 19. Kreislauf des Wassers in der Atmosphäre 64
§ 20. Horizontale Verteilung der Hydrometeore 68
§ 21. Der jährliche und tägliche Gang der Hydrometeore . 70
§ 22. Die Regengürtel und ihre Störung durch die Festländer 79
§ 23. Verteilung der Hydrometeore nach der Höhe . . . 85

Kapitel 6. **Klimatische Typen.**

§ 24. Landklima und Seeklima. Wüstenklima, Waldklima, Küstenklima und Monsunklima 87
§ 25. Gebirgsklima, Höhenklima 93

II. Teil.

Das geographische System der Klimate.

Kapitel 7. **Die klimatischen Zonen.**

§ 26. Die acht klimatischen Hauptzonen 98
§ 27. Verhältnis der Kultur zu den Klimazonen 101

Kapitel 8. **Das System der Klimate.**

§ 28. Pflanzendecke, Bodengestalt und Wasserbewegung als leitende Merkmale des Systems der Klimate 104
§ 29. Boden und Klima 112
§ 30. Die Gliederung der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. — Die Klimaformel 115
§ 31. Die ideale geographische Verteilung der Klimate und deren Begründung in Luftdruck, Wind und Meeresströmung 128

Kapitel 9. **Nähere Beschreibung der Klimagürtel.**

§ 32. Die tropischen Regenklimate (*A*) 138
§ 33. Die Trockenklimate (*B*) 146
§ 34. Die gemäßigt warmen Regenklimate (*C*) 152
§ 35. Die borealen Klimate (*D*) 157
§ 36. Die kalten Klimate jenseits der Baumgrenze (*E*) . . 161

III. Teil.

Klimakunde der einzelnen Erdteile.

Seite

Kapitel 10. **Die Klimate von Afrika.**

§ 37. Allgemeines über Afrika 168
§ 38. Der tropische Regengürtel (*A*) 169
§ 39. Die beiden Trockengebiete (*B*) 177
§ 40. Die gemäßigten Regenklimate (*C*) 185

Kapitel 11. **Die Klimate von Amerika.**

§ 41. Allgemeines über Amerika 187
§ 42. Der tropische Regengürtel (*A*) 193
§ 43. Die Trockengebiete (*B*) 202
§ 44. Die warmgemäßigten Regengürtel (*C*) 208
α) Osten und Inneres (*Cw* und *Cf*) 208
β) Westküste (*Cs*) 214
§ 45. Der boreale Gürtel (*D*) 218

Kapitel 12. **Die Klimate von Asien.**

§ 46. Allgemeines über Asien 223
§ 47. Der tropische Regengürtel *A*) 225
§ 48. Die Trockengebiete (*B*) 232
§ 49. Der warmgemäßigte Regengürtel (*C*). α) Ostasien (*Cf* und *Cw*). β) Vorderasien (*Cs*) 236
§ 50. Der boreale Gürtel (*D*) 240

Kapitel 13. **Die Klimate von Australien.**

§ 51. Allgemeines über Australien 244
§ 52. Der tropische Regengürtel (*Aw*) 246
§ 53. Das Trockengebiet (*B*) 247
§ 54. Der warmgemäßigte Regengürtel (*C*). α) Der Osten (*Cw* und *Cf*). β) Der Südwesten (*Cs*) 249

Kapitel 14. **Die Klimate von Europa.**

§ 55. Allgemeines über Europa 253
§ 56. Die Trockengebiete (*B*) in Südrußland und Spanien 256
§ 57. Der warmgemäßigte Regengürtel. α) Das Mittelmeergebiet (*Cs*). β) Westeuropa (*Cf*) 259
§ 58. Der boreale Gürtel (*D*) in Ost- und Mitteleuropa . . 267

Kapitel 15. **Die Klimate der Polargebiete** (*E*).

§ 59. Allgemeines über die Polargebiete 271
§ 60. Die Arktis 273
§ 61. Die Antarktis 277

Kapitel 16. **Die Klimate der Weltmeere** 279

IV. Teil.

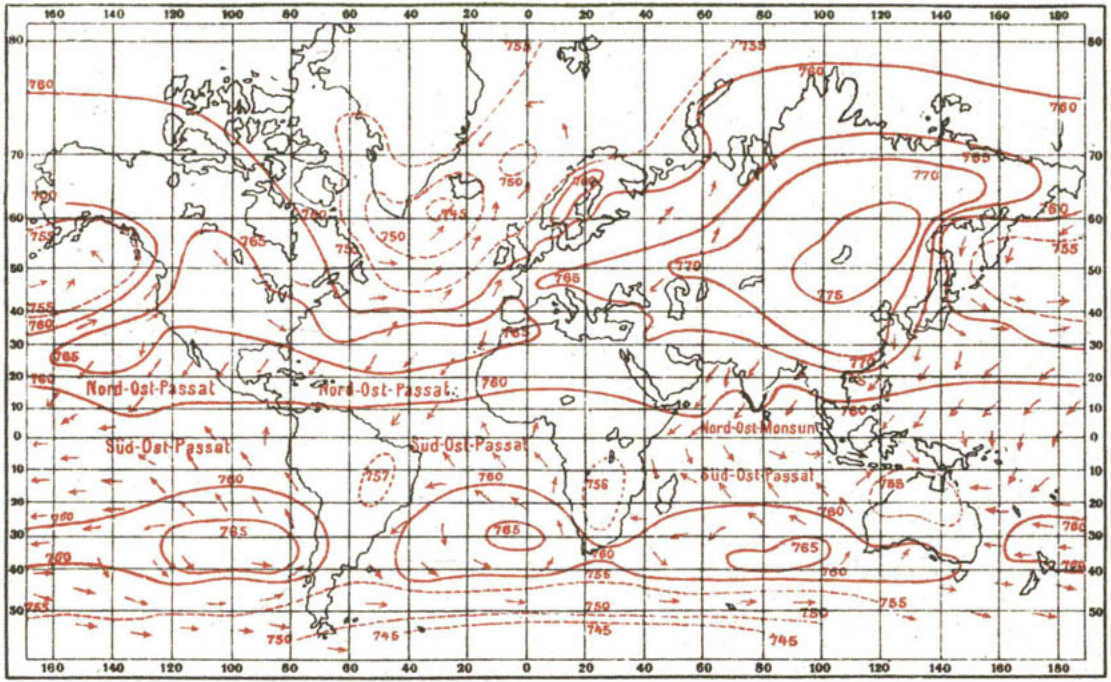
Tabellen.

Seite

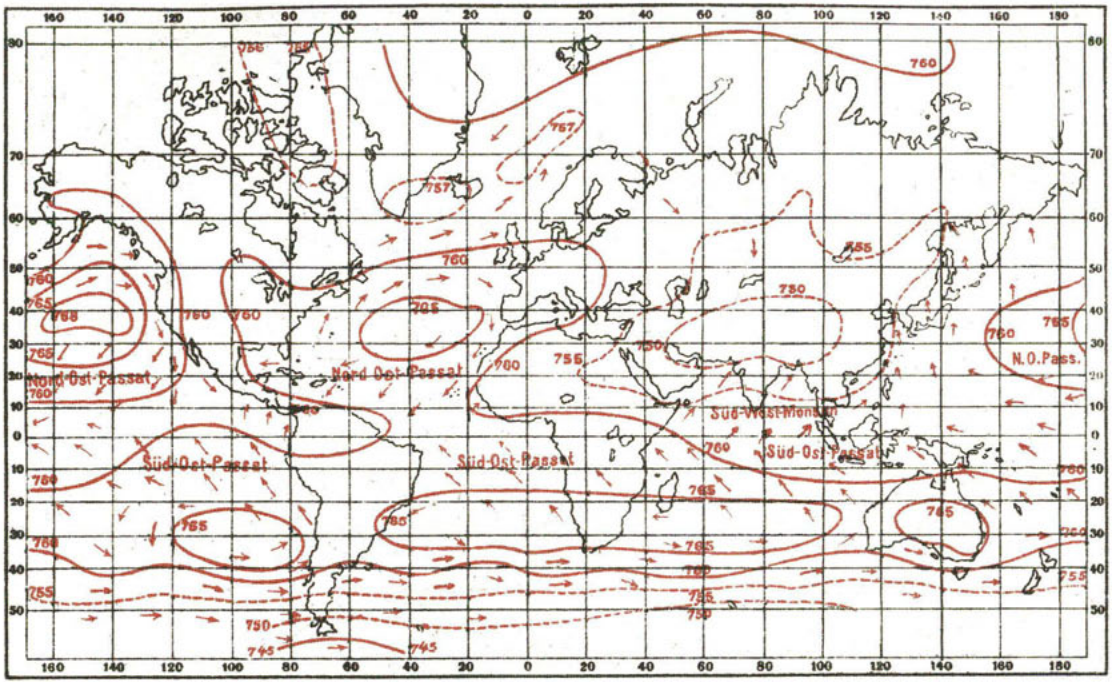
Tabelle I. **Mittel und Grenzwerte für Lufttemperatur und Regenmenge** 301

Tabelle II. **Die begrenzenden Monatsmittel für Bewölkung, Zahl der Regentage, Luftfeuchtigkeit und tägliche Temperaturschwankung** 336

Tabelle III. **Alphabetisches Ortsverzeichnis** 358



Isobaren und Winde im Januar. —— **Hoher Luftdruck.** ····· **Tiefer Luftdruck.**
Die Pfeile geben die herrschende Windrichtung an.



Isobaren und Winde im Juli. —— **Hoher Luftdruck.** ····· **Tiefer Luftdruck.**
Die Pfeile geben die herrschende Windrichtung an.

I. Teil.

Allgemeine Klimalehre.

Kapitel 1.

Der Inhalt der Klimakunde und die klimatischen Elemente und Faktoren.

§ 1. Begriff der Klimakunde.

Unter Klima verstehen wir den mittleren Zustand und gewöhnlichen Verlauf der Witterung an einem gegebenen Orte. Die Witterung ändert sich, während das Klima bleibt. Eine doppelte Abstraktion ist es, die uns zum Begriff des Klimas führt, nämlich eine Zusammenfassung einerseits der einzelnen wechselnden Witterungen, andererseits der einzelnen meteorologischen Elemente zu einem Gesamtbilde. Beide Zusammenfassungen, auch die letztere, haben ihren Wert besonders darin, daß die einzelnen physikalischen Vorgänge und Zustände in der Atmosphäre weniger isoliert, als eben in solchem Zusammenhange auf die belebte und unbelebte Natur an der Erdoberfläche einwirken.

Die Klimakunde oder Klimatologie ist ein Zweig der Meteorologie im weiteren Sinne, der zwar ebenso, wie diese überhaupt, sich auf der Experimentalphysik und der Geographie aufbaut, in dem aber das geographische Moment über das physikalische überwiegt. Das Gegenstück zur Klimakunde ist die synoptische Witterungskunde; wie für die erstere die Einheit des Ortes, so ist für die letztere die Einheit der Zeit maß-

gebend; jene faßt die Gesamtheit der in vielen Jahren an einem Orte sich vollziehenden Erscheinungen nach ihrer gesetzmäßigen Wiederholung in ein Bild zusammen, diese faßt den momentanen Zustand über einem größeren Raume ins Auge und verfolgt die einzelne Erscheinung in ihrer Fortpflanzung über die Erde durch Stunden, Tage oder Monate eines gegebenen Jahres hindurch. Beide Zweige trachten dabei, angesichts der so vielseitigen Abhängigkeit des Menschen von den meteorologischen Bedingungen, nach praktischer Anwendung; und wie die Witterungskunde in die tägliche Wetterprognose und die Sturmwarnung ausläuft, so liefert die Klimakunde dem Landwirt, dem Industriellen, dem Arzte die Unterlage zur Beurteilung des Einflusses des gewöhnlichen Verlaufs dieser Erscheinungen am gegebenen Orte auf das Gedeihen der Pflanzen, auf industrielle Prozesse, auf Krankheiten usw. Diese Bezugnahme auf den Menschen spielt sogar in der Abgrenzung der Klimatologie seit jeher eine Rolle, indem nur diejenigen meteorologischen Bedingungen, die das organische Leben in der Natur, insbesondere unsere eigenen Organe, direkt beeinflussen, als Bestandteile des Klimas anerkannt werden; so wird der Lehre vom Luftdruck, trotz ihrer außerordentlichen Wichtigkeit für die Meteorologie als Ganzes, aus diesem Grunde nur eine geringe klimatologische Bedeutung zuerkannt. Auch ist es wenig üblich, von „Klima“ dort zu sprechen, wo nicht Menschen dauernd oder zeitweise ansässig sind oder sein können. Man spricht kaum jemals vom Klima der Meere oder von jenem der freien Atmosphäre, wohl aber von jenem der Inseln, Küsten und Berggipfel. Dem entspricht denn auch eine zweite Definition des Klimas als der „Gesamtheit der atmosphärischen Bedingungen, die einen Ort der Erdoberfläche mehr oder weniger für Menschen, Tiere und Pflanzen bewohnbar machen“.

§ 2. Bestandteile oder Elemente des Klimas.

Die Vorstellungen, mit denen die Klimalehre arbeitet, lassen sich in dieselben Gruppen ordnen, nach denen die Meteorologie überhaupt ihren Stoff gliedert, also in die Hauptgruppen Strahlung, Wärme, Luftdruck, Wind und Wassergehalt der Atmosphäre (Hydrometeore), nebst den für den Zusammenhang minder wichtigen chemischen, optischen, akustischen und elektrischen Erscheinungen in derselben. Innerhalb jeder dieser

Gruppen ergibt sich sodann eine Anzahl von mehr oder weniger belangreichen Vorstellungen, deren Anwendung auf die einzelnen Klimate diese charakterisiert. Dies sind die klimatischen Elemente, z. B. die mittlere Lufttemperatur, die jährliche und tägliche periodische, sowie die mittlere unperiodische Schwankung derselben, das absolute Maximum und Minimum der Lufttemperatur usw. Unklare Fassung, unzweckmäßige Auswahl und falsche Ableitung dieser Größen in den Mitteilungen über die einzelnen Klimate hat den Fortschritt der Klimakunde sehr oft beeinträchtigt. Es ist deshalb eine scharfe Definition und eine Heraushebung der wichtigsten unter diesen Bestandteilen, aus denen sich der Begriff „Klima" zusammensetzt, notwendig.

Mit dem Fortschritt des Wissens werden neue Gegenstände in die Zahl der klimatischen Elemente aufgenommen, wenn deren geographische Züge entschleiert werden. So ist z. B. wohl zu erwarten, daß Luftelektrizität und Ionen dereinst Aufnahme in die Klimatologie finden werden, nachdem ihre Beziehungen zur Erdoberfläche und zu den übrigen klimatischen Elementen klargestellt sein werden; allein gegenwärtig sind wir noch nicht so weit.

Sodann hat die Klimatologie die Wirkungen darzulegen, welche die astronomischen, geographischen und meteorologischen Bedingungen auf diese klimatischen Elemente ausüben. Diese äußeren Bedingungen oder klimatischen Faktoren sind vor allem: die geographische Breite, die Höhe und die Natur der Unterlage der Atmosphäre, ob sie fest oder flüssig sei, und in ersterem Falle, welches ihre Neigung zum Horizonte ist und ob und welche Pflanzendecke oder Schnee-, bzw. Eisdecke sie trägt; ebenso wichtig ist die Abhängigkeit der klimatischen Elemente von meteorologischen Bedingungen, die also auch ihrerseits wieder als klimatische Faktoren auftreten: so die Abhängigkeit des Windes von der Druckverteilung, die der Strahlung und Lufttemperatur von der Bewölkung usw. Bei diesen aber wirkt das Bedingte stets mehr oder weniger auf das Bedingende zurück, so daß sich uns ein kompliziertes Ineinandergreifen von Ursache und Wirkung darbietet, das zu überblicken nicht leicht und das der exakten Rechnung zu unterwerfen gewöhnlich unmöglich ist. Dennoch ist es hier, wie in der ganzen Meteorologie, sehr wichtig, daß bei jedem Erklärungsversuch die Quantitäten, um die es sich handelt,

wenigstens annähernd geschätzt werden, da sonst der Aufstellung grundloser, nur scheinbar plausibler Erklärungen für die verwickelten Vorgänge Tür und Tor geöffnet sind.

Unter den klimatischen Faktoren lassen sich zwei — der Einfluß der geographischen Breite und jener der Neigung des Bodens — zum Teil auf einen und denselben Faktor zurückführen: auf den Winkel, unter dem die Sonnenstrahlen die Erdoberfläche treffen. Der Wechsel dieses Winkels im Laufe des Tages und des Jahres, oder beim Übergang aus einer Breite in eine andere, oder vom Nord- zum Südabhang eines Berges oder Gebirges ist die Ursache für eine Menge der auffallendsten klimatischen Erscheinungen. Es ist daher nicht zu verwundern, daß das Wort „Klima" vom griechischen *κλίνειν*, neigen, sich herleitet, wobei unbestimmt bleibt, ob es eine gelehrte, von der Neigung der Sonnenstrahlen oder gar der Erdachse ausgehende Wortbildung oder die Verallgemeinerung eines volkstümlichen, im gebirgigen Griechenland naheliegenden Begriffes für den Unterschied zwischen den nach verschiedenen Himmelsrichtungen schauenden Abhängen ist.

Einen zweiten mächtigen Einfluß der Neigung einerseits des Horizonts zur Erdachse, andererseits der Bodenoberfläche zum Horizont hat man erst in den letzten 100 Jahren mehr und mehr erkannt: es ist ihr mechanischer Einfluß auf die Bewegungen der Luft. Einerseits unterliegen durch die Erdrotation alle horizontalen Bewegungen in der Atmosphäre einer je nach der geographischen Breite verschiedenen Ablenkung, durch die sie, statt ihr Ziel auf kürzestem Wege zu erreichen, in den gemäßigten und höheren Breiten zur Bildung von Wirbeln genötigt werden, deren buntem Durcheinander wir die Launenhaftigkeit unseres Wetters im Gegensatz zu dessen Regelmäßigkeit unter dem Äquator verdanken. Andererseits bedingt die mechanische Empordrängung horizontaler Luftströme an den Lehnen der Gebirge einen großen Teil der Eigentümlichkeiten des Höhenklimas, die wir weiter unten kennen lernen werden.

Für die Darstellung in diesem Buche ziehen wir es vor, die klimatischen Faktoren der Breite, Höhe usw. bei den einzelnen Elementen des Klimas zu behandeln und nur zum Schluß ihren Einfluß auf alle diese übersichtlich zusammenzufassen, um so von der Betrachtung der einzelnen Züge zu jener des Gesamtbildes des Klimas einer Gegend überzugehen.

§ 3. Höchste und niedrigste Werte der klimatischen Elemente, Veränderlichkeit und Häufigkeit ihrer Werte.

Der Spielraum, in dem sich die klimatischen Elemente bewegen, stellt sich für die wichtigsten wie folgt:

Die niedrigste Temperatur, die in der untersten Luftschicht bis jetzt beobachtet wurde, ist —70° C in Ostsibirien. In der freien Atmosphäre sind bereits, mit Hilfe unbemannter Luftballons mit Registrierapparaten, in 8—15 km Höhe noch niedrigere Temperaturen festgestellt worden, nämlich —70° bis —86° C; höher hinauf, in der sogenannten Stratosphäre, hört die Temperaturabnahme auf und ist es z. T. wieder etwas wärmer als in dieser Schicht.

Die höchsten in der Sahara, der indischen und der Coloradowüste beobachteten Lufttemperaturen haben 52 und 53° C erreicht; doch ist die Bestimmung etwas unsicher, weil der Einfluß der direkten und zurückgeworfenen Sonnenstrahlung schwer auszuschließen ist. Der Boden und also auch der vom Boden aufgewirbelte Sand kann noch viel heißer werden.

Die höchste relative Feuchtigkeit der Luft ist 100% und wird oft erreicht, wenn auch nicht so oft, wie man gewöhnlich glaubt. Die niedrigsten bisher beobachteten Luftfeuchtigkeiten an der Erdoberfläche sind bisher gewesen: in Europa in einigen Alpentälern bei Föhn bis zu 6% herab, und in Ungarn und Südrußland bis zu 12%, im Death Valley in Nordamerika 5%. Dagegen sind in der freien Atmosphäre oberhalb 500 m über dem Boden solche und noch größere Trockenheiten in der kälteren Jahreszeit nicht selten, auch zu Hamburg, wo am Erdboden nie eine relative Feuchtigkeit unter 21% beobachtet worden ist und in der Hälfte der Beobachtungsjahre keine Werte unter 33% notiert worden sind.

Der höchste Barometerstand, reduziert auf Gefrierpunkt, Normalschwere und Meeresniveau, ist in Westsibirien mit 809 mm zur Beobachtung gekommen; sogar ohne Reduktion aufs Meeresniveau ist in Tomsk ein Stand von 793 mm verzeichnet worden. Die niedrigsten bisher beobachteten Stände waren, im Meeresspiegel und mit denselben Reduktionen, 686 und 688 mm in tropischen Zyklonen — Bai von Bengalen 1885 und China-See 1891 —, 692 mm in Island 1824 und 694 mm in Schottland am 26. Januar 1884; an demselben

Orte stieg der Luftdruck am 20. Januar 1896 auf 790 mm, also 96 mm höher. An der oberen Grenze der Atmosphäre ist der Luftdruck Null. Registrierballone erreichen zuweilen Höhen von 20—25 km, wo der Luftdruck kaum $^1/_{20}$ des Wertes hat, den er am Meeresspiegel besitzt.

Die Windgeschwindigkeit schwankt zwischen 0 und 50 m in der Sekunde, doch schon Geschwindigkeiten über 30 m per Sekunde sind am Erdboden sehr selten und werden als Orkan bezeichnet. Nach den zerstörenden Wirkungen zu schließen, kommen bei manchen Orkanen, insbesondere bei den in wenigen Minuten vorüberziehenden Windhosen (besonders den nordamerikanischen „Tornados"), noch größere Windgeschwindigkeiten als 50 m per Sekunde vor, doch haben solche noch nicht gemessen werden können. Ein „mäßiger Wind" hat 6—8 m per Sekunde Geschwindigkeit.

Die klimatischen Elemente zeigen an jedem Orte sowohl periodische, als unperiodische Schwankungen. Von periodischen sind die beiden einzigen sicher ermittelten die tägliche und die jährliche Periode. Beide sind auf den Festländern größer als auf den Meeren; mit wachsender geographischer Breite nimmt im allgemeinen die tägliche Schwankung ab, die jährliche bei Temperatur und Luftdruck zu, bei Regen, Bewölkung und Wind ab. Die unperiodischen Schwankungen nehmen mit der Breite, wenigstens bis gegen 60 Grad, zu. Als Maß der Veränderlichkeit werden verschiedene Größen aus den Beobachtungen abgeleitet, insbesondere: 1. die mittlere Größe der höchsten und niedrigsten Werte und ihrer Differenz während eines Monats des Jahres; 2. die mittlere Abweichung der Einzelbeobachtungen oder des Tages-, Monats- und Jahresmittels vom vieljährigen Durchschnitt, ohne Rücksicht auf das Zeichen gemittelt; 3. die mittlere Differenz zweier um 24 Stunden abstehender Beobachtungen oder zweier aufeinanderfolgender Tagesmittel (interdiurne Änderungen). Alle diese Größen sind ihrerseits selbst wichtige klimatische Elemente, die zur Charakteristik der Klimate dienen können.

Die verschiedenen klimatischen Elemente, wie Bewölkung und Temperatur, Windrichtung und Temperatur, Windrichtung und Regen, beeinflussen einander in mehr oder weniger entschiedener Weise. Ihr Zusammenhang ist ein Gegenstand der Meteorologie und muß hier als in den Hauptzügen bekannt vorausgesetzt werden, wird jedoch wegen seiner entscheidenden

Wichtigkeit für das Verständnis der Klimate auch in der Klimakunde an vielen Punkten berührt.

Innerhalb des Spielraums, in dem sich ein klimatisches Element an einem gegebenen Orte bewegt, ist die Häufigkeit seiner verschiedenen Werte sehr ungleich. Je näher den extremen Grenzen, um so seltener treten diese Werte auf; es sind aber keineswegs etwa diejenigen Werte, die dem arithmetischen Mittelwert aller Beobachtungen am nächsten kommen, immer auch die häufigsten, und das arithmetische Mittel selbst liegt keineswegs immer in der Mitte zwischen den Extremen, vielmehr kann die Lage aller dieser Punkte nur durch besondere Untersuchungen aus der Erfahrung bestimmt werden. Daß dieses so sein muß, wird klar, wenn wir z. B. ein Element nehmen, das wie die Regenmenge und die Windgeschwindigkeit nach einer Seite (durch Null) begrenzt, nach der anderen unbegrenzt ist. Dann sind die Werte, die kleiner als das arithmetische Mittel sind, viel häufiger als die, welche größer als dasselbe sind, und von den beiden Extremen liegt das kleinere dem Mittel viel näher als das größere. Bei der Temperatur liegt zwar der (absolute) Nullpunkt so tief und ist die Temperatur der Wärmequelle — der Sonne — so hoch, daß ihre Änderungen nach beiden Richtungen gleich wenig beschränkt sind; hier kommt aber der Einfluß der Bewölkung zur Geltung, durch den diejenigen Temperaturen, die dem an diesem Ort und zu dieser Jahreszeit häufigeren Bewölkungsgrad entsprechen, häufiger sind, die dem selteneren entsprechenden dafür extremer sind. Das letztere sind in unserem trüben Klima im Winter die negativen, im Sommer die positiven Abweichungen vom Mittel, also die großen Kältegrade und Hitzegrade. In heiteren Klimaten, wie z. B. in Astrachan im Sommer und in Nertschinsk im Winter, sind im Gegenteil die bei trübem Wetter eintretenden Temperaturen, also in ersterem die Abweichungen unter, in letzterem die über dem Mittel, die selteneren und entsprechend extremeren.

§ 4. Die Veränderlichkeit als klimatisches Element.

Die Veränderlichkeit oder Unbeständigkeit der einzelnen Bestandteile der Witterung ist in verschiedenen Gegenden der Erde so verschieden und für deren Klima so bezeichnend, daß sie eine besondere Besprechung verdient. Die verschiedenen

Maße der Veränderlichkeit findet man auf S. 6 besprochen. Ihre Ergebnisse stimmen insofern überein, als alle drei eine am Äquator sehr geringe und mit wachsender Breite mehr oder weniger zunehmende Veränderlichkeit aller Elemente zeigen. Daneben weisen sie aber viele eigenartige Züge auf, die durch ihr verschiedenes Verhalten zu Land und Wasser usw. bedingt sind.

Der vielfache Wechsel kalter und warmer, trockener und nasser Tage in den gemäßigten und höheren Breiten wird durch das Auftreten und die Wanderung von Gebieten hohen und niedrigen Luftdrucks beherrscht, einerseits wegen deren verschiedenen Strahlungsverhältnissen, andererseits wegen der damit (im barischen Windgesetz) verbundenen Änderungen der Windrichtung und Windstärke. Die Winde bringen uns je nach ihrem Ursprung und Weg verschiedene Temperatur und Feuchtigkeit. Ferner bringen uns barometrische Depressionen Wolken und Niederschläge, mit im Winter vergleichsweise mildem, im Sommer kühlem Wetter; die Hochdruckgebiete klaren Himmel, Winterkälte und Sommerhitze.

Unter den verschiedenen Zügen der Veränderlichkeit der Witterung sind daher die unperiodischen Luftdruckschwankungen der bedeutsamste. Der einfachste Ausdruck dafür ist die aus Punkt 1 (S. 6) sich ergebende mittlere Monatsschwankung des Barometers. Fig. 1 stellt diese im Mittel der drei Wintermonate dar, d. h. Dezember, Januar, Februar auf der nördlichen, und Juni, Juli, August auf der südlichen Halbkugel. In der Tropenzone ist der Betrag der täglichen Schwankung — $1^1/_2$—$2^1/_2$ mm — abgezogen. Im Sommer ist die geographische Verteilung der Schwankungen ungefähr dieselbe, ihre Größe wächst aber mit der Breite viel weniger, statt von < 5 auf > 45 mm, wie im Winter, nur von < 5 auf wenig über 25 mm im Norden und auf 33—35 mm im Süden.

Die Zunahme der unregelmäßigen Barometerschwankungen mit der Breite erstreckt sich nur etwa bis 60°, darüber hinaus nehmen sie zu den Polen wieder ab, im Winter auf 30—35 mm, im Sommer nach dem Nordpol zu sogar unter 20 mm. Ferner sind sie auf den Ozeanen und an den Ostküsten der Festländer in gleicher Breite größer, als im Innern und auch (bis zu 50°) als an den Westküsten der letzteren.

Neben der ablenkenden Kraft der Erdumdrehung und der Reibung an der Unterlage ist für diese Unterschiede besonders

die Größe der Temperaturabnahme mit wachsender Breite maßgebend. Annähernd läßt sich die mittlere monatliche Baro-

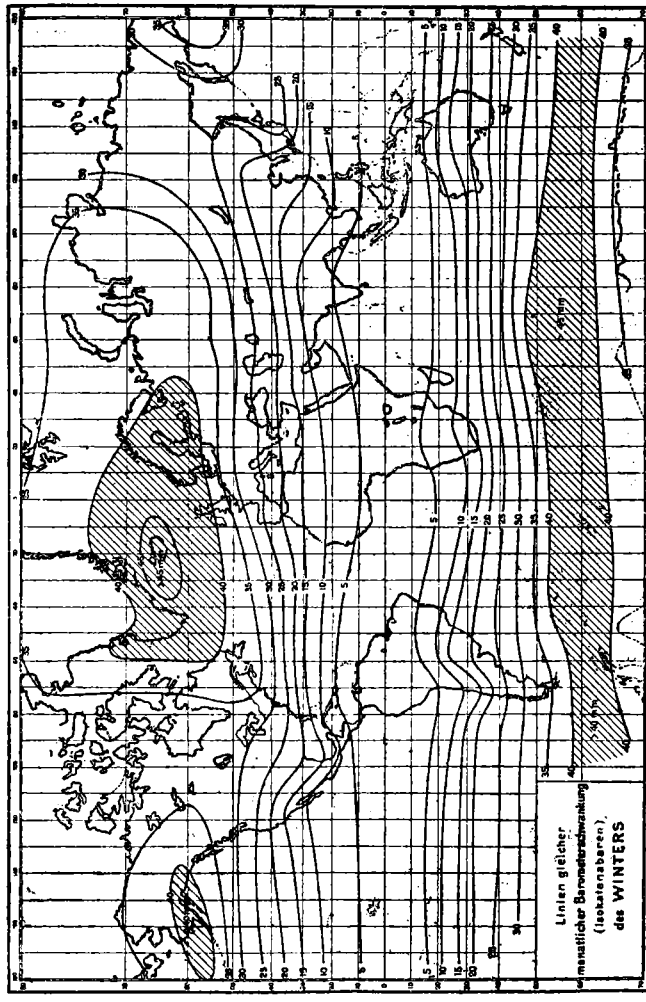


Fig. 1.

meterschwankung S (in Millimetern) für Winter und Sommer durch die Formel ausdrücken:

$$S = 2150(\Delta_t + 10)\left(\frac{4\,\omega^2 \sin^2 \varphi}{k} + k\right),$$

worin Δ_t den Temperaturunterschied zwischen 20° und 60° Br., ω die Winkelgeschwindigkeit der Erdumdrehung, φ die geographische Breite und k den Reibungskoeffizienten bedeutet.[1])

Die Jahreszeit der größten Druckschwankungen ist nicht überall der Winter. Wo tropische Orkane auftreten, ist es z. T. der Sommer und Herbst, dagegen an manchen Orten Ost- und Südasiens, Nordamerikas, Australiens u. a. der Frühling.

Die mittlere Abweichung der Einzelbeobachtung vom Normalwert (S. 6, Punkt 2) verhält sich auf dem Raume von Nordamerika bis Europa, wo allein sie bis jetzt untersucht worden ist, der mittleren Monatsschwankung ähnlich. Dagegen weicht die Verteilung der interdiurnen Änderungen (S. 6, Punkt 3) etwas mehr hiervon ab, weil bei ihr die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der Druckgebiete mitspielt. Diese ist im östlichen Nordamerika bedeutend größer als in Europa.

Die Veränderlichkeit der Temperatur ist hauptsächlich in Hinsicht auf die mittlere Abweichung der Monatsmittel vom Normalwert (zuerst durch Dove) und die Änderungen von Tag zu Tag (zuerst durch Hann) untersucht; deren Verteilung über die Erde ist in den Hauptzügen bekannt, wenigstens auf der nördlichen Halbkugel. Auch diese Größen haben, wie die Barometerschwankungen, ihren geringsten Wert am Äquator und in der wärmeren Jahreszeit, ihr Spielraum ist aber etwas kleiner: der kleinste und größte Wert verhalten sich nicht wie bei den Barometerschwankungen = 1 : 10, sondern räumlich etwa = 1 : 8, und jahreszeitlich vielfach nur wie 1 : 2 oder 1 : $1^1/_2$; sie bewegen sich nämlich bei beiden Größen zwischen $< {}^1/_2{}^0$ am Äquator und $> 4^0$ im Winter in Westsibirien und den Hudsonsbailändern. Das Klima Ostsibiriens ist erheblich beständiger. Im übrigen aber sind, im Gegensatz zu den Schwankungen des Luftdrucks, die der Temperatur im Innern der Festländer größer als auf den Ozeanen.

Die Veränderlichkeit des Regenfalls ist bis jetzt nur für wenige Gebiete untersucht, so daß ein allgemeiner Überblick noch nicht gegeben werden kann. Die wichtige Tatsache aber ist festgestellt, daß im Gegensatz zu der ungemeinen Beständigkeit der Temperatur der Regenfall in vielen Gegenden der Tropen und Subtropen sehr große und verhängnisvolle Unterschiede zwischen verschiedenen Jahrgängen zeigt, größere,

---

[1]) Vgl. Meteorol. Zeitschr. 1912, S. 506—509.

als sie aus höheren Breiten irgend bekannt sind. Das hängt offenbar damit zusammen, daß auch im räumlichen Nebeneinander die Tropenzone für die Temperatur (in gleicher Meereshöhe) außerordentliche Gleichförmigkeit, für den Regenfall aber viel größere Mannigfaltigkeit zeigt, als die höheren Breiten. Ist dies eine Folge der Beständigkeit der Windrichtungen in den Tropen, wodurch jedes Gebirge seine Wind- und seine Leeseite hat, so ist wiederum die gelegentliche Verschiebung der Regen- und Trockenzeiten eine Wirkung gelegentlicher Verschiebungen des Windsystems und der zugehörigen Regen- und Trockengebiete. So kommen die Monsunregen in Indien oder die Winterregen an seiner Nordgrenze in manchen Jahren so spät und so spärlich, daß Mißwachs und Hungersnot eintritt. Einige Inseln am Äquator im Stillen Ozean zeigen diese Veränderlichkeit in äußerstem Maße; die Regenmenge betrug auf Nauru 1896 2929, 1898 nur 439 mm, auf Malden-Eiland 1905 1609, 1908 nur 100 mm. Ein Bild über die geographische Verteilung der Veränderlichkeit läßt sich aber für den Regenfall noch nicht gewinnen; die für manche Gegenden Europas, Asiens und Nordamerikas vorhandenen Zahlen lassen noch kaum durchgreifende Züge erkennen.

Die Bewölkung weist einen großen geographischen Gegensatz darin auf, daß in höheren Breiten die extremen, in niederen Breiten die mittleren Bewölkungsgrade vorwalten. In Mitteleuropa stimmt darin der Winter mit den höheren, der Sommer mit den niedrigeren Breiten überein. Letzteres hängt eben mit der Herrschaft höherer Wolken und besonders der Kumulusform, ersteres mit derjenigen niedriger Wolkendecken von Stratus- und Strato-Kumulusnatur zusammen.

In Nord- und Mitteleuropa überwiegt gebrochener Himmel, (mittlere Bewölkungsgrade) in der wärmeren Jahres- und Tageszeit, in der kälteren bedeckter; wolkenloser Himmel ist der seltenste Zustand, am häufigsten tritt er noch abends ein. Am Mittelmeer ist dagegen abends, und im Sommer auch um Mittag, Wolkenlosigkeit der häufigste Fall; zu den übrigen Tages- und Jahreszeiten ist es gebrochener Himmel. In Ostasien herrscht umgekehrt im Januar und Februar Wolkenlosigkeit vor, bedeckter Himmel ist dort im Winter sehr selten, im Sommer überwiegt gebrochener Himmel, namentlich um Mittag, durchaus. Von den Tropen gilt im allgemeinen außerhalb der Wüsten das Wort: „Es gibt immer Wolken am

Himmel, aber nie bedecken sie den Himmel ganz, selbst nicht in der Zeit der großen Regen.“ Auf den Ozeanen ist, auch in den gemäßigten Zonen, die teilweise Bewölkung des Himmels auch im Winter häufiger als auf dem Festlande, was auf stärkeren vertikalen Luftaustausch (mehr Turbulenz) über dem Meere hinweist.

Die warmen und kalten, trockenen und nassen Tage sind nicht so miteinander gemischt, wie es der Zufall ergeben würde. Vielmehr besteht durch die längere Andauer gleicher Ursachen eine mehr oder weniger ausgesprochene Erhaltungstendenz im Wetter. Die Wechsel sind viel seltener, die Erhaltungen viel häufiger, als dem Zufall entsprechen würde, und zwar wächst die Wahrscheinlichkeit der Erhaltung, je länger die gleiche Witterung andauert. Die Mischung z. B. von Regen- und Trockentagen würde eine viel innigere sein, wenn sie eine zufällige wäre; ihre Erhaltungstendenz, also ihre Häufung zu langen Perioden regnerischen und trockenen Wetters ist eine den Pflanzenbau sehr beeinträchtigende Eigentümlichkeit. Über die Unterschiede dieser Tendenz in verschiedenen Klimaten weiß man noch sehr wenig. Sie nimmt in Europa vom Nordwesten nach Osten und Süden ab, und scheint am Mittelmeer noch nicht halb so groß zu sein wie an der Nordsee.

Es scheint, daß die Wetterwechsel eine Neigung zur Wiederkehr in bestimmten kurzen Zeitabständen haben; in der nördlichen gemäßigten Zone namentlich in solchen von 5—6 Tagen. Doch bedarf dies noch näherer Aufklärung.

Kapitel 2.

Meteorologische Beobachtungen und deren Bearbeitung.

§ 5. Meteorologische Beobachtungen.

Das Material für die Klimakunde wird in der Hauptsache durch meteorologische Beobachtungen geliefert. Diese erfordern zwar zum größten Teile weder viele Mühe, noch auch schwer zu erwerbende Kenntnisse oder kostspielige Instrumente; allein sie verlangen, um Wert zu haben, ein bedeutendes Maß von Pünktlichkeit und Sorgfalt und die Beachtung einer Reihe

von Regeln, durch deren Vernachlässigung ein großer Teil der Arbeit wertlos werden kann. Eine Menge viele Jahre fortgesetzter Beobachtungsreihen erwiesen sich bei dem Versuche ihrer Verwendung als unbrauchbar, weil die Korrektionen der Instrumente und deren Aufstellung nicht bekannt, die Beobachtungsstunden fraglich oder schlecht gewählt und nicht fest eingehalten sind und der Sinn vieler Notierungen nicht genau feststellbar ist. Wer deshalb den Wunsch hat, durch meteorologische Aufzeichnungen die Wissenschaft zu fördern, möge die folgenden Hinweise beachten. Ausführlichere Anweisungen findet man in den Instruktionen der verschiedenen Beobachtungsnetze, z. B. des Preußischen meteorologischen Instituts und der Deutschen Seewarte; durch reichhaltige Hilfstafeln zeichnet sich unter diesen besonders „Jelineks Anleitung" aus, in vielen Auflagen neu bearbeitet.

1. Nur Beobachtungen, die mit Sorgfalt und Pünktlichkeit angestellt sind, können wissenschaftlich verwendet werden. Man halte die einmal gewählten Stunden möglichst präzise ein, vermerke allfällige Verspätungen genau, sorge wenn möglich für einen zuverlässigen Stellvertreter und lasse, wenn dennoch eine Beobachtung ausfällt, die Rubrik leer, statt sie mit gemutmaßten Werten auszufüllen.

2. Man sorge dafür, daß alle Überschriften im Journal verständlich seien, daß über den Sinn jeder Zahl durchaus kein Zweifel bestehen könne, weder über Instrument und Skala (z. B. ob Grade Celsius oder Grade Reaumur), noch über die Zeit, auf welche sie sich bezieht, und schiebe diese Erklärungen nicht etwa in dem Glauben auf, daß man sie ja jederzeit im Bedarfsfalle machen könne. Wird dann, wie so oft geschehen ist, das Tagebuch erst nach dem Tode des Urhebers einem Fachmanne übergeben, so ist es gewöhnlich zu spät dafür. Beobachtet man Instrumente, so suche man deren Fehler gegen die sogen. Normalinstrumente eines meteorologischen Instituts festzustellen. Schon beim Ankauf derselben suche man Korrektionstabellen dafür mit zu bekommen; da jedoch kein Instrument völlig unveränderlich ist, so suche man später von Zeit zu Zeit die Korrektionen zu ermitteln. Die früher recht lästige allmähliche Verschiebung des Nullpunkts ist heute für Quecksilberthermometer aus Jenenser Glas so gut wie ausgeschlossen. Für Barometer ist öftere, etwa alljährliche Vergleichung mit einem geprüften Instrumente wichtig.

In Ländern ohne staatliches Beobachtungsnetz bieten sich Gelegenheiten dafür in den Hafenplätzen durch die Besuche solcher deutschen und englischen Schiffe, die für die Deutsche Seewarte oder das „Meteorological Office“ Journal führen. Man beginne das Journal mit einigen Angaben über den Ort der Beobachtung, die benutzten Instrumente und deren Aufstellung, und notiere jede Änderung in diesen Dingen.

3. Die Lage des Beobachtungsortes sei eine möglichst freie, luftige und von der näheren Umgebung wenig beeinflußte. Beobachtungen, die in engen Straßen volkreicher Städte angestellt werden, sind wohl interessant zum Vergleich mit jenen des offenen Landes oder zu speziellen Zwecken, können aber über das Klima der Gegend keinen richtigen Aufschluß geben. Die Lufttemperatur z. B. ist in einer großen Stadt in unseren Breiten durchschnittlich um 0,5—1° höher als in der Umgebung; der Unterschied ist am größten in windstillen Sommernächten, wo er 2° übersteigt, bei windigem Wetter wird er gering; wohl aus diesem Grunde ist er im Winter, trotz der Heizung und Beleuchtung, kleiner als im Sommer, und in den Tropen größer als bei uns. Sehr lehrreich sind vergleichbare Beobachtungen in benachbarten, aber verschiedenen Lagen, wie in und außerhalb der Stadt oder des Waldes, auf dem Gipfel eines Hügels oder Berges, an dessen Abhang und im Tale am Fuße desselben usw., die je nach der Tageszeit, der Bewölkung und dem Winde merklich verschiedene Ergebnisse liefern.

4. Als Beobachtungsstunden wähle man in Gebieten, die ein organisiertes Beobachtungsnetz besitzen, womöglich die Stunden, die in diesem oder doch in einem nah benachbarten Netze gebräuchlich sind, um Material zu lehrreichen Vergleichen zu bekommen. Gewöhnlich wird dreimal am Tage beobachtet, und am meisten werden gegenwärtig, wenigstens von Deutschen, für klimatologische Zwecke die Stunden 7^h a. m., 2^h p. m. und 9^h p. m., für Zwecke der Wettertelegraphie die Stunden 8^h a. m., 2^h p. m. und 7^h p. m. bevorzugt.

5. Wer vollständige meteorologische Beobachtungen an Instrumenten machen will, wie sie einer regulären Station 1. oder 2. Ordnung entsprechen, tut am besten, sich einem bestehenden Stationsnetze anzuschließen, sich Instrumente und Instruktionen von einem meteorologischen Institut geben zu lassen und diesem seine Beobachtungen, wenn möglich

allmonatlich, einzusenden. Wir können uns daher hier mit wenigen Winken für Beobachtungen über Lufttemperatur, Regenfall und solche ohne Instrumente begnügen, weil für derartige der Kreis der Teilnehmer viel weiter gezogen werden kann.

Das Thermometer muß, um die Luftwärme anzugeben, vor Regen, Sonne und auch der Strahlung solcher Gegenstände geschützt sein, die wesentlich wärmer oder kälter als die Luft sind, zugleich aber dem Luftwege möglichst frei ausgesetzt sein und in Luft sich befinden, die als eine maßgebende Probe derjenigen angesehen werden kann, deren Wärmeverhältnisse wir studieren wollen. Es ist nicht leicht, besonders in sonnigen und windstillen Klimaten, diese Forderungen gleichzeitig ausreichend zu erfüllen. Zweierlei Aufstellungen sind gebräuchlich: 1. vor einem Fenster auf der Schattenseite des Hauses, womöglich vor einem im Winter nicht geheizten Raum und 20—30 cm von der Wand entfernt; und 2. in einem besonderen Gehäuse im Garten oder auf einer Wiese; als solches hat die Stevensonsche oder englische Hütte die größte Verbreitung, die im Sonnenschein bei Windstille allerdings etwas zu hohe Temperatur ergibt. Die gewöhnlichen Beschirmungen aus Zinkblech sind wohl gut, um die Thermometer vor Regen und Beschädigung zu schützen, verringern aber die Wirkungen von Strahlung nicht. Die günstigsten Ergebnisse liefert das Aßmannsche Aspirationspsychrometer, das aber für gewöhnliche Stationen etwas zu teuer und zeitraubend ist. Für gelegentliche Bestimmungen der Lufttemperatur tut ein Thermometer mit kleinem Gefäß, rasch im Kreise herumgeschwungen, gute Dienste, da es sehr wenig von Strahlung beeinflußt wird (Schleuderthermometer).

Der Regenmesser mißt den in Tropfen oder Flocken fallenden Niederschlag; Niederschläge, die sich wie Tau und Reif an den festen Oberflächen selbst bilden oder, wie die Nebelteilchen, schweben, können damit nicht in brauchbarer Weise gemessen werden. Seine Angaben bedeuten, wie hoch das Wasser den Boden bedecken würde, wenn es weder abflösse, noch einsickerte, noch verdunstete. Schnee wird vor der Messung geschmolzen; zu diesem Behufe führt jede Station in unseren Breiten 2 Regenmesser. Die Form und Einrichtung des Regenmessers kann verschieden sein; wesentlich ist nur, daß seine obere Öffnung, die ein Fünfzigstel bis ein Zwanzigstel

eines Quadratmeters betragen kann, genau bekannt, durch Verstärkung vor Verbiegen geschützt und horizontal aufgestellt sei, sowie daß ein doppelter Boden das Wasser durch enge Löcher aufnehme und vor Verdunstung schütze. Aus diesem wird das Wasser durch Hahn, Ausgußrohr oder anders in ein Meßglas gegossen. Läßt man sich den Regenmesser vom Klempner am Ort machen, so mache man die Öffnung rund mit einem Durchmesser von 178 mm, dann ist diese ein vierzigstel Quadratmeter und bedeuten 25 Gramm oder Kubikzentimeter gesammelten Niederschlags eine Regenhöhe von 1 mm. Der Regenmesser ist so aufzustellen, daß er von höheren Gegenständen nicht mehr als um 30° überragt wird, aber doch dem Winde nicht voll ausgesetzt ist, da anderenfalls bei starkem Winde von feinem Regen und besonders Schnee zu wenig gemessen wird.

Beobachtungen ohne Instrumente können, wenn sie, mit Aufmerksamkeit, Ausdauer und Sachkenntnis angestellt werden, der Wissenschaft ebensoviel Nutzen bringen, wie solche an Instrumenten. Es muß dabei streng unterschieden werden zwischen Wahrnehmungen, die zur Zeit der einmal gewählten Beobachtungstermine selbst, und solchen, die in der Zwischenzeit zwischen diesen Terminen gemacht werden; die Vermengung beider macht heute noch viele Aufzeichnungen mehr oder weniger unbrauchbar.

Die erste Forderung muß sein, daß wir von der Witterung zur Zeit der Terminbeobachtung eine möglichst vollständige Darlegung bekommen; an zweiter Stelle müssen wir wünschen, auch über das, was zwischen den Beobachtungsterminen vorging, unterrichtet zu werden. Für die Instrumentalbeobachtungen ergibt sich diese Unterscheidung von selbst. Die Beobachtungen ohne Instrumente aber, die sich dem aufmerksamen Menschen in jedem Moment von selbst aufdrängen, werden leicht in einer Weise angeschrieben, die die Feststellung, ob es zur Zeit des Beobachtungstermines selbst regnete, schneite, nebelte oder die Sonne schien, unmöglich macht. Und doch ist sicherlich das Bild vom Wetter ohne diese Angabe ganz unvollkommen und bedeutet z. B. der Stand des Psychrometers etwas anderes, wenn es regnet, als wenn die Sonne scheint.

a) Beobachtungen ohne Instrumente zu festen Terminen. Als Bewölkung wird notiert, wieviel Bruchteile des sichtbaren Himmelsgewölbes von Wolken eingenommen

werden, sei es nach Zehnteln oder nach Vierteln, so zwar, daß 0 wolkenlosen, 10 oder 4 ganz bedeckten, 5 oder 2 halb bedeckten Himmel bedeutet. Die Dicke der Wolke kann durch Exponenten 0 und 2 beigefügt werden, z. B. 10^2 dick bedeckt, 10^0 leicht bedeckt. Beobachtungen über die Bewölkung der Nacht sind schwieriger und spärlich vorhanden; sie sind aber sehr interessant zum Vergleich mit dem Temperaturminimum (vgl. §8).

Die Notierung von Hydrometeoren, die zur Zeit der Termine stattfinden, geschieht am besten in der Rubrik der Bewölkung, die dafür breiter zu nehmen ist; die internationalen Zeichen sind ● Regen, ✶ Schnee, △ Graupeln, ▲ Hagel, ≡ Nebel, ∟o∟ Tau, ⊥⊥ Reif, hierzu sollte noch ⊙ als Zeichen für Sonnenschein kommen. An diesen einfachen Notizen kann die Untersuchung der Dauer und täglichen Periode der Niederschläge, über die bis jetzt wenig bekannt ist, mit Erfolg stattfinden, auf Grund derselben Voraussetzung, die der Verwendung aller Terminbeobachtungen zugrunde liegt, nämlich: daß die so herausgegriffenen Augenblicke im mehrjährigen Mittel als richtige Proben für den Durchschnitt der benachbarten Stunden gelten können. Hatten z. B. in einer längeren Beobachtungsreihe 30% der um 2^h p. m. angestellten Beobachtungen Sonnenschein, so darf man annehmen, daß im Laufe von je 100 Stunden um diese Tageszeit im ganzen 30 Stunden lang die Sonne schien, 70 Stunden lang sie bedeckt war. Die Zahl der Stunden, in denen Sonnenschein vorkam, war natürlich viel größer, weil hier jeder Bruchteil einer Stunde für eine ganze Stunde gezählt wird. Schreibt nun jemand in der Absicht, recht vollständig zu sein, „Sonnenschein" oder „Regen" in die Terminbeobachtung, auch wenn diese vor der Beobachtung, aber nicht bei derselben stattfanden, so wird das obige Verhältnis zu groß und die ganze Berechnung falsch. Sonnenschein-Autographen kommen erst in neuester Zeit auf und sind ziemlich teuer. Notiert man jede Stunde oder jede zweite, ob die Sonne scheint oder nicht, so kann dieser wichtige Klima-Faktor auch ohne Autograph, wenn auch minder vollständig, festgelegt werden.

Auf diese Weise kann jede Person mit regelmäßigen Lebensgewohnheiten, z. B. jeder, der täglich seinen Weg zu bestimmten Stunden zwischen Wohnung und Arbeitsstätte macht, ohne alle Instrumente der Klimatologie einen wichtigen Dienst leisten, wenn er stets notiert, ob in einem gewissen Moment, z. B. am

Anfang oder Ende dieses Weges, ●, ✳, ⊙, ≡ oder keins von diesen Phänomenen statthatte.

Die Beobachtung des Windes können wir insofern zu den Beobachtungen ohne Instrumente rechnen, als eine Windfahne, eine Flagge oder rauchende Schornsteine fast überall auch ohnedies zu finden sind. Man ist international übereingekommen, da O im Deutschen Ost, im Französischen West bedeutet, die englischen Zeichen für die Winde zu benutzen, und begnügt sich auf dem Festlande meist mit 8 Richtungen: N, NE (Nordost), E, SE, S, SW, W, NW. Die Stärke des Windes wird jetzt gewöhnlich nach der auf See gebräuchlichen Skala des Admirals Beaufort 0—12 geschätzt. 0 völlig windstill, 1 leiser Zug, 2 leichter, 3 schwacher, 4 mäßiger, 5 frischer, 6 starker, 7 steifer, 8 stürmischer Wind, 9 Sturm, 10 starker, 11 schwerer Sturm, 12 Orkan.

b) Beobachtungen, die nicht immer im Termin gemacht werden können und für die man die günstigen Momente mehr als bisher ausnutzen sollte, sind die über den Wolkenzug; denn sie sind sehr wichtig für das Verständnis der atmosphärischen Zirkulation. Die Beobachtung geschieht: entweder indem man einen hohen Gegenstand — Dachecke usw. — in der Nähe der Wolke ins Auge faßt, oder indem man sich eines schwarzen, durch Linien geteilten Spiegels bedient, wozu jede Glasscheibe, unterwärts mit schwarzem Lack bezogen, dienen kann. In beiden Fällen muß man den Kopf durch Anlehnen oder sonstwie unbeweglich halten. Wolken am Horizont geben unsichere Beobachtung. Die Notierung geschieht, wie beim Winde, nach der Richtung, von wo der Zug kommt.

c) Ohne Rücksicht auf feste Termine können Angaben über Regen, Schneefälle, den Witterungscharakter des Tages, mit Beschreibung hervorragender Erscheinungen — z. B. Gewitterstürme u. dgl. — unter Umständen wertvoll werden. Gewitter notiere man etwa in der Form: Gewitter aus SSW nach ENE ziehend $4^3/_4$—$5^1/_2{}^h$ p. m., um 5^h Windstoß W 8, Regen von 5—8^h p. m.

Auch durch Notizen über das Zufrieren und Aufgehen von Flüssen und Seen, Hochwasser, Nachtfrost, die periodischen Erscheinungen in der Pflanzen- und Tierwelt, Saat und Ernte usw. kann ein aufmerksamer Beobachter viele, auch für die Klimatologie hocherwünschte Beiträge liefern, auf welche näher einzugehen hier indessen nicht am Ort wäre.

§ 6. Klimatologische Untersuchungen.

Nicht selten werden Beobachtungs-Journale, sei es gedruckte, sei es, was noch wichtiger, handschriftliche, von Nicht-Meteorologen bearbeitet. Die Wissenschaft hat von solcher Mitarbeit auch erheblichen Nutzen, weil das vorliegende Material durch die kleine Anzahl von Spezialisten unmöglich nach allen Richtungen bewältigt werden kann. Es sind aber auch dabei gewisse Regeln und Gesichtspunkte im Auge zu behalten, über die wir freilich hier nur einige Andeutungen zur Ergänzung des bisher Gesagten machen können.

Da in der Klimakunde die Zahlen im Grunde nur so weit Wert haben, als sie mit anderen verglichen und in Zusammenhang gebracht werden können, und zwar in der Regel mit solchen, die an anderen Orten von anderen Personen gewonnen wurden, so ist die Vergleichbarkeit der Zahlen die große Forderung, die alle klimatologischen Methoden beherrscht und deren Außerachtlassung sich in zahllosen Fällen durch Trugschlüsse oder mindestens verlorene Arbeit gerächt hat.

Ist das Journal, das man bearbeiten will, von einem meteorologischen Institut veröffentlicht, so darf man im allgemeinen voraussetzen, daß bereits die nötige Kritik auf seine Angaben angewandt sei. Ist es dagegen noch unpubliziert, so suche man nicht nur sich selbst ein Urteil über den Sinn und den Wert der Ergebnisse zu bilden, die man aus ihm zieht, sondern teile auch die nötigsten Angaben zur Bildung dieses Urteils in bezug auf Lage, Instrumente, Beobachtungsstunden, Verläßlichkeit usw. bei Veröffentlichung der Ergebnisse mit.

Unter den Methoden, die unendliche Fülle der Witterungserscheinungen in einfache Ausdrücke zusammenfassen, wird die Bildung des arithmetischen Mittels wohl stets obenan stehen, wenn man auch allmählich die Grenzen hat erkennen müssen, wo es seine Dienste versagt. Ist an n Tagen zu einer gewissen Tagesstunde h die Lufttemperatur abgelesen worden und ist S die Summe ihrer Werte, so ist S/n deren arithmetisches Mittel, das in diesem Falle die Mitteltemperatur der Stunde h in diesen n Tagen heißt. Ist während eines Tages eine genügende Zahl von Malen in gleichen Abständen, z. B. jede Stunde, die Lufttemperatur gemessen worden, und ist die Summe dieser Werte S', so ist ein Vierundzwanzigstel davon die Mitteltemperatur des Tages. Sind solche Messungen z. B.

während des ganzen Juni wiederholt worden, also 30 mal 24 gleich 720mal, und ist die Summe der Ablesungen S'', so ist $S''/720$ die Mitteltemperatur des Monats. Will man mit weniger Beobachtungen täglich auskommen, so müssen diese passend verteilt werden, auf Grund der Erfahrungen passender Vergleichsstationen. Da ferner die Jahrgänge untereinander große Unterschiede zeigen, so gehört eine große Zahl derselben dazu um das Mittel so festzulegen, daß die Hinzufügung weiterer Jahre es nicht mehr merklich ändert und daß man es als sog. Normalwert ansehen darf. Da nun die Erfahrung zeigt, daß die Abweichungen der einzelnen Jahrgänge vom Normalwert sich über größere Strecken ziemlich gleichmäßig ausdehnen oder, was dasselbe ist, daß die Differenzen zweier benachbarter Orte viel konstanter sind als ihre meteorologischen Werte selbst, so kann man aus Beobachtungsreihen von wenigen Jahren die Normalwerte sehr annähernd durch den Vergleich mit langjährigen Beobachtungen an anderen, nicht zu weit entfernten Orten ableiten. Man nennt dies die kurze Reihe auf die lange reduzieren. Es führt zu demselben Resultat, ob man zu diesem Behufe die mittlere Differenz, die beide Orte während der gleichzeitigen Beobachtungen zeigten, an die Normalwerte der Vergleichsstation anbringt, oder die Abweichung vom Normalwert, den dieser Zeitraum auf der letzteren Station aufwies, mit umgekehrtem Zeichen an das Mittel der kurzen Beobachtungsreihe anbringt. — Temperaturmittel werden in ganzen und Zehntel Graden des 100teiligen Thermometers angegeben.

Bei der Regenmenge pflegt man die Division durch die Zahl der Tage nicht vorzunehmen, sondern deren Summe für die Monate und das Jahr zu veröffentlichen; das hat allerdings den Übelstand, daß die Zahlen auch von der Länge des Monats beeinflußt sind (Februar!). Ganze Millimeter genügen für diese Summen, bei den einzelnen Messungen müssen aber, wegen der vielen schwachen Regen, auch Zehntel berücksichtigt werden.

Da gleiche Mittel und Summen auf sehr verschiedene Weise zustande kommen können, so ist zu ihrer Ergänzung mindestens die Angabe der Extreme, d. h. des größten und kleinsten Wertes, wünschenswert.

Neben der Berechnung der Mittel bzw. Summen und der Heraussuchung der Extreme ist das Auszählen gewisser Kate-

gorien von Werten das wichtigste Hilfsmittel der Klimakunde: die Bestimmung der Häufigkeit einer Erscheinung oder ihrer verschiedenen Stufen, sei es nach den einzelnen Terminen, sei es nach Tagen, wie z. B. die Zahl der Tage ohne und mit Regen von verschiedener Stärke, die Häufigkeit der einzelnen Bewölkungsgrade oder größerer Gruppen derselben, der Temperatur nach Gruppen von je zwei oder fünf Graden, der Winde nach Richtungen und nach Stärkestufen, oder des Eintritts des Maximums bzw. Minimums eines Elements zu einer gewissen Tagesstunde usw. usw. Teilt man diese Zahlen durch die ganze Anzahl der Beobachtungen bzw. Beobachtungstage des Zeitraums, so erhält man die „Wahrscheinlichkeit" der Erscheinung, die zwischen 0,00 und 1,00 liegen muß.

Bei der Publikation meteorologischer Beobachtungen gebe man in bezug auf die Lufttemperatur sowohl für die einzelnen Jahrgänge, als für das allgemeine Mittel derselben die mittlere Temperatur der Beobachtungstermine (z. B. 7^h, 2^h, 9^h) einzeln sowie deren Durchschnitt an, nach Monatsmitteln in Zehnteln eines Grades C; in den Augen eines Fachmannes hat man hiermit die Hauptsache getan, weil die Ableitung weiterer Resultate ihm damit ermöglicht ist; will man solche selbst erzielen, so suche man aus diesen Mitteln Normalwerte für den Ort abzuleiten, indem man sie einerseits, soweit nötig, durch Verbesserung nach einer passend gelegenen Vergleichsstation, deren täglicher Temperaturgang bekannt ist, auf 24stündige Mittel reduziert, andererseits in der oben angegebenen Weise bestimmt, wie das Mittel unseres Orts sich stellen würde, wenn er eine genügend lange Beobachtungsreihe hätte. Die Extreme sind besonders dann von Interesse, wenn vertrauenswerte Angaben von Maximum- und Minimum-Thermometern vorliegen. Aus dem mittleren täglichen Maximum und Minimum ergibt sich die „tägliche unperiodische Schwankung". Die Extreme jedes Monats geben die „monatliche Schwankung", die des Jahres die jährliche. Die absolut höchsten und niedrigsten Stände während einer längeren Jahresreihe geben das „absolute Maximum und Minimum", deren Differenz die „absolute Schwankung". Diese wächst stoßweise, wenn neue Jahrgänge hinzukommen, in denen noch extremere Werte vorgekommen sind. Die mittlere Schwankung dagegen wird durch neue Jahrgänge nur genauer durch Verringerung der Zufälligkeiten Endlich ist auch die Größe der Temperatur-Änderung von