

Die Klimate der geologischen Vorzeit

von

W. Köppen und **A. Wegener**

Meteorologe der Seewarte a. D.

o. Prof. a. d. Universität Graz

Mit 1 Tafel und 41 Abbildungen im Text

Berlin

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Schöneberger Ufer 12 a

1924

Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übertragung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright 1924, by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Inhalt

Einfleitung. Methoden des Buches S. 1. — Schichtenfolge S. 4

Kapitel I. Die fossilen Klimazeugen

Fossiles Eis 6; Spuren von Inlandeis und Gletschern 7; Kohlen als Zeugen für Regenkimate 8; Heutige Trockengebiete 10; Gips und Steinsalz 10; Wüstensandstein 12; Löß 14; Bodenfarben 15; Pflanzenreste 16; Reste von Landtieren 18; Kalkproduktion der Meeresfauna 19.

Kapitel II. Die Klimagürtel im Karbon und Perm

- A. Eisspuren 21
In Südafrika 24; mehrfache Vereisung 26; spezielle Schichtenfolge in Neusüdwales 26; zeitliche Verlagerung der Eiskappe 27; Schichtenfolge in Brasilien 28; desgl. in Südafrika 30; desgl. in Vorderindien 31; desgl. in Australien 32; Pseudoglaziale Erscheinungen 33.
- B. Kohle 34
Tropische Torfmoore 34; der äquatoriale Kohlengürtel des Karbon und Perm 36
Kohlen der südlichen Regenzone auf Moränen 38.
- C. Salz, Gips, Wüstensandstein 39
In Nordamerika 39; in Europa 40; Entstehung des Staßfurter Salzlagers 41; Salzlager in Afrika 42.
- D. Die Pflanzenwelt 43
Tropennatur der europäischen Karbonflora 43; Pecopterisflora, Lepidodendronflora und Glossopterisflora 46.
- E. Die Tierwelt 53
Kalkriffbildner 53; Reptilien 54.

Kapitel III. Die Klimagürtel im Mesozoikum

- A. Trias
Eisspuren 55; Kohle 56; Salz, Gips, Wüstensandstein 58; die Pflanzenwelt 61; die Tierwelt 63.
- B. Jura
Eis 65; Kohlen 65; Salz, Gips, Wüstensandstein 69; die Pflanzenwelt 71; die Tierwelt 72; Gliederung der Meeresfauna nach Neumayr-Uhlig 75; Kriterien aus der heutigen Fauna Australiens 77.
- C. Kreide
Eis 78; Kohle 80; Salz, Gips, Wüstensandstein 82; die Pflanzenwelt 85; die Tierwelt 88; Rudistenverteilung nach Dacqué 89; Saurier 91; Kriterien aus der heutigen Fauna Australiens 92.

Kapitel IV. Die Klimagürtel in der Tertiärzeit

- A. Das Frühtertiär (Paleozän, Eozän, Oligozän)
Eis 95; Kohle 96; Salz, Gips, Wüstensandstein 101; die Pflanzenwelt 103; Bernsteinwälder 105; frühtertiäre Waldflora des Nordpolargebietes 105; Südamerikanische Floren 108; äquatoriale Regenflora in Ägypten 109; die Tierwelt 110.
- B. Das Spättertiär (Miozän, Pliozän) 113
Eis 113; miozäne Tillite in Alaska 113; das fossile Steineis in Alaska und Nord-

ostsibirien 115; miozänes Alter desselben 121; pliozäne Vereisung Nordamerikas 122; Kohle 124; Salz, Gips, Wüstensandstein 125; galizisch-rumänisch-kleinasiatisch-persische Salzformation 126; spätpliozänes Trockenklima auf Sumatra 129; Schichtenfolge in Argentinien 130; die Pflanzenwelt 132; Floren von Südamerika und der Seymour-Insel 133; die Tierwelt 137; Meeresfauna Alaskas 137; Landfauna Südamerikas 139.

Kapitel V. Die Klimate in den vorkarbonischen Zeiten

- A. Devon 141; Old Red 142.
- B. Silur 144; Salzformation Nordamerikas 145; Silurkorallen 146.
- C. Kambrium 148; Eisspuren 148; kambrische Salzlager in Vorderindien 149.
- D. Algonkium 151; Eisspuren in Nordamerika 151; Algonkischer Wüstensandstein 152.

Kapitel VI. Polwege und Breitenänderungen in der Erdgeschichte

Polwege 153; Breitenänderungen 154; Tabelle derselben von 27 Orten seit dem Karbon S. 157.

Kapitel VII. Die Klimate des Quartärs

- A. Übersicht der Tatsachen
 - 1. Europa: Vereisung der Alpen 159; das Inlandeis Nordeuropas 166; Klimazeugen außerhalb des Vereisungsgebietes: Blockfelder, Löss 167; Antizyklone, Orientierung der Dünen und Gletscher 170; Pflanzenwelt 174; Tierwelt 176; der Mensch 179; 2. Außereuropäische Länder: Das Inlandeis Nordamerikas 179, Eiszeiten 181, Seen 183; Alaska und Neusibirische Inseln 189, Mammutleichen 190; Asien 191; Südamerika 193; Südafrika 196; Australien und Neuseeland 196.
- B. Die Gliederung des Eiszeitalters, ihre Ursachen und Zeitrechnung. Temperatur des Sommers entscheidend 197; Schwankungen der Sonnenstrahlung 202; Milankovitch über das Verhältnis der Strahlung zu ϵ und $e \sin \Pi$ und deren säkulare Schwankungen 207; Strahlungsmengen in den kalorien Jahreszeiten, ausgedrückt in Breitenäquivalenten 208; Tabelle der Sonnenstrahlung im Sommerhalbjahr in 55°, 60° und 65° Breite in den letzten 650000 Jahren 214. Angenäherte graphische Ableitung der Strahlungsmenge als Funktion von ϵ und $e \sin \Pi$ für beide Halbkugeln 215; Vergleich mit den Eiszeiten im Alpengebiet 217; Dauer einer Eiszeit, Verschmelzung zweier Strahlungsminima zu einer Eiszeit 218; Eiszeiten beider Halbkugeln 222; Begleitende Umstände 223.
- C. Die Breitenänderungen im Quartär und die Klimawechsel bestimmter Gegenden

Tiefe Temperatur des ganzen Zeitraums in Europa und Nordamerika 224; Polwanderung nach den Beobachtungen in Europa, Nordamerika und Antarktika 226; Verlagerung des Äquatorialstroms 229; Gang der Sonnenstrahlung seit 120000 Jahren an fünf Orten 231.
- D. Das Ende der Eiszeit und die Postglazialzeit

De Geers Messungen in Schweden und Nordamerika 233; das Klimaoptimum vor 8000—5000 Jahren 234; eine Zeit der heißen Sommer wahrscheinlicher als zwei 238; Klimaänderung in Grönland und Spitzbergen 240; Vegetationswechsel in Dänemark und NW-Deutschland 242; zwei Tabellen für NW-Europa 244; Anschluß an das Alpenvorland 247; Temperaturwechsel am Rande des Inlandeises bei dessen Rückzug 247; Nordamerika 250. Geschichtliche Zeit 251; Änderung in der Feuchtigkeit 252; „Austrocknung“ unbewiesen 253.
- E. Tabelle der ϵ und $e \sin \Pi$ seit 800000 Jahren 254

Erklärung der Tafel 256

Einleitung

Die Erforschung der Erdrinde hat zweifellos festgestellt, daß in den meisten Teilen der Erde, namentlich auch in den bestbekannten Erdteilen Europa und Nordamerika, wiederholt große Änderungen des Klimas stattgefunden haben. Norddeutschland war zeitweise von einer mächtigen Eisdecke bedeckt, wie jetzt Grönland, und zu anderer Zeit haben in Grönland Laubwälder gerauscht, die artenreicher waren als die jetzigen Wälder Deutschlands und Südeuropas.

In diesem Buche werden die vorzeitlichen Klimawechsel unter den Voraussetzungen der Theorie der Kontinentenverschiebung¹⁾ behandelt, die hier als richtig angenommen wird. Die einfache Klarheit, die damit in das bisher so verworrene Gebiet der Paläoklimatologie einzieht, beweist ihrerseits die Richtigkeit jener Voraussetzungen.

Im heutigen System der Klimate erkennen wir als Hauptgesetz eine zonale Anordnung, sowie Störungen derselben, welche letzten Endes auf die Verteilung von Wasser und Land zurückgehen. Das zonale Gesetz überwiegt aber stark, wie unter anderem aus der folgenden Tabelle der höchsten und niedrigsten Jahrestemperaturen in den verschiedenen Breiten hervorgeht:

Breite	80°	60°	40°	20°	0°	—20°	—40°	—60°	—80°
Höchstes Jahresmittel	—10	7	17	29	28	25	14	1	—12
Niedrigstes d. Temperatur	—19	—8	10	23	25	18	9	—6	—20
Differenz	9	15	7	6	3	7	5	7	8

Das zonale Gesetz kommt in der Tabelle zum Ausdruck in dem Unterschied zwischen dem Äquator und 80° Breite, welcher auf der Nordhalbkugel 38 bzw. 44° C, auf der Südhalbkugel 40 bzw. 45° C beträgt. Für die Störungen durch die Verteilung von Wasser und Land

1) A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. „Die Wissenschaft“ Bd. 66. 3. gänzlich umgearbeitete Auflage. Braunschweig 1922.

erhalten wir dagegen ein Maß durch die Differenzen zwischen den höchsten und den niedrigsten Werten. Wie man sieht, werden hier nur in einem Fall 15° erreicht, zwei Drittel aller Differenzen sind kleiner als die Hälfte davon. Das zonale Gesetz überwiegt also bei weitem. Würde man statt der Jahresmitteltemperatur die Mitteltemperatur des wärmsten Monats oder andere Elemente zugrunde legen, so würde man doch stets wie hier finden, daß die Unterschiede in meridionaler Richtung viel größer sind als in Richtung der Breitenkreise.

Auf Grund dieser Erwägungen wurde für die älteren Zeiten bis einschließlich Tertiär folgendes Verfahren benutzt: In die von A. Wegener rekonstruierten Erdkarten wurden die Zeugnisse für Polarklima (glaziale Blocklehme), für feuchtes Klima (Kohle) und für trockenes Klima (Salz, Gips, Wüstensandstein) eingetragen und mit den Anzeichen für Wärme und Kälte aus der Pflanzen- und Tierwelt verglichen, wie sie sich beispielsweise in den großen Kalkriffen der Korallen und Kalkalgen, den Jahresringen in Hölzern usw. kund tun.

Dabei ergaben sich, zumal wenn man die benachbarten Formationen mit berücksichtigt, stets zwei Trockenstreifen, zwischen denen ein feuchter Streifen längs einem Großkreise die Erde umzieht, und welche mit letzterem zusammen alle Zeugnisse für tropische Wärme enthalten; nach außen schließen sich an die beiden trockenen Streifen wiederum feuchte. Und wo sich ein Gebiet mit Polarklima erkennen läßt, liegt seine Mitte 90° vom mittelsten feuchten und etwa 60° vom nächsten trockenen Streifen entfernt.

Aus diesem empirischen Befund schließen wir, daß zu allen Zeiten in der Erdgeschichte die gleichen Klimagürtel wie heute bestanden haben, nämlich eine äquatoriale Regenzone, zwei Trockenzonen, zwei Regenzone der gemäßigten Breiten und zwei mehr oder weniger vereiste Polkappen.

Auch in unseren Vorzeitkarten zeigen sich ähnliche Störungen dieses zonalen Systems, wie in der heutigen Klimakarte; so sind z. B. die trockenen Streifen regelmäßig am Ostrande der Kontinente unterbrochen, ebenso wie im heutigen Klimasystem, wo diese Unterbrechung durch die Monsunregen bewirkt wird. Die Strenge des Polarklimas hat offensichtlich im Laufe der Erdgeschichte merkliche Änderungen erfahren, wie aus dem wechselnden Grad der Eisbedeckung und dem wechselnden Vordringen der Organismen gegen die Pole hervorzugehen scheint. Auch hier kommt vor allem der Wechsel der Land- und Wasserverteilung und der davon abhängigen Luft- und Meeresströmungen als Ursache in Frage, insbesondere ist die Ausbildung einer Inlandeiskappe naturgemäß an die Existenz einer genügenden Landmasse im Polargebiet gebunden.

Aber wie im heutigen Klimasystem, so sind auch in unseren Vorzeitkarten diese Störungen nicht imstande, das zonale Gesetz zu verdecken.

Betrachten wir nun die Lage dieser empirisch ermittelten Klimazonen im Laufe der Zeiten, so sehen wir, daß sich diese Lage von Formation zu Formation geändert hat. Die Pole sind also gewandert¹⁾), wenn auch nur innerhalb gewisser Grenzen. Die Klimageschichte eines Ortes ist daher in erster Näherung die Geschichte seiner Lage zu Pol und Äquator.

Bei der Behandlung des Quartärs konnten wir noch einen Schritt weiter gehen. Gab die Berücksichtigung der Polwanderungen hier die Erklärung des Eiszeitalters, so fand die Gliederung in Eis- und Interglazialzeiten ihre wahrscheinliche Erklärung durch die Bedingungen des Strahlungsempfanges unter dem Einfluß der langsamen Änderungen von Exzentrizität, Perihel und Schiefe der Erdbahn. Glücklicherweise ist der mathematische Teil dieser Aufgabe vor kurzem in umfassender Weise von Prof. Milankovitch in Belgrad bearbeitet worden²⁾), und insbesondere ist es diesem gelungen, die Hauptschwierigkeit einer paläoklimatischen Deutung der Rechnungsergebnisse, nämlich die Verwandlung der Strahlungsmengen in Temperaturen, durch Einführung fingierter Breitenänderungen vollständig zu umgehen. Für das vorliegende Buch hat er die Grundlagen der Berechnung und ihre Ergebnisse selber in einem Aufsatz kurz und übersichtlich dargestellt, der mit bestem Dank im Original aufgenommen wurde.

Bei der Verwendung seiner Rechnungsergebnisse für die Klimafrage sind wir davon ausgegangen, daß stärkerer Sonnenstrahlung auch höhere Temperatur entspricht, und daß kalte Sommer, nicht kalte Winter, die Entwicklung des Inlandeises fördern — zwei fast selbstverständliche und dennoch von einigen Autoren angefochtene Annahmen! Nähere Ausführungen hierüber wird man im Abschnitt Quartär finden.

Unter diesen Voraussetzungen gewinnt die Kurve der sommerlichen Strahlungsmengen für die letzten 650 000 Jahre den Charakter einer absoluten Chronologie des Eiszeitalters. Ihre Einzelheiten stimmen, wie gezeigt werden wird, in weitgehendem Maße mit den Annahmen der hervorragendsten Eiszeitforscher überein, so daß es un-

1) Änderungen der geographischen Breite bezeichnen wir wie in A. Wegeners oben genanntem Buch als Polwanderungen, wenn sie auch den Ausgangskontinent Afrika, und damit den Hauptteil des festen Landes, betroffen haben, dagegen als Kontinentenverschiebungen, wenn sie nur einen der übrigen Kontinente betreffen.

2) Milankovitch, *Théorie mathématique des phénomènes thermiques, produits par la radiation solaire*. 330 Seiten. Paris, Gauthier-Villars, 1920.

nötig erscheint, nach weiteren Ursachen für Klimaänderungen in dieser Zeit zu suchen.

Von den zahlreichen sonstigen Hypothesen, die zur Erklärung von Klimaänderungen aufgestellt worden sind, wird daher in diesem Buche nicht die Rede sein. Insbesondere erblicken wir in dem System der fossilen Klimazeugen keinen empirischen Anhalt für die Annahme, daß die von der Sonne ausgegebene Strahlung sich im Laufe der Erdgeschichte geändert habe. Desgleichen fehlt es an Tatsachen, welche durch Änderungen in der Durchstrahlbarkeit der Atmosphäre (A r r h e n i u s) oder des Weltalls (N ö l k e) zu erklären wären; denn diejenigen Tatsachen, zu deren Erklärung diese Theorien gewöhnlich herangezogen werden, finden bereits durch das heutige Klimasystem ihre Erklärung, wenn man seine in der Vorzeit geänderte Orientierung berücksichtigt, und können meist auch schon deshalb nicht als Beweise für sie in Frage kommen, weil sie nicht für die ganze Erde, sondern nur für bestimmte Teile gelten. Auf die Kritik der sehr schwachen Grundlagen dieser Hypothesen brauchen wir daher nicht einzugehen. Auch die zahlreichen Arbeiten von F. v. K e r n e r, welche auf eine zahlenmäßige Erfassung des Einflusses von Land und Wasser hinausgehen, erwiesen sich für unsere Zwecke nicht als brauchbar.

Die Polwanderung ist nach den hier folgenden Belegen keine Hypothese mehr, sondern ein empirischer Befund. Denn die zonenförmige Verteilung von trockenen und feuchten Gebieten schließt eine andere Erklärung aus.

Im Folgenden sind das Quartär von W. K ö p p e n, die übrigen Formationen von A. W e g e n e r bearbeitet, jedoch unter ständigem Gedankenaustausch.

Zur Erleichterung der Benutzung des Buches sei eine Übersicht über die geologische Schichtenfolge gegeben:

Geologische Schichtenfolge

- | | | |
|---------------|--|-----------|
| A. Känozoikum | 1. Alluvium | } Quartär |
| | 2. Diluvium (Eiszeitalter, Pleistozän) | |
| | 3. Tertiär a) Pliozän | |
| | b) Miozän | |
| | c) Oligozän | |
| | d) Eozän | |
| | e) Paleozän | |
| B. Mesozoikum | 4. Kreide | |
| | a) Senon | |
| | b) Turon | |
| | c) Cenoman | |
| | d) Gault | |
| | e) Neokom und Hils, Wealden | |

- 5. Jura
 - a) Weißer Jura (Malm)
 - b) Brauner Jura (Dogger)
 - c) Schwarzer Jura (Lias)
 - 6. Trias
 - a) Keuper [oberste Stufe desselben = Rhät]
 - b) Muschelkalk
 - c) Buntsandstein
 - C. Paläozoikum
 - 7. Dyas oder Perm
 - a) Zechstein
 - b) Rotliegendes
 - 8. Karbon
 - a) Produktives Karbon
 - b) Kulm
 - 9. Devon
 - 10. Silur
 - 11. Kambrium
 - 12. Präkambrium (Algonkium usw.)
 - D. Archaikum (Gneis, kristallinische Schiefer, ohne organ. Reste).
-

Kapitel I

Die fossilen Klimazeugen

Die Zahl der Zeugnisse für das vorzeitliche Klima ist Legion. Im Grunde genommen trägt jedes Gestein, jede fossile Flora und Fauna den Stempel des Klimas zur Entstehungszeit. Aber in der Auffindung und Deutung dieses Stempels stehen wir noch in den ersten Anfängen. Sind wir doch noch ganz im unklaren über die klimatische Bedeutung nicht nur mancher Lebensformen, die uns bei unseren Analogieschlüssen durch ihre überraschenden Eigenschaften leicht in die Irre führen, sondern auch solcher Gebilde, bei deren Entstehung es sich nur um physikalische und chemische Vorgänge handeln kann, wie z. B. des Petroleums, des Asphalts, des Graphits, des Dolomits und anderer Gesteine.

Obwohl in diesem Buche die ausführliche Besprechung der Klimazeugnisse der größeren Anschaulichkeit halber grundsätzlich dort erfolgen soll, wo sie in der Erdgeschichte auftreten, wird es doch nützlich sein, eine kurze Übersicht zur Orientierung vorausszuschicken.

Die Spuren, welche frühere Inlandeisdecken zurückgelassen haben, bilden wichtige Klimazeugnisse. Wie später gezeigt werden wird, hängt die Entwicklung von Inlandeis weniger von der Niederschlagsmenge, als von der Temperatur ab, und insbesondere sind niedrige Sommertemperaturen dazu nötig. Im Innern großer Kontinente, wo die Jahreschwankung der Temperatur groß ist, sind daher die Bedingungen ungünstig, weil die Sommerwärme den Schnee beseitigt, während eine maritime Gegend selbst bei höherer Jahresmitteltemperatur Inlandeis tragen kann. Nicht überall im Polarklima braucht sich also dies durch Inlandeisspuren zu erkennen zu geben. Aber andererseits haben wir es da, wo wir solche Spuren finden, zweifellos mit Produkten des Polar Klimas zu tun. Heute finden wir Inlandeis höchstens bis 60° Breite herab.

Das deutlichste Merkmal einer ehemaligen Inlandeisbedeckung sind Reste des Eises selbst, wie sie auf Alaska, in Nordostsibirien und auf den Neusibirischen Inseln in Gestalt des später eingehend zu besprechenden fossilen Steineises seit dem Tertiär erhalten sind als Reste einer gewaltigen, diese Gegenden einst ganz bedeckenden Inlandeiskappe. Auch in Finnland scheinen sich letzte Reste des dortigen quar-

tären Inlandeises erhalten zu haben. Zur unbegrenzten Erhaltung dieses Steineises bedarf es nur zweier Bedingungen: erstens eines Schutzes von oben gegen die Sommerwärme durch eine etwa meterdicke Schicht von Moränenschutt oder Torf, und zweitens einer so tiefen Jahresmitteltemperatur, daß die Isothermenfläche von 0°C , das ist die untere Grenze des gefrorenen Bodens, unterhalb des Eises verläuft. Man kann daher aus der Erhaltung dieser Eisreste schließen, daß die Jahresmitteltemperatur seit der Entstehungszeit ständig oder bis vor kurzem unter -2°C gelegen hat.

Aber auch wo das Eis nicht selbst erhalten ist, hinterläßt es Spuren seiner Tätigkeit. „Wo wir den felsigen Untergrund geglättet und geschrammt und darüber eine ungeschichtete sandiglehmige Ablagerung finden, in welcher fremde Gesteinsstücke, ebenfalls geglättet und gekritz, eingestreut sind, da muß fließendes Eis einmal vorhanden gewesen sein. Die Richtung der Schrammen ist ebenso wie das Heimatland der erratischen Blöcke ein unzweideutiger Hinweis auf die Herkunft der Eisströme“ (J. Walther). Am häufigsten findet man die Blocklehme, mit deren Namen treffend das unsortierte Durcheinander von feinstem und gröbstem Material gekennzeichnet wird. Eis saigert eben nicht das Material so, wie es Wind und Wasser tun. In der Regel sind die Blocklehme ungeschichtet. Wo Schichtung zu beobachten ist, in welche kleinere und größere erratische Blöcke eingestreut sind, haben wir es meist mit Ablagerungen unter schwimmendem Inlandeis zu tun, dessen unterste, mit Moräne durchsetzten Schichten im Wasser abschmelzen und ihren Inhalt herabsinken lassen. In vielen solchen Fällen kann diese Entstehung durch die Reste der Meeresfauna unmittelbar nachgewiesen werden. Die Blocklehme der älteren Zeiten sind meist zu festen Gesteinen, Tilliten, verhärtet. Man kennt solche Blocklehme bzw. Tillite aus dem Algonkium, Kambrium, Devon, Karbon, Perm, Miozän, Pliozän und Quartär. Leider sind gerade diesen häufigsten Spuren ehemaliger Inlandeisdecken andere „pseudoglaziale“ Konglomerate bisweilen zum Verwechseln ähnlich, die auf gewöhnlicher Schuttbildung beruhen. In letzteren kommen gelegentlich auch Gesteinsglättungen und Schrammen vor, welche gekritztes Geschiebe vortäuschen, in Wirklichkeit aber auf Gleitharnische zurückzuführen sind. Eine ganze Reihe derartiger Erscheinungen z. B. aus dem europäischen Karbon ist anfangs für glazial angesprochen worden, während man sie heute als pseudoglazial betrachtet. Über verschiedene andere Fälle sind die Meinungen geteilt. Im allgemeinen pflegt man erst dann die glaziale Natur als ganz einwandfrei erwiesen zu betrachten, wenn es, wie z. B. bei der permokarbonischen Vereisung in Südafrika, gelungen ist, unter dem Blocklehm der Grundmoräne noch die polierte Oberfläche des anstehenden Gesteins nachzuweisen.

Auf ein wichtiges Hilfsmittel zur Erkennung der vorherrschenden Windrichtung zur Zeit größerer Ausdehnung der Gletscher hat neuerdings Fr. Enquist¹⁾ aufmerksam gemacht. Die ungleiche Entwicklung der Gletscher auf verschiedenen Seiten eines Berges ist bisher sehr verschieden gedeutet worden. Enquist glaubt sie „ausschließlich“ der Wirkung des Windes zuschreiben zu müssen, der den Schnee vor und nach seinem Niederfallen der Leeseite des Berges zutreibt, im Gegensatz zum Regen, der überwiegend an der Luvseite ausfällt. Wir werden uns noch weiter unten im Abschnitt Quartär mit der Frage beschäftigen.

Auf dem nicht vom Eise bedeckten Raume des Polarklimas treten gewisse Erscheinungen auf, welche mit dem gefrorenen Boden bzw. mit dem Fließen seiner obersten, im Sommer aufgetauten Schicht zusammenhängen. Hierher gehören namentlich die Blockströme, die als „Steinmeere“ in den deutschen Mittelgebirgen bekannt sind und nach Harrassowitz im Quartär unter dem Einfluß kalten und dabei schneearmen Klimas entstanden sind. Beim europäischen Quartär wird neuerdings auch die Bedeutung der Verwitterungsrinden für die Klimafrage betont. Wenn wir z. B. unter dem oberen, wenig verwitterten Löß einen älteren Löß mit viel tiefer reichender und dunklerer Verwitterungsrinde finden, so ist dies ein Zeichen dafür, daß zwischen der Ablagerung beider eine viel längere Zeit mit zum Teil wärmeren Sommern vergangen ist, als seit der Ablagerung des oberen, viel jüngeren Lösses.

Eine andere wichtige Gruppe von Klimazeugnissen bilden die Kohlen. Aber merkwürdigerweise herrscht noch heute eine große Verwirrung über die Frage, wie das Klima beschaffen war, von dem sie zeugen. Die Unkenntnis der Tropenmoore, welche bisher wegen ihrer Unzugänglichkeit von den Reisenden nicht beschrieben wurden, hat zu dem lähmenden Vorurteil geführt, daß Torf- und damit Kohlenbildung in den Tropen nicht vorkomme, und man war schnell bei der Hand, in der hohen Temperatur, welche die Verwesung fördere, den Grund zu sehen. Noch heute krankten die meisten klimatischen Erörterungen über Kohlenbildung in den Lehrbüchern an dieser unheilvollen Irrlehre, die nicht einmal durch Potoniés Protest ausgerottet worden ist, obwohl doch heute tropische Moore von Sumatra, Ceylon, Zentralafrika und British-Guyana bekannt sind! Wir begnügen uns hier mit diesem kurzen Hinweis und verweisen für das Nähere auf die Ausführungen im Kapitel Karbon und Perm. Über die Temperatur zur Entstehungszeit können uns Kohlenflöze und Torfschichten nur durch ihre Mächtig-

1) Fredrik Enquist, Der Einfluß des Windes auf die Verteilung der Gletscher. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Vol. 14, 1916.

keit einigen Anhalt geben, denn selbst von den Anhängern der genannten Irrlehre wird zugegeben, daß die Torfbildung innerhalb ihrer angeblichen Grenzen um so intensiver vor sich geht, je höher die Temperatur ist. Der eigentliche Beitrag dieser Bildung zur Klimafrage liegt aber nicht auf dem Gebiet der Temperatur, sondern der Feuchtigkeit. Denn damit ein Wasserbecken vermooren kann, muß es jedenfalls mit Süßwasser gefüllt sein, was nur in den Regengürteln der Erde, nicht in den Trockengebieten geschehen kann. Kohlen können also nicht in den Trockengürteln der Roßbreiten, sondern nur in der äquatorialen Regenzone und den beiden Regenzone der gemäßigten Breiten entstehen, oder sonst an Stellen, wo die Trockengürtel durchbrochen sind, wie heute auf Florida oder am ostasiatischen Kontinentalrand. Freilich genügt feuchtes Klima noch nicht zur Moorbildung, es müssen noch die topographischen Vorbedingungen für die Bildung von Süßwasserseen gegeben sein. In alten, gut drainierten Landschaften ist dies nicht der Fall, und hier kann sich deshalb auch kein Torf bilden, trotz des Niederschlags. Wo aber das Inlandeis nach seinem Abschmelzen zahlreiche unregelmäßige Bodenvertiefungen hinterlassen hat, füllen sich diese unter dem Einfluß des subpolaren Regenklimas mit Wasser und vermooren. Zahllose Torfmoore bzw. Kohlenflöze folgen daher der Überschwemmung mit Inlandeis regelmäßig nach. Und ebenso schaffen Faltungen und ähnliche Bodenbewegungen neue Becken, die vermooren können. Alle großen Kohlenformationen der Erdgeschichte sind auf solche Art entstanden: entweder auf Moränen oder auf frischen Faltungen.

Die Kohlen der ältesten Zeiten werden von manchen Autoren als „Algenkohlen“, entstanden aus zusammengehäuften Seetang oder anderen Meeresgewächsen, betrachtet. Nach unserer Ansicht muß diese Deutung unwahrscheinlich bleiben, bis es gelingt, gegenwärtig die Entstehung von Torf auf diesem Wege nachzuweisen. Die sogenannten „paralischen“ Kohlenflöze, welche durch marine Zwischenlagen zeigen, daß sie in Meeresnähe in Lagunen entstanden, können nicht als Übergang gedeutet werden. Es handelt sich auch bei ihnen um Vermoorung von Süßwasser, das sich in Lagunen hinter dem Dünengürtel sammelte, nur daß zeitweise das Meer über diese Moore hinwegschritt. Wir glauben deshalb, daß man die Kohlen auch für die ältesten Zeiten als Klimazeugen nicht zu verwerfen braucht, was nötig wäre, wenn sie wirklich als Algenkohlen entstanden wären, und daß sich vielleicht sogar die Graphitlager, soweit sie als umgewandelte Kohlenflöze betrachtet werden dürfen, als Zeugen für Regenklimate verwenden lassen. Natürlich kann hier nicht die Rede sein von den gangförmigen Vorkommen des Graphits, die nach R i n n e als Fumarolenbildungen zu betrachten sind, sondern nur von den flözförmigen, die, wie „vornehmlich

die österreichischen (Böhmen, Mähren, Niederösterreich, Steiermark), durch Kontaktmetamorphose aus Steinkohlen entstanden sind.“¹⁾

Die wichtigste Gruppe von Klimazeugnissen sind die Produkte der Trockengebiete, insbesondere Salz, Gips und Wüstensandsteine, denn sie sind es hauptsächlich, welche eine richtige Orientierung der Klimazonen und des Gradnetzes in unseren Erdkarten der Vorzeit ermöglichen. Ihre heutige Lage zeigt Fig. 1, welche auch alle diejenigen Isothermen enthält, von denen in diesem Kapitel die Rede ist. Als Grenze der Trockengebiete ist, da die Temperatur hierbei wegen der Verdunstung eine wichtige Rolle spielt, nicht eine bestimmte Regenmenge, sondern, wenn t die Jahrestemperatur ist, der Ausdruck genommen $(\text{cm}) 33 + t$, wenn der Niederschlag gleichförmig über das Jahr verteilt ist; wo er überwiegend im Sommer fällt, ist die Konstante erhöht, bis zu 44 hinauf; wo er überwiegend im Winter fällt, ist sie erniedrigt, bis zu 22 hinab. Die auf diese Weise umgrenzten Trockengebiete ordnen sich, wie die Karte zeigt, in zwei Gürteln, die den Hochdruckgürteln der Roßbreiten entsprechen, mit den Kernen etwa zwischen 20 und 30° Breite. Im Innern der großen Kontinente, namentlich Asien, stoßen sie polwärts vor, und bei den meridionalen Gebirgen Amerikas liegen sie zum großen Teil in Lee des Gebirges, also im Passatgebiet westlich, im Westwindgebiet östlich der Bergketten. Am Ostrande der Kontinente sind die Trockenzonen unterbrochen, während sie am Westrande weit aufs Meer hinausreichen.

Die so definierten Trockengebiete umfassen sowohl das Wüsten- wie das Steppenklimate. Das unzweideutigste Produkt derselben ist das Steinsalz, welches durch Verdunsten von Seewasser entsteht. In den meisten Fällen handelt es sich um größere Überschwemmungen (Transgressionen) des Festlandes, die durch Bodenbewegungen vom offenen Meere abgesperrt werden. Im Trockenklima, wo die Verdunstung gegenüber dem Niederschlag überwiegt, wird zunächst das Areal der Überschwemmung durch Austrocknung immer kleiner und dabei die Salzlösung immer konzentrierter, bis schließlich auf immer kleiner werdendem Raume die Ausscheidung des Salzes vor sich geht. Zuerst scheidet sich Gips aus, dann das Kochsalz (Steinsalz), und erst bei sehr scharfer Austrocknung auch die leichtzerfließenden Kalisalze. Diese Entstehungsweise, die später bei Besprechung der permischen Salzbildungen in Deutschland noch eingehender geschildert werden wird, macht es erklärlich, daß Salzbildungen oft in Form von „Salzformationen“ gleichzeitig über weiten Gebieten entstanden. Solche Salzformationen sind namentlich bekannt aus dem Kambrium (Indien), dem Silur (Nordamerika, Sibirien), dem Perm (Mitteleuropa, Nordamerika), dem Miozän

1) F. Rinne, Gesteinskunde. 6./7. Aufl., S. 325, Leipzig 1921.



Mitteltemperatur des Jahres -2°
 Mitteltemperatur des wärmsten Monats 10° } im Meeresniveau
 Mitteltemperatur des kältesten Monats 18°
 Schraffierte Räume: Temperatur der Wasseroberfläche im kältesten Monat mindestens 22°
 Punktierte Räume: Trockengebiete einschließlich trockener Hochländer

Fig. 1. Trockengebiete und Isothermen heute

(Südeuropa, Kleinasien). Aber dies sind nur die ausgedehntesten Vorkommen. In jeder geologischen Formation finden sich Salzablagerungen kleinerer oder größerer Ausdehnung. Noch verbreiteter sind aber Gipsablagerungen, die meist gleichförmig große Gebiete bedecken, während die Salzstöcke örtlich beschränkt in sie eingestreut sind. Die Gipsausscheidung fand eben schon in einem früheren Stadium statt, als das Wasser noch größere Gebiete bedeckte.

Auch bei der Bildung von Salzlagern spielt das Klima — ebenso wie bei der Kohlenbildung — nur die Rolle einer notwendigen, aber nicht zugleich hinreichenden Bedingung. Es muß vielmehr außerdem auch Seewasser in abgeschlossenen Becken für die Verdunstung zur Verfügung stehen. In größerem Maßstabe ist dies nur in Regressionsgebieten der Fall, wo durch Hebung des Bodens die früheren Schelfmeere vom Weltmeere abgesperrt werden und nun, wenn das Klima trocken genug ist, der Austrocknung verfallen. Die Bildung großer Salzformationen geschieht daher stets nur in ausgedehnten Regressionsgebieten, soweit diese in Trockengebiete fallen. Wir können dies allgemeine Gesetz auch noch anders fassen, wenn wir berücksichtigen, daß solche ausgedehnten Regressionsgebiete sich in dem Quadranten vor dem wandernden Pol bilden, infolge des Nachhinkens des Erdkörpers bei der Neuanpassung an das Rotationsellipsoid, während das Meer die neue Form sogleich einnimmt.¹⁾ Die Gegenden, welche im Trockengebiet vor dem wandernden Pol liegen, müssen bei der vorangehenden Achsenlage in der äquatorialen Regenzone gelegen haben. Es sind daher gerade solche Gegenden, welche aus der äquatorialen Regenzone in das Trockengebiet versetzt werden, vorzugsweise befähigt, große Salzformationen zu bilden, viel weniger solche, welche aus den gemäßigten Regenzone in das Trockengebiet geraten. Die Beobachtungen bestätigen diese Regel in auffallender Weise: Im Karbon hatte so die Sahara günstige Bedingungen für Salzbildungen, im Perm dagegen Nordamerika und Europa; und auch die große miozäne Salzformation in Osteuropa und Kleinasien betraf Gebiete, die noch im Frühtertiär in der äquatorialen Regenzone lagen und massenhaft Kohle bildeten.

Als Wüstenbildungen sind ferner die mächtigen fossilisierteren Sandsteine mit Rippelmarken, Trockenrissen, Netzleisten, Tierfährten und Regentropfeneindrücken anzusehen. Alle diese Erscheinungen zeigen, daß der Erdboden jeder schützenden Vegetationsdecke bar war. Kreuzschichtungen deuten auf die steilen Böschungswinkel von Wanderdünen hin. Freilich ist bei dem Schluß auf Trockenklima hier Vorsicht ge-

1) Vgl. A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. 3. Aufl., S. 85. Braunschweig 1922.

boten, denn Dünen kommen z. B. als Strandbildungen auch in dem regenreichen Klima Norddeutschlands vor, und gewaltige Sandmassen entstehen auch als „Sandr“ durch die saigernde Wirkung der Schmelzflüsse am Rande des Vatna-Jökul auf Island. Die im Quartär auf solche Weise in Deutschland entstandenen Sandmassen sind vielfach gleichfalls durch den Wind zu Wanderdünen umgeformt, die später bewachsen, doch an ihrer Form als Inlanddünen erkennbar sind.¹⁾ Solche meist weißen Sande können also auch unter ganz anderen Klimaten als in der Wüste entstehen. Aber die Räume, wo dies geschieht, sind doch nur klein im Vergleich zu der großen Ausdehnung der Wüsten auf der Erde.

Vor allem zeugt aber die große Mächtigkeit dieser Sandsteine von ihrer Entstehung in der Wüste. Denn „unter dem Einfluß der überaus starken Verwitterung in Trockengebieten zerfällt das Gestein in Schutt, der Schutt geht zu Tale, und so bleibt die Höhe ständig dem Einfluß intensivster Verwitterung ausgesetzt, so daß auf diese Weise schließlich eine Einebnung des hügeligen Geländes erfolgen kann.“²⁾ Die letzten Reste der Höhen sind die „Zeugenberge“. Auf diese Weise sind auch die Konglomerate zu deuten, die vielfach an der Basis solcher Wüstensandsteine liegen und gelegentlich Anlaß zu Verwechselungen mit glazialen Blocklehmen gegeben haben. J. Walther schildert diese Vorgänge in anschaulichen Worten, die hier wiedergegeben seien:³⁾

„Glatt wie ein Tisch schneidet die steinige Hamada den Horizont, in sanften Wellenlinien verliert sich die Kieswüste in der Ferne. Rings geschlossene Wannen und Oasendepressionen hat der Wind ausgehoben; phantastische Felsen steigen aus dem ebenen Schuttlande; regellose Talsysteme mit wechselndem Gefälle verbinden locker die Niederungen. — Äolische Verwitterung hat weithin alle Felsen gelockert, zerbröckelt, gespalten, unterminiert. Jahrelange Trockenheit hat zahllose große und kleine Gesteinsbrocken erzeugt, heftige Stürme haben sie allseitig freigeblasen, aufsteigende Salzlösungen haben ihren Kern erweicht und ihren Zusammenhang vermindert, Bergstürze sind herabgebrochen und haben breite Schuttkegel gebildet. Der Sandschliff hat die Kanten und

1) Die nähere Erforschung dieser U-förmigen Dünen, die sich zahlreich, meist unter Wald, im Innern Skandiaviens, Norddeutschlands, Polens, Ungarns usw. finden, wird namentlich über die Windrichtung zu ihrer Entstehungszeit Aufschluß geben können. Vorläufig ist allerdings noch strittig, ob sie mit Ostwinden von der geschlossenen Seite des U abgelagert sind, wie es Solger behauptet, oder mit Westwinden von seiner offenen Seite her, wie es die meisten andern lehren. (Solger, Dünenbuch, Stuttgart 1910; — Keilhack, Die großen Dünengebiete Norddeutschlands, Zeitschr. D. Geol. Ges. Bd. 69, 1917; — J. Högbom, Ancient Inland Dunes of N. and Middle Europe, Geografiska Annaler 1923.)

2) W. Volz, Nordsumatra, Bd. II. Berlin 1912.

3) J. Walther, Das Gesetz der Wüstenbildung. 2. Aufl., S. 161. Leipzig 1912.

Ecken der Steine rund geschliffen, und selbst große Felsenblöcke liegen, von wenigen Stützpunkten gehalten, labil auf ihrem Fundament. Lockerer Flugsand hat weite Flächen überschritten, feinsten Lößstaub ist durch Steppenpflanzen gesammelt worden, leichtlösliche Salze sind aus dem Boden ausgeblüht und überziehen Felsen und Erdboden mit einer weißen Kruste — da stürzen mit einem Male in den zerrissenen Felsengebirgen riesige Wassermassen hernieder, wälzen sich brausend durch die Uadischluchten, drängen sich durch enge Pforten, und ein Meer ergießt sich über die Wüstenebene. Das scheinbar Unmögliche wird Wirklichkeit: riesengroße Felsenquadern beginnen sich zu bewegen, kiesüberdeckte Flächen geraten in Fluß, ein Sandbrei fließt vom Rande des Dünengebiets herab und breitet sich in langen Zungen wie ein weicher Kuchenteig über die Ebene. Alle Tonflächen und Lößlager werden erweicht und fließen nach den Niederungen, und im Nu sind die Salzmassen gelöst und abgeleckt, die durch jahrelange Trockenheit geschützt überall den Boden überzogen.“

Sobald das Material zu Sand zerkleinert ist, beginnt die Herrschaft des Windes. Die Dünen wandern. Bei konstanter Windrichtung entstehen „Windkanter“ dann, „wenn der über den Boden schleifende Sand durch herumliegende Hindernisse in jene kleinen Sandgerinne zerlegt wird, die man während eines Sandsturmes wie Schlangen über den Boden gleiten sieht. Sie teilen sich vor jedem Hindernis, fließen dann wieder zusammen, können so an demselben Geröll von verschiedenen Seiten Flächen anschleifen, die sich in scharfen Kanten schneiden.“¹⁾

„Die Panzerung des Geländes durch gleichmäßig verteilte härtere, dem Winde gegenüber unangreifbare Massen, wie manche Steinpackungen und Windkanterzonen, gehört ebenso wie Amphitheater, Zeugen und Inselberge, Zungenberge und steilwandige Blindenden (von Schluchten) zu den Denudationsformen, bei deren Ausbildung mehr der Wind als das Wasser tätig war.“ Wie die dunklen Schutzrinden oder Wüstenlacke entstehen, ist wohl noch nicht ganz aufgeklärt.

Die Staubstürme transportieren den feineren Staub auch über die Grenze der eigentlichen Wüste hinaus, um sie dann im Gebiet der grasbewachsenen Steppe wieder als Löß abzusetzen. Auf diese Weise bildet sich noch heute der Löß in China weiter. Sein poröser Aufbau und besonders seine eigenartige Röhrenstruktur werden auf Pflanzenwurzeln zurückgeführt und setzen also eine Grasbewachsung des Bodens voraus. Löß ist daher ein Zeugnis für Steppenklimate, setzt aber in der

1) Ein Maß für die Wirkung dieses Sandgebläses liefern die ägyptischen Bauten, die im Laufe von 2000 bis 4000 Jahren in ihren unteren Teilen, je nach dem Material, zerfressen sind, während die späteren wenig beschädigt sind.

Nachbarschaft eine Wüste ohne Pflanzenwuchs voraus, aus welcher der Wind das Material entführen konnte, um es dann zwischen den Halmen der Steppe abzulagern. Die chemische Zusammensetzung des unverwitterten Löß zeigt einen starken Kalkgehalt und bezeugt hierdurch die Herkunft aus einem Trockenklima, wo der Regen nicht ausreicht, um dem Boden die Salze zu entziehen. Für die Hauptlößgebiete der Erde, China und Argentinien, ist diese Entstehung sicher. Die weit unbedeutenderen Lößvorkommen in Europa und Nordamerika zeigen allerdings, daß Löß auch noch unter anderen Klimabedingungen entstehen kann. Denn hier, wo der quartäre Löß sich kranzartig um den breiten Streifen von Sand herumlegt, der sich außen an die Grundmoräne des Inlandeises anschließt, kann das Material des Löß nicht aus der Wüste, sondern nur aus der abtrocknenden Grundmoräne stammen, in der diese feinerzeriebenen Gesteinspartikel — im Schmelzwasser als Gletschertrübe bekannt — das Material der Blocklehme bilden. Auch dies Material ist zunächst kalkhaltig und wird erst, wie der chinesische Löß, durch Verwitterung in feuchtem Klima, d. h. namentlich durch Auslaugen des Kalkes, zu Lehm. In Europa und Nordamerika zeugt also der Löß von der Nachbarschaft des Inlandeises, nicht der Wüste, und entstand im Tundrenklima, nicht im Steppenklima.

Auch über die Windrichtung gibt uns der glaziale Löß einige Fingerzeige: er ist auswärts, nie einwärts von den Moränen abgelagert worden, denen er entstammte.

Eine große Erleichterung für die Erkennung des Klimacharakters von Sandsteinschichten bietet ihre Färbung, da die rote Farbe auf hohe Temperatur zur Entstehungszeit hindeutet und damit die Entstehung am Rande des Inlandeises und auch als Stranddünen in gemäßigten Breiten ausschließt. Nach R a m a n n ¹⁾ schließen sich die Böden, wenigstens in den regenreichen Gebieten, den Temperaturzonen an: in den Tropen Laterit, im Mittelmeergebiet Roterden, in den gemäßigten Zonen Braun- und Gelberden und in kühlen und kalten Gebieten die ausgelaugten Podsolböden (Bleicherden).

Sehr bestimmt spricht sich L a n g aus: ²⁾

„Während unter unseren kühleren Klimaten die kieselsäurereiche Gelberde als letztes Restprodukt der Verwitterung zurückbleibt, wobei der Anteil der Kieselsäure durchschnittlich 60 % der Substanz ausmacht, finden wir in den Mediterrangebieten als entsprechendes Verwitterungsprodukt die Roterden oder die Terra rossa, die mit durchschnittlich nur 20 bis 40 % Kieselsäuregehalt an Tonerde und Eisen

1) R a m a n n, Bodenkunde. 3. Aufl. Berlin 1911.

2) R. L a n g, Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde. 188 Seiten. Stuttgart 1920. Dieselbe Erklärung der Bodenfarben gibt auch H. S t r e m m e, Profile tropischer Böden, Geol. Rundsch. 8, 1917, S. 80—88.

oxyd relativ reicher ist. In dem entsprechenden Verwitterungsprodukt der Tropen endlich, im Laterit, kann der Kieselsäuregehalt bis auf Null zurückgehen, während Aluminiumoxyd und Eisenoxyd an Menge entsprechend weiter zugenommen haben.“

„Der Eisenanteil, der unter niederen Temperaturen, in kühlem Klima, ein stark wasserhaltiges Oxyd in Form von Brauneisen bildet, verliert mit zunehmenden Temperaturen, d. h. in wärmeren Gebieten, immer mehr seinen Wassergehalt und geht daher in wasserärmeres Eisenoxydkolloid über. Während das Brauneisen je nach der physikalischen Beschaffenheit der Einzelteilchen gelbe bis braune, ja selbst schwärzliche Färbung aufweist, verändert sich die Farbe des Eisenoxydkolloids mit abnehmendem Wassergehalt allmählich in ein leuchtendes Orange und schließlich in Hochrot und Karmin bis Violett . . .“

„In den humiden Gebieten, in denen eine nennenswerte Humusanreicherung nicht existiert, sind die genannten Restprodukte Gelberde, Roterde und Laterit die hauptsächlich auftretenden Böden. Sie bilden eine einheitliche Bodenreihe, die durch die Temperatur bestimmt ist.“

Lang glaubt auch die Temperaturgrenzen angeben zu können: Gelberde bis 12° Jahresmitteltemperatur, Roterden, „die jedoch trotz ihres Namens keine so leuchtenden Farben zeigen wie der Laterit,“ zwischen 12 und 20°, und Laterit über 20°. Die Zunahme der Rotfärbung bei abnehmendem Wassergehalt des Rostes geht übrigens auch aus den beiden natürlichen Eisenerzen Brauneisenstein und Eisenglanz (bzw. dessen Varietät Roteisenstein) hervor, von denen das erstere Eisenhydroxyd ist und braunen bis ockergelben Strich zeigt, während das zweite Eisenoxyd ist und kirschroten Strich aufweist. — Das devonische Old Red und der Buntsandstein der Trias sind die Schulbeispiele solcher roten Wüstensandsteine.

Bisher haben wir nur Klimazeugnisse aus der anorganischen Welt besprochen. Sie sind die sichersten, weil sie streng an physikalische Werte gebunden sind und sich nicht wie die Organismen anpassen können. Dennoch bildet die Pflanzen- und Tierwelt, zumal wenn man ihre jedesmalige geographische Verbreitung berücksichtigt, ein Klimazeugnis von größter Bedeutung. Beim Vergleich zweier Floren aus gleicher geologischer Zeit läßt sich meist mit völliger Sicherheit sagen, welches die wärmere und welches die kühlere war, und wenn man die Anzahl der tropischen, subtropischen und gemäßigt temperierten Formen prozentisch für die fossile Flora angibt, so erhält man eine Zahl, welche in den meisten Fällen trotz mancher im einzelnen begangener Irrtümer doch von großem Wert ist und den Klimacharakter genügend genau charakterisiert. Für die Zeiten seit dem Tertiär, wo die Pflanzenarten sich den heutigen nähern, hat namentlich Heer

sogar versucht, die Jahrestemperatur schätzungsweise zu ermitteln. Es wird gezeigt werden, daß diese Zahlen offenbar größtenteils recht gut stimmen; Irmischer hat vor kurzem auf ein allgemeines Gesetz der Pflanzenausbreitung aufmerksam gemacht, dessen Kenntnis für die Abschätzung des Klimacharakters unerläßlich ist.¹⁾ Er zeigte nämlich, daß auch die heute an der arktischen Baumgrenze wachsenden Bäume von tropischen Vorfahren abstammen. Die meisten neuen Formen sind aus den Tropen gekommen, wobei sie sich oft bipolar ausbreiteten — ein Gesetz, was übrigens wohl auch für den Menschen gilt. Wenn daher eine fossile Flora (wie die jüngeren Kreidefloren) Verwandtschaft mit heute in gemäßigten Breiten lebenden Pflanzen zeigt, so darf man noch nicht schließen, daß auch damals das Klima gemäßigt war, es kann vielmehr erheblich wärmer gewesen sein. Der umgekehrte Schluß ist sehr viel sicherer: wenn eine fossile Flora Verwandtschaft mit heutigen nur tropischen Pflanzen zeigt, so ist sie mit großer Wahrscheinlichkeit auch tropisch gewesen.

Mit Recht werden die Jahresringe in Holzgewächsen als ein Anzeichen für winterliche Wachstumsunterbrechung betrachtet, wie sie namentlich in dem kontinentalen „Schnee-Wald-Klima“ der gemäßigten Breiten zu Hause ist. Man hat gegen dies Klimazeugnis geltend gemacht, daß viele Bäume auch durch periodische Trockenzeiten trotz hoher Temperatur veranlaßt werden, das Laub abzuwerfen und also das Wachstum zu unterbrechen, und daß man bei genauerer Untersuchung sowohl in der tropischen Regenzone einige Bäume mit Jahresringen als in den Schnee-Wald-Klimaten einige ohne Jahresringe findet. Aber es kann doch kein Zweifel sein, daß dies die Ausnahmen sind, während die Regel die ist, daß wir in den wechselwarmen Klimaten Jahresringe und in den Tropen keine Jahresringe haben. Und mit mehr als einer Regel können wir bei dem launenhaften Verhalten der Organismenwelt ohnehin nicht rechnen. Das Kriterium der Jahresringe kann also durch diese Einwände nicht aufgehoben werden, und wir können auch hinzufügen, daß es in keiner geologischen Formation zur Gesamtheit der übrigen Klimazeugnisse in Widerspruch tritt, woraus hervorgeht, daß wir es überall mit der Regel, nirgends mit der Ausnahme zu tun haben.

Bäume sind an sich bereits ein Klimazeugnis insofern, als sie außerhalb des baumlosen Tundrenklimas gewachsen sein müssen. Heute fällt die Baumgrenze fast völlig mit der 10 °-Isotherme des wärmsten Monats zusammen (vgl. Fig. 1). Jenseits dieser Grenze legen sich auch Holzgewächse wie die Polarweide flach auf den Boden. Der Grund liegt auf der Hand, wenn man berücksichtigt, daß der Boden selbst und die

1) E. Irmischer, Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente. Mitt. aus dem Institut für allg. Botanik, S. 209. Hamburg 1922.

ihm unmittelbar aufliegende Luftschicht sich im Polarsommer sehr stark über die meteorologische „Lufttemperatur“ erwärmt, die in 2 m Höhe gemessen wird. Die Pflanzen finden auf diese Weise am Boden noch die für sie nötigen Wärmebedingungen, während diese in freier Luft, d. h. für hochstämmige Bäume, an der genannten Isotherme zu Ende sind. Die letzten Vertreter der Bäume an der heutigen Baumgrenze gehören zu sehr verschiedenen Familien; der Schluß liegt deshalb nahe, daß dieser Grenzisotherme eine allgemeine Bedeutung für die Pflanzenwelt zukommt, und sie deshalb auch in der Vorzeit die Baumgrenze dargestellt hat. Dies würde besagen, daß stets und überall, wo hochstämmige Bäume wuchsen, der wärmste Monat des Jahres mindestens eine Mitteltemperatur von 10°C hatte. Da, wo wir Baumreste in zeitlicher oder räumlicher Nähe von Inlandeisspuren finden, ist dies Klimazeugnis von Wert.

Von Wasserpflanzen sind namentlich die Kalkalgen des Ozeans wichtige Klimazeugen, denn die mächtigen Kalkriffe, die sie aufgebaut haben, zeugen von subtropischer oder tropischer Wärme des Meerwassers. Wir werden auf diese Erscheinung bei Besprechung der Korallen zurückkommen.

Das Zeugnis der Tierwelt für das Klima ist von gleicher Wichtigkeit wie das der Pflanzenwelt. Von Landtieren ist besonders die Ordnung der Reptilien von Interesse, weil ihr Körper keine nennenswerte Eigenwärme erzeugt und daher im wesentlichen allen Änderungen der Lufttemperatur folgt. In winterkalten Klimaten verfallen sie daher der Winterstarre, die sie zu wehrlosen Opfern ihrer besser angepassten Feinde macht. Sie können daher in unseren Klimaten nur dann leben, wenn sie, wie Eidechsen und Ringelnattern, klein genug sind, um sich leicht verbergen zu können. Ein *Atlantosaurus* würde in einem deutschen Winter, auch wenn die Kälte ihn nicht töten würde, von Ratten und Mäusen gefressen werden. Und auch ein Krokodil wäre nicht imstande, etwa die Wärme des Wassers auszunutzen, da es nicht auf Wasseratmung eingerichtet ist wie die Fische, und der Zugang zur Luft durch die Eisdecke versperrt wird. Im Polargebiet finden die Reptilien überhaupt keine erträglichen Lebensbedingungen. Wo wir also diesen Stamm in besonders großen Vertretern reich entwickelt sehen, können wir unbedenklich auf winterloses, also tropisches Klima schließen.

Unter den warmblütigen Tieren, die sich vom Einfluß der Temperatur freigemacht haben, geben die Pflanzenfresser ein Kriterium über die Vegetation und damit die Regenmenge. Schnellläufer, wie Pferd, Antilope, Laufvögel, zeugen von Steppenklima, da ihr Körperbau auf Beherrschung großer Räume eingerichtet ist. Kletterer, wie Affe oder Faultier, sind im Wald zu Hause.

Interessante Schlüsse lassen sich auch aus der Verbreitung der

heutigen Regenwürmer — fossile sind nicht erhalten — ziehen. Bei der ungeheuren Langsamkeit ihrer Fortentwicklung sowohl als auch ihrer Wanderungen gibt es viele Stellen auf der Erde, wo ihre heutige räumliche Anordnung nach allem, was wir schließen müssen, noch ganz derjenigen ihrer uralten Vorfahren aus der Kreide- oder Jurazeit entspricht. In solchem Falle können wir schließen, daß dort in der Zwischenzeit niemals Eisboden geherrscht hat, also niemals die Jahresmitteltemperatur unter -2° gesunken ist. Denn diese Jahresisotherme stellt bis auf gewisse, durch die winterliche Schneedecke bewirkte Abweichungen lokalen Charakters auch heute die Grenze des ständig ge-

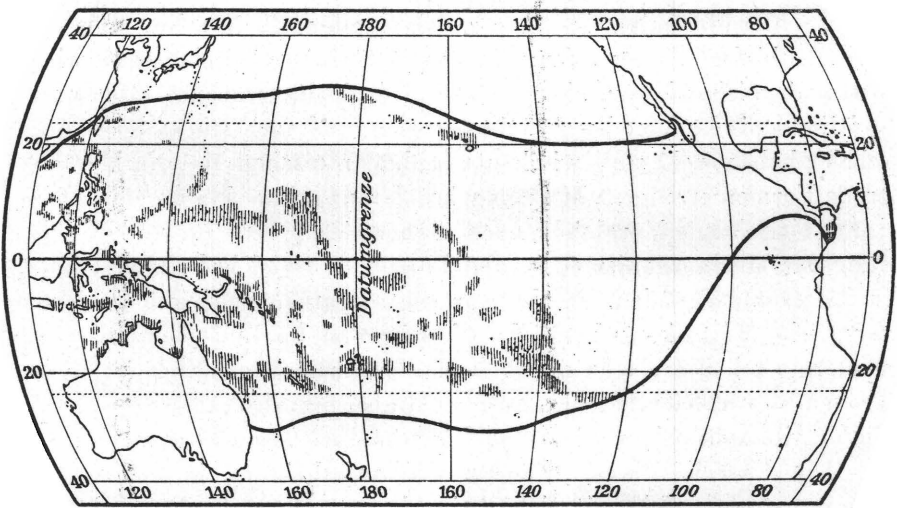


Fig. 2. Grenzen der Korallenriffbauten im Stillen Ozean
(nach dem Segelhandbuch der Deutschen Seewarte)

frorenen Bodens dar. Wäre nur ein einzigesmal die Temperatur unter diese Grenze gesunken, so wäre die alte Regenwurmfauna vernichtet worden und die Kontinuität der Entwicklung unterbrochen. Wir werden später sehen, daß dies Kriterium z. B. für das quartäre Klima Patagoniens eine Rolle spielt.

In der Meeresfauna sind es vor allem die Kalkriffbildner, die als Klimazeugen verwendbar sind, allen voran die Riffkorallen. Fig. 2 veranschaulicht die Verbreitung der Korallen im Stillen Ozean.¹⁾ Die Grenzen fallen, wie bekanntlich auch im Atlantik, ungefähr mit der Wasserisotherme des kältesten Monats von 22° bis 25° zusammen; sie bleiben meistens innerhalb der Luftisotherme des kältesten Monats von 18° , der klimatischen Grenze der Tropen (vgl. Fig. 1). Wenn man ab-

1) Segelhandbuch für den Stillen Ozean, herausgeg. von der Deutschen Seewarte, S. 5. Hamburg 1897.

sieht von den östlichen Teilen des Ozeans, wo am Rande der Kontinental-schollen durch den Passat kaltes Wasser aus höheren Breiten herangetrieben und teilweise aus der Tiefe heraufgesogen wird, liegt diese Grenze bei etwa 28° Breite. Zu betonen ist aber, daß sie als solche nur für echte Riffbildungen gilt. Einzelkorallen kommen auch in kühlem Wasser, z. B. in den norwegischen Fjorden, häufig vor. Die schon erwähnten Kalkalgenriffe scheinen etwas über die Korallenriffgrenze hinauszugreifen; sie finden sich heute z. B. im Mittelmeer, während Korallenriffe erst im Roten Meer beginnen, und ganz entsprechend bildeten sich auch in der Trias am Nordrande der Alpen hauptsächlich nur Algenriffe (Wettersteinkalk), am Südrande aber echte Korallenriffe (Schlerndolomit). In älterer Zeit werden die Korallen durch andere Riffbildner ersetzt, deren Wärmebedürfnis möglicherweise wieder etwas abweichend war, aber stets sind doch die großen Riffbildungen auf die tropische Zone beschränkt gewesen, und auch alle anderen Kalkschaler haben wohl stets wie heute in den tropischen Meeren besonders große Formen erzeugt. „Murray hat darauf aufmerksam gemacht und durch eingehende Vergleiche auch nachgewiesen, daß die Kalkausscheidung der Marinorganismen in den Tropen sehr viel bedeutender ist als in kälteren Gegenden. Nicht nur die einzelnen Individuen — man vergleiche Molluskengehäuse der Nordsee und des Indischen Ozeans —, sondern auch die absolute Menge des produzierten Kalkes ist in den Tropen unvergleichlich viel größer. Dabei ist abzusehen von großen Tiefen, wo sich bekanntlich eine Kalkabnahme bemerkbar macht.“¹⁾

Die Ursache dieser größeren Kalkausscheidung in den warmen Meeren ist noch nicht mit Sicherheit erkannt. Die einfachste Erklärung wäre die, daß Kalk und Gips in warmem Wasser leichter zur Ausscheidung gelangen, weil sie bekanntlich hierin weniger löslich sind als in kaltem. Zur kalten Tiefsee absinkende Kalkschalen lösen sich auf, aber in den warmen Oberflächenschichten der tropischen Meere wird Kalk ausgeschieden. Zu einem sicheren Urteil fehlt es indessen noch an Beobachtungen. Daqué zieht eine kompliziertere Erklärung vor; nach seiner Ansicht „wird durch tierisches Ammoniak aus anderen, im Meerwasser häufigen Kalksalzen der kohlen-saure Kalk erst im Organismus selbst gefällt. Das Ammoniak resultiert aus zerfallenden Eiweißverbindungen, und dieser Prozeß geht in warmem Wasser intensiver und rascher vor sich als in kaltem. Murray beruft sich auf Experimente, aus denen erhellt, daß aus Wasser mit verschiedenartigen Kalkverbindungen die Tiere kohlen-sauren Kalk abspalten können; bemerkenswert ist auch, daß sich in der unmittelbaren Nachbarschaft von Korallenriffen das Meerwasser mit Ammoniak anreichert.“

1) Daqué, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie, S. 380. Jena 1915.

Kapitel II

Die Klimagürtel im Karbon und Perm

Wir beginnen die Besprechung der einzelnen geologischen Formationen mit Karbon und Perm, weil das Spätkarbon die älteste Zeit ist, für welche bisher eine einigermaßen ausreichende Kartengrundlage nach den Annahmen der Verschiebungstheorie vorhanden ist. Dieser Anfang erscheint aber auch deswegen günstig, weil im Karbon und Perm verschiedene Umstände dazu beitragen, die Orientierung des Äquators innerhalb der erreichbaren Genauigkeitsgrenze besonders genau und überzeugend zu gestalten, so daß wir einen guten Ausgangspunkt für das Folgende gewinnen. Denn einerseits gab die spätkarbone Faltenbewegung längs dem damaligen Äquator Anlaß zur Bildung besonders zahlreicher Süßwasserseen, die von der Pflanzenwelt mit mächtigen Torfschichten gefüllt wurden und uns die großen Steinkohlenlager lieferten. Und andererseits trat der Südpol von dem fast unbekannten Antarktika nach Südafrika hinüber, um dann in einem Bogen über Australien wieder nach Antarktika zurückzukehren, und bei dieser Exkursion entwickelte er zeitweise große Inlandeismassen, deren Spuren eingehend studiert worden sind. Das scharfe Hervortreten dieser beiden Erscheinungen, die in anderen Zeiten nicht in gleichem Grade ausgebildet waren, macht die Äquatorlage gerade im Karbon und Perm besonders evident. Die Besprechung dieser beiden Zeiten soll im Gegensatz zu den folgenden gemeinsam erfolgen, damit die großartige Erscheinung der permokarbonischen Vereisung der Südkontinente nicht zerrissen zu werden braucht.

A. Eisspuren. Eisspuren aus permokarbonischer Zeit sind gefunden worden auf den Falklandsinseln, in Südamerika (Argentinien und östliches Brasilien), in Mittelafrica (Kongo) und Südafrika, in Vorderindien, in West-, Mittel- und Ostaustralien¹⁾ (vgl. Fig. 3 u. 4). Heute sind diese Spuren über eine ganze Halbkugel verteilt, z. B. sind die Spuren in Nordostaustralien von denen in Nordostbrasilien

1) Nach Koert auch in Togo. Diese Spuren bedürfen aber wohl noch der Bestätigung, zumal sie auffallend weit aus dem Gebiet der übrigen herausfallen und auf unserer Karte nur auf etwa 42° Breite zu liegen kommen.

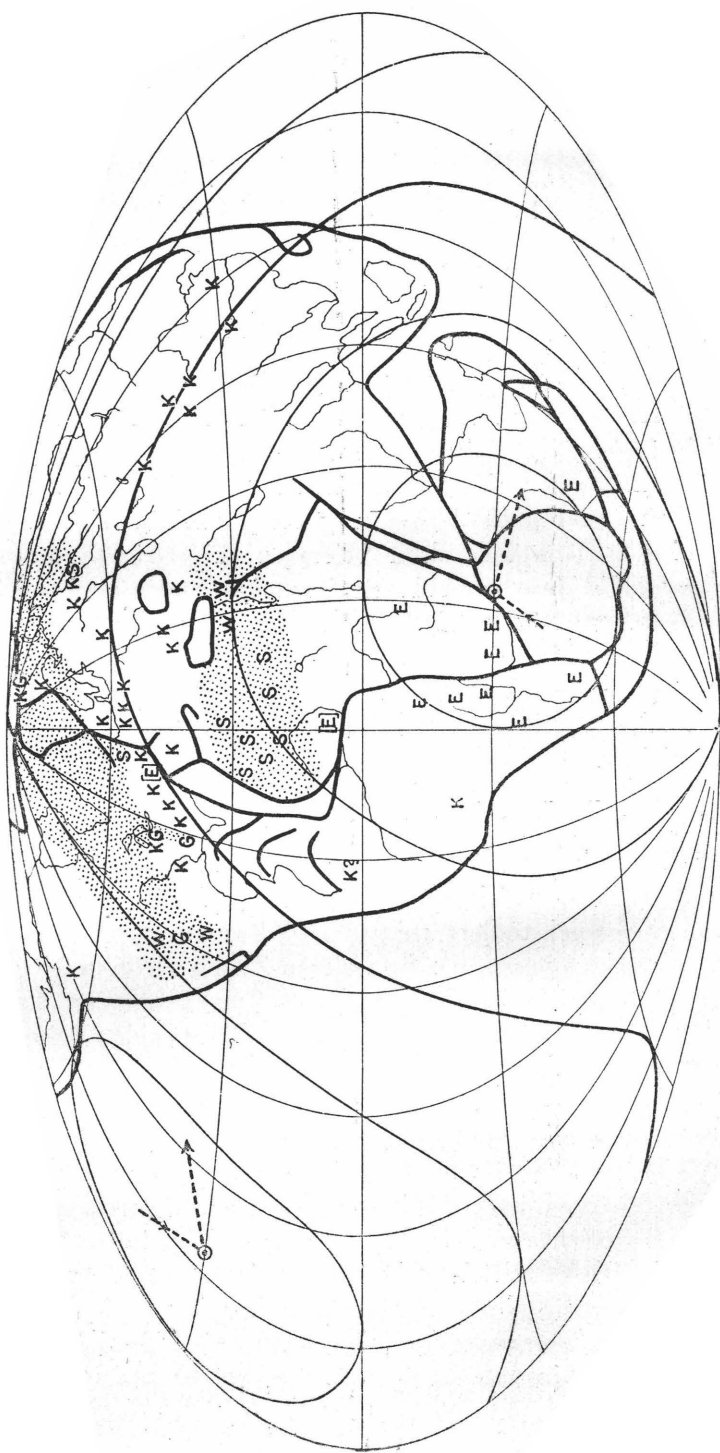


Fig. 3. Eis, Moore und Wüsten in der Karbonzeit
(E Eisspuren, K Kohle, S Salz, G Gips, W Wüstensandstein, punktierte Räume: Trockengebiete)

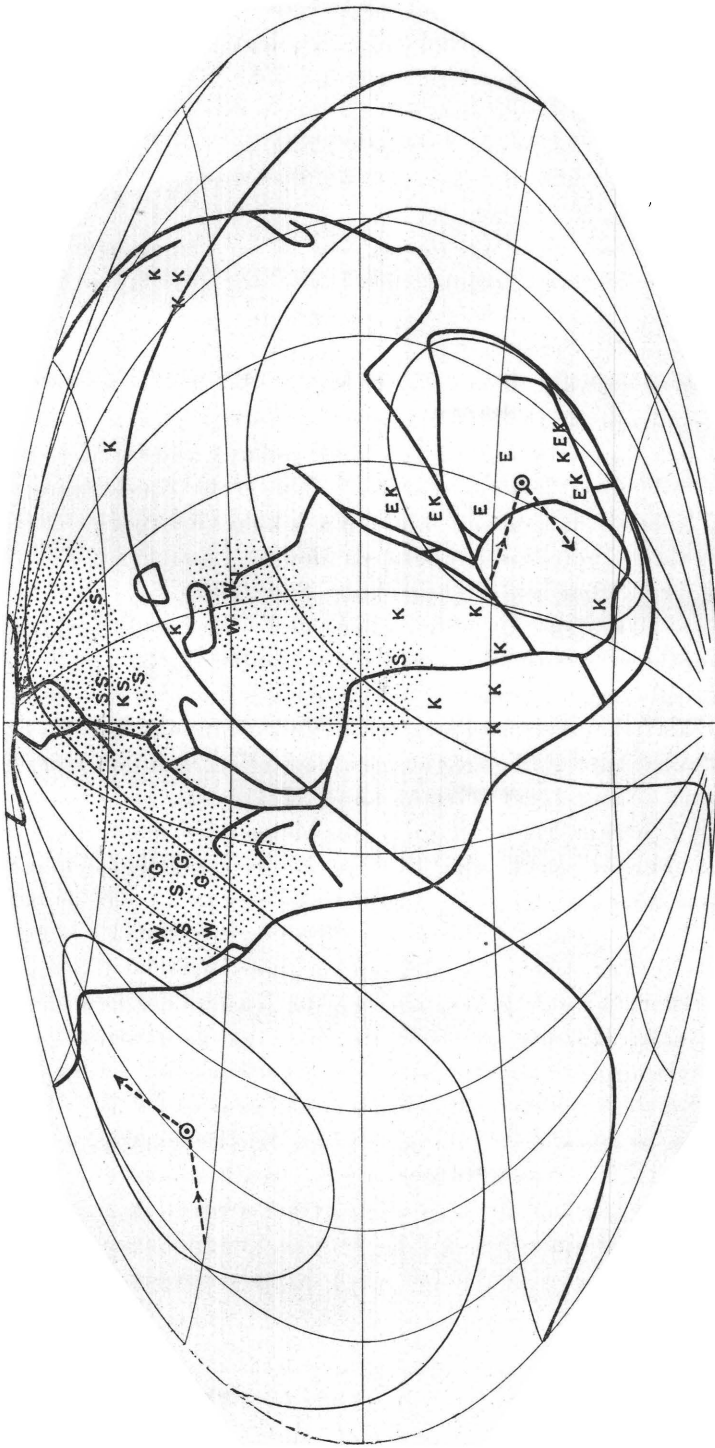


Fig. 4. Eis, Moore und Wüsten der Permzeit

150 Großkreisgrade entfernt, und wenn man den Südpol auch auf den günstigsten Punkt, auf 45° Süd, 45° Ost, legt, so bekämen doch die entferntesten Eisspuren nur eine geographische Breite von noch nicht 10°. Die Sammlung dieser Bruchstücke des einstigen Gondwanalandes zu einer Eiskappe, welche die quartäre Eiskappe von Nordamerika und Europa nicht übertrifft, ist als einer der wichtigsten Erfolge der Verschiebungstheorie zu betrachten.

Die Eisspuren bestehen meist aus einer zusammenhängenden Schicht von verhärtetem Blocklehm (Tillit) mit gekritztem Geschiebe. An manchen Stellen aber kann man noch den geglätteten Felsboden sehen, der vom Eise abgeschliffen wurde, und aus den darauf erkennbaren Schrammen die Bewegungsrichtung des Eises ablesen. Am schönsten sind alle diese Erscheinungen in Südafrika zu studieren, wo sie namentlich durch die sorgfältige Beschreibung von G. A. F. Molengraaff zuerst näher bekannt wurden.¹⁾ Die große Ausdehnung dieser Eisspuren beweist, daß es sich nicht um lokale Gebirgsgletscher, sondern um echtes Inlandeis handelt, zu dessen Entstehung Polarklima notwendig ist. Schon die Eisbedeckung Südafrikas war an Größe der heutigen von Grönland zu vergleichen, und dabei muß das Eis noch über die heutigen Grenzen des Kontinents hinausgegangen sein. Ebenso wie bei der diluvialen Vereisung Nordamerikas und Europas lassen sich auch in Südafrika mehrere Ausstrahlungszentren des Eises angeben, welche offenbar alte Bodenerhebungen darstellen, nämlich von Westen nach Osten: Nama-Land, Griqua-Land, Transvaal und Natal. Das eigentliche Zentrum des letzteren Teilgebietes wird noch etwas östlich von Afrika angenommen. Das Eis von Nama-Land aber scheint nach Nordwesten über die Grenzen von Afrika hinaus in das damals unmittelbar daranstoßende Südbrasilien hinübergetreten zu sein, denn einerseits schließt Coleman an, daß der südamerikanische Tillit aus Südosten von einer Eiskappe gekommen sei, die jenseits der heutigen Küste von Südamerika lag, und andererseits weist du Toit darauf hin, daß die Beschreibung der charakteristischen Kiesel aus gebändertem Jaspis, die im südbrasilianischen Tillit vorkommen, ganz auf ein afrikanisches Gestein paßt, welches das Transvaaleis von den Bergketten der Matsap beds in West-Griqualand aufgenommen und mindestens bis nach Deutsch-Südwestafrika nordwestwärts transportiert hat. Es würde wahrscheinlich für einen Kenner des Dwyka-Konglomerates ein leichtes sein, im südbrasilianischen Tillit noch weitere afrikanische Gesteine nachzuweisen.

1) G. A. F. Molengraaff, The Glacial Origin of the Dwyka Conglomerate, Trans. of the Geol. Soc. of South Africa 4, 103—115, 1898. Von neueren Arbeiten sei besonders erwähnt: Alex. du Toit, The Carboniferous Glaciation of South Africa. Ebendort 24, 188—227, 1921.

Die Moränen liegen in Südafrika nördlich des 33. Breitengrades diskordant auf der oft geschrämmten Unterlage, das Eis lag und endete also hier auf trockenem Lande. Südlich davon liegt der Blocklehm konkordant auf Meeresablagerungen, als deren unmittelbare Fortsetzung er erscheint. Das Eis scheint hier als schwimmende „Barriere“ geendet zu haben, wobei die am Unterrand ausschmelzende Grundmoräne als natürliche Fortsetzung der früheren Sedimentation sich auf diese legte. Aus dem Fossilinhalt geht hervor, daß das Wasser süß oder doch nur brackisch war, woraus du Toit schließt, daß das Land früher südlich vom Kaplande eine Fortsetzung hatte. Dies ist eine Bestätigung der Annahme der Verschiebungstheorie, nach welcher sich früher hier die antarktische Scholle unmittelbar anschloß.

Entsprechend der Gliederung der diluvialen Eiszeit in Eis- und Zwischeneiszeiten scheinen auch die permokarbonen Glazialschichten bisweilen mehrfache Moränenablagerungen übereinander zu führen, die durch andere Ablagerungen voneinander getrennt sind. Freilich sind die Beobachtungen hierüber bisher recht spärlich. So beschreibt Keidel aus der argentinischen Vorkordillere zwei glaziale oder fluvio-glaziale Horizonte, die durch kohlige Schiefer und Sandsteine getrennt sind. Woodworth berichtet (nach du Toit) von zwei- oder dreifachem Tillit in Südwestbrasilien. Derartige Angaben müssen freilich dann mit großer Vorsicht benutzt werden, wenn die verschiedenen Eishorizonte nicht im gleichen Profil übereinander gesehen werden, sondern an weit verschiedenen Stellen und vielleicht von verschiedenen Beobachtern, und auf die Mehrzahl der Eiszeiten nur wegen der Verschiedenheit der Zeitbestimmung geschlossen wird. Letzteres gilt z. B. wohl für die Angaben von Hennig, der für das äquatoriale Afrika wenigstens zwei, vielleicht drei Vereisungen annimmt, deren eine älter als die südafrikanische sein soll, während eine andere erst in der Triaszeit erfolgt sein soll. In Südafrika, wo ja die Spuren am besten untersucht sind, läßt sich nach du Toit eine staffelförmige Anordnung der von den verschiedenen Eiszentren herrührenden Blocklehme erkennen, und zwar in dem Sinne, daß immer die östlichere Eiskappe später tätig war als die westliche, ähnlich wie im Quartär in Nordamerika. Von Interglazialschichten, die auf Fehlen des Eises in den Zwischenzeiten hindeuteten, ist freilich nicht die Rede, so daß doch wohl eine gleichzeitige Vereisung aller südafrikanischen Zentren anzunehmen ist und nur das Maximum der Eisdicke allmählich von einem zum anderen Zentrum übergang. In Indien folgen auf die glazialen Konglomerate zunächst die Damuda-Schichten mit Kohlen- und Pflanzenversteinerungen, und darüber die Panchet-Schichten, in denen man aus der Desintegration der Gesteine auf Kälte ohne Eis geschlossen hat. Der Zeitunterschied ist hier allerdings recht beträchtlich (Grenze zwischen

Karbon und Perm und andererseits oberstes Perm). Am deutlichsten ist aber eine solche Gliederung in zwei Glazialzeiten in einem Teil Australiens, nämlich in Neusüdweste. Hier zeigt sich folgendes Profil:¹⁾

Perm	Obere marine Schichten	<ul style="list-style-type: none"> Marine Schichten 3500 Fuß Branxton-Glazial-Horizont Marine Schichten 1500 Fuß.
	Greta-Kohlenschichten mit Pflanzenversteinerungen	130 Fuß
Perm	Untere marine Schichten	<ul style="list-style-type: none"> 1. Marinsandsteine der Ravensfield-Serie 1000 2. Schiefer mit gelegentlichen Foraminiferen 800 3. Hapurs Hügel-Konglomerate u. Tuffsandsteine 270 4. Marine Schiefer 1000 5. Marine (?) Schiefer mit Erraticum und dünnen (andesitischen und basischen) Lavaergüssen 900 6. Schiefer mit gelegentlich eingestreutem Erraticum, wahrscheinlich gekritz 440 7. Sandsteine mit Konglomeratbändern, nach unten in marine schiefrige Lagen mit Rippelmarken übergehend 60 8. Lochinvar-Glazialschichten
Karbon	Smith's Creek-Schichten mit Pflanzenversteinerungen.	

Wie dies Profil zeigt, folgte nach der Lochinvar-Vereisung zunächst eine Zeit, in welcher die dort sich bildenden Marinschichten noch mit Erraticum durchsetzt sind, d. h. das Meer Eisberge trug, von deren Unterseite sich Grundmoränenmaterial loslöste. Dann aber kommen die Greta-Kohlenschichten mit Landpflanzen, welche aus Süßwassermooren auf dem Lande hervorgegangen sind. Und darüber findet sich wiederum eine Grundmoräne in dem Branxton-Horizont. Die Greta-Kohlen bezeichnen also eine typische Interglazialzeit mit Moorbildung.

Es ist übrigens sehr interessant, daß diese Zweiteilung der Vereisung nur im mittleren Teil Ostaustraliens (Neusüdweste) zu beobachten ist. Südlich davon, in Victoria, gibt es nur einen Glazialhorizont, und nördlich davon, in Queensland, gar keinen. Dies ist vielleicht so zu verstehen, daß der südlichste Teil in diesem Zeitraum ständig unter Eis begraben war, während im mittleren Teil das Eis nur zweimal vorstieß, und der nördlichste Teil ganz freiblieb.

Es dürfte nicht angängig sein, für diese internen Schwankungen der permokarbonischen Vereisung jedesmal eine Änderung des Pol-

1) Nach Dacqué, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie, S. 362. Jena 1915, und C. D. White, Carboniferous Glaciation in the southern and eastern Hemispheres, — with some notes on the Glossopterisflora. The Amer. Geologist, Mai 1889.

abstandes anzunehmen. Aus den Klimazeugnissen anderer Breiten lassen sich jedenfalls kaum Stützen für eine solche Annahme ableiten. Viel wahrscheinlicher ist es, daß wir es hier mit Klimaschwankungen gleicher Art zu tun haben, wie wir sie später im Quartär in dem Wechsel zwischen Eis- und Interglazialzeiten wiederfinden, der offenbar durch astronomisch bedingte Wechsel im Strahlungsempfang der Erde verursacht wird. Wie weit daneben noch die Transgressionswechsel als Ursache in Frage kommen, läßt sich wegen unserer Unkenntnis der Ablagerungen auf Antarktika einstweilen nur schwer beurteilen.

Für die kontinuierliche Verfolgung des Südpols ist die Frage von Interesse, ob die Vereisung überall gleichzeitig erfolgte, oder man Zeitunterschiede feststellen kann. Letzteres ist nun in der Tat der Fall, und zwar sind die brasilianischen Eisspuren die ältesten, und ein Teil der australischen und die indischen die jüngsten. Schon in Südafrika allein für sich kann man nach du Toit¹⁾ aus der staffelförmigen Übereinanderlagerung der Moränen schließen, daß die Eisbildung sich von Westen nach Osten verlagerte. Derselbe Autor²⁾ setzt bei der Vergleichung der Schichtenfolge auf den verschiedenen Südkontinenten die Vereisung Brasiliens etwas älter als diejenige Südafrikas. Von den verschiedenen Glazialfunden im Kongogebiet ist nach Hennig³⁾ (du Toit schließt sich ihm an) der eine sicher älter als das südafrikanische Dwyka-Konglomerat. L. Waagen⁴⁾ hebt hervor, daß die Vereisung in Brasilien und Südafrika vor, in Australien nach dem Auftreten von *Glossopteris* stattfand. Auch C. D. White⁵⁾ gibt an, daß sich in Neusüdwales in den Smith's Creek-Schichten unter dem Glazial neben anderen Pflanzenresten auch *Glossopteris* findet. Gothan⁶⁾ bezeichnet dagegen die Angabe „einer älteren etwa unterkarbonischen *Glossopteris* aus Australien“ als unsicher, womit übereinzustimmen scheint, daß weder Basedow⁷⁾ noch W. Waagen⁸⁾ *Glossopteris* unter den Pflanzen der Smith's Creek-Schichten aufzählen. Aber selbst wenn diese Angabe über *Glossopteris* unter dem australischen Glazial ein Irrtum

1) a. a. O.

2) A. W. Rogers and A. L. du Toit, *An Introduction to the Geology of Cape colony*. 2. Ed. London, New York, Bombay and Calcutta 1909.

3) E. Hennig, *Die Glazialerscheinungen in Äquatorial- und Südafrika*. Geol. Rundschau 1915, S. 154.

4) L. Waagen, *Unsere Erde*, S. 437. München o. J.

5) C. D. White, *Carboniferous Glaciation in the southern and eastern Hemisphere*, — with some notes on the *Glossopteris* flora. The Americ. Geologist, Mai 1889.

6) Potonie-Gothan, *Lehrb. d. Paläobotanik*. 2. Aufl. Berlin 1921.

7) H. Basedow, *Beiträge zur Kenntnis der Geologie Australiens*. Zeitschrift der Deutsch. Geol. Ges. 1909, S. 306 ff.

8) W. Waagen, *Die Carbone Eiszeit*. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst. 37, 1888, S. 143 ff.

wäre — was wir Fachleuten überlassen müssen —, so bleibt doch vieles, was für das jüngere Alter der australischen Eisablagerungen spricht. In Brasilien wie in Südafrika wuchsen noch auf den permokarbonen Moränen *Lepidodendron*- und *Sigillarien*bäume, wenngleich bereits gemischt mit der neuen *Glossopteris*flora. Aber weder in Vorderindien noch in Australien sind diese älteren karbonischen Formen noch oberhalb des Glazials bekannt; nur für Victoria gibt Basedow (a. a. O.) an, daß sich auch noch dicht über dem Glazialkonglomerat *Lepidodendron* findet, doch scheint hier ein Irrtum nicht ausgeschlossen. Die besser bekannte Schichtenfolge von Neusüdwaless zeigt in den Greta-Kohlen zwischen den beiden Eishorizonten bereits eine Flora, die nur noch aus den neuen Elementen besteht.

Aus alledem geht jedenfalls das eine hervor, daß sich die Eiskappe von Brasilien über Afrika und Vorderindien nach Australien verschoben hat. Die genaue Bestimmung der Zeiten ist freilich noch kaum mit Sicherheit durchführbar. Für die am besten bekannten Spuren in Südafrika geben Rogers und du Toit als Zeit „entweder Oberkarbon oder unteres Perm“. Da im Frühdevon bereits Inlandeiss in Südafrika lag, müßte man annehmen, daß der Südpol schon zu dieser Zeit nahe bei der Südspitze von Afrika lag und im Karbon seine nördlichste Lage in Afrika erreichte, daß er im Spätkarbon an der Ostküste von Südafrika lag, im frühen Perm Vorderindien streifte und schließlich nach Australien hineinwanderte. Wir kommen dabei schwer um die Annahme herum, daß z. B. im späten Devon und noch im Frühkarbon eine größere Vereisung überhaupt nicht stattfand. Es ist zwar nicht ganz ausgeschlossen, daß noch Eisspuren aus dieser Zeit gefunden werden, und es ist auch denkbar, daß die Eisspuren zwar seinerzeit erzeugt wurden, aber durch Erosion wieder beseitigt sind. Aber wahrscheinlicher ist doch wohl gegenwärtig die Annahme, daß es größere Eismassen in jener Zeit am Südpol nicht gegeben hat. Jedenfalls ist es in diesen Zeiten wie auch später nicht möglich, die Verlagerung des südpolaren Inlandeises kontinuierlich zu verfolgen. Die Verlegung der Eismassen von Brasilien nach Australien entspricht nur einem besonders deutlichen Bruchstück dieser Polwanderung.

Es ist — auch für die folgenden Abschnitte dieses Kapitels — sehr nützlich, sich einen Überblick über die Schichtenfolge mit ihrem Inhalt an Klimazeugnissen für die einzelnen Teile des alten Gondwanalandes zu verschaffen.

In Brasilien gliedert sich das hier in Betracht kommende „Santa Catharina-System“ nach Rogers und du Toit (a. a. O.) sowie Branner¹⁾ folgendermaßen:

1) John C. Branner, *Geologia elementar preparada com referencia especial aos Estudiantes Brasileiros e á Gologia do Brazil*. 2. Ed. Paris 1915.

Zeit (n. Rogers u. du Toit)	Gliederung des Santa Catharina-Systems		
Frühjura	{	São	{ Vulkanische Gesteine
Trias		Bento- Serie	
			{ Rio do Rasto-Schichten (Red Beds mit dem Reptil Scaphionyx)
	{	Passa	{ Estrada Nova-Schichten
		Dois- Serie	
Perm			
	{	Rio	{ Palermo-Schiefertone
		Tubero- Serie	
Spätkarbon	{		{ Orleans-Konglomerat Sandsteine und Schiefertone

Die Rio Bonito-Schichten oberhalb des glazialen Konglomerates enthalten außer produktiver Kohle auch eine reiche Flora, die aus Elementen der Lepidodendronflora und der Glossopterisflora gemischt ist. Branner führt folgende Pflanzen an: 1)

Lepidodendron, Lepidophloios, Sigillaria (3 Arten), Sphenopteris, Cardiocarpon (4 Arten), Lycopodiopsis, Equisetites, Hysterites, Rosellinites, die problematische Alge Reinschia, ferner *Schizoneura?*, *Phyllothea* (2 Arten), *Glossopteris* (3 Arten), *Gangamopteris*, *Ottokaria*, *Arberia*, *Noeggerathioipsis*, *Derbyella*, *Voltzia?*, *Dadoxylon* (3 Arten), *Carpolithus?*, *Hatimima*.

Da Glossopteris allgemein erst im Spätkarbon auftritt, Lepidodendron aber an der Grenze des Perm ausstirbt, so hat man jedenfalls für die Zeit der Rio Bonito-Schichten nur die Wahl zwischen Spätkarbon und Frühperm. Die erstere dieser beiden Annahmen scheint uns sogar noch vorteilhafter als die letztere, von Rogers und du Toit gewählte. Bei der Reichhaltigkeit dieser auch Bäume enthaltenden Flora darf man ferner annehmen, daß zwischen ihrer Existenz und der Eisbedeckung immerhin einige Zeit verstrichen ist. Hierdurch würde das Orleans-Konglomerat möglicherweise ins Mittelkarbon zurückdatiert werden müssen. Doch muß die Entscheidung hierüber durch die weitere geologische Forschung erbracht werden.²⁾ Durch eine solche geringfügige Umdatierung würden die Iraty-Schiefertone mit dem

1) Die Hauptvertreter der Lepidodendronflora sind durch gesperrten Druck, die der Glossopterisflora durch Kursivdruck hervorgehoben.

2) Die Arbeit von David White, Fossil Flora of the Coal Measures of Brazil, in Comissão de Estudos das Minas de Carvão do Brazil, Final Report of Dr. J. C. White, war uns bisher nicht zugänglich.

18 Zoll langen, frei schwimmenden Reptil *Mesosaurus*, das auch in Südafrika das Auftreten der dortigen Reptilienfauna einleitet, und dem sehr ähnlichen *Stereosternum* in der Permfolge etwas tiefer rücken, was wohl nur vorteilhaft erscheint.

In Südafrika gliedert sich das ganz entsprechende Karroo-System nach Rogers und du Toit (a. a. O.) folgendermaßen:

Zeit (n. Rogers u. du Toit)	Gliederung des Karroo-Systems	
Frühjura	Stormberg-Serie	Drakenberg-Schichten, vulkanisch Cave-Sandstein (1 Dinosaurier, 1 Krokodil) Red beds (5 Reptilien, darunter fleischfressende Dinosaurier. Verkieseltes Holz) Molteno-Schichten (3 Kohlschichten, verkieseltes Holz, Schizoneura, Stenopteris, Thinnfeldia, Baiera u. a. Pflanzen, einige Reptilien)
(Rhät)		
Trias		
Perm	Beaufort-Serie	Burghersdorp-Schichten (29 Reptilien, 1 Säugetier, Schizoneura, Thinnfeldia, Taenopteris, Stigmatodendron, Glossopteris) Mittlere Beaufort-Schichten (Kohle, 10 Reptilien) Untere Beaufort-Schichten (Kohle, 64 Reptilien!, Glossopteris in 8 Arten, Schizoneura, Phyllothea)
Spätkarbon	Ecca-Serie	(Verkieseltes Holz, Glossopteris, Gangamopteris, Sigillaria, Lepidodendron, 2 Reptilien: Archaeosuchus und Eccasaurus)
	Dwyka-Serie (mit Kohle)	Obere Schiefertone (Lepidodendron, Mesosaurus) Blocklehme (Gangamopteris) Untere Schiefertone (Phyllothea)

In den Zeitangaben sind wir Rogers und du Toit gefolgt mit der einzigen, aber von ihnen selbst an einer anderen Stelle ihres Buches freigestellten Annahme, daß wir die Blocklehme der Dwyka-Serie zum Spätkarbon zählen statt wie sie zum frühesten Perm. Wir betrachten dies also nicht als Widerspruch mit ihrer Darstellung. Dagegen sei die Frage angeregt, ob nicht die ganze Dwyka-Serie noch in das Karbon gehört, und die Ecca-Serie in die unterste Stufe des Perm zu verweisen ist. Denn in der Ecca-Serie tritt hier zuerst Glossopteris auf, die doch sonst schon im Spätkarbon zu finden ist, während die Dwyka-Serie nur die älteren Formen dieser Flora, nämlich Gangamopteris und Phyllothea, enthält. Auch daß Lepidodendron noch in der Ecca-Serie vorkommt, welches doch sonst mit Beginn des Perms ausstirbt, spricht dafür, daß diese Serie in den Anfang des Perms zu setzen ist. Das gleiche gilt für Gangamopteris, welche sonst auch schon in dem älteren

Perm ausstirbt. Für unsere Fragen ist aber diese Umdatierung nur insofern von Belang, als damit die gleichzeitige Lage des Äquators in Europa und Nordamerika berührt wird.

Zur Ergänzung sei noch das unter dem südafrikanischen Karroo-System liegende Kap-System angeführt:

Zeit	Gliederung des Kap-Systems
Mittelkarbon	Witteberg-Serie (Lepidodendron, Sigillaria, Stigmaria)
Devon	Bokkeveld-Serie (Einzelkoralle Zaphrentis, mitteldevonische Marinfossilien)
	Tafelberg-Serie (Glazial)

Die Stellung der Witteberg-Serie in das Mittelkarbon scheint deshalb nötig zu sein, weil die hierin auftretende Sigillaria nach europäischen Erfahrungen im Kulm noch nicht vorkam.

Für Vorderindien geben Rogers und du Toit (a. a. O.) zum Vergleich die folgende Zusammenstellung, die wir noch bezüglich des Fossilinhalts der Schichten nach Wadia¹⁾ ergänzen:

Zeit (n. Rogers u. du Toit)	Gliederung der Gondwana-Schichten
Frühjura Trias	Obere Gondwana-Schichten { Rajmahal Kota-Maleri (rote Sandsteine, arides Klima)
Perm	Untere Gondwana-Schichten { Panchet (ohne Kohle; Desintegration der Gesteine durch Kälte ohne Eis) Damuda ²⁾ (produktive Kohlen; Glossopteris [2 Arten] Gangamopteris [8 Arten], Sagenopteris, Schizoneura, Voltzia, Albertia) Talchir (zu unterst glazial, darüber Gangamopteris und Glossopteris)

Die Zeitbestimmung der Schichten ist hier besonders unsicher, wozu wohl der Umstand beiträgt, daß hier gar nicht die Vertreter der Lepidodendronflora vorkommen. Das Glazial bildet überall den untersten Horizont, unter ihm sind keine Schichten mit Pflanzenfossilien mehr vorhanden. Es ist hiernach also keineswegs ausgeschlossen, daß Dekan auch schon im Karbon vereist war. Ganz außerordentlich weit weicht von den obigen Angaben die Zeitbestimmung von Frech ab,

1) D. N. Wadia, Geology of India for Students. London 1919.

2) Gliedert sich weiter in: a) Raniganj = obere Kohlen, b) Eisenerzstufe ohne Kohlen, c) Barakar = untere Kohlen.

der nur für das Talchir noch permisches Alter annimmt, für Damuda aber bereits triassisches und für Panchet gar jurassisches! Wir möchten lieber Rogers und du Toit folgen, ja in bezug auf das Talchir-Konglomerat scheint uns die Auffassung der Indian Survey, nach der es spätkarbonisch sein soll, beachtenswert.¹⁾

Für Australien endlich ergibt sich folgende Gliederung der Schichten:²⁾

Zeit (n. Rogers u. du Toit)	Schichtenfolge in Neusüdwaes
[Rhät]	Wianamatta-Schichten
Trias	Hawkesbury-Serie { Hawkesbury-Sandstein 1000 Fuß Narrabeen-Schichten 1900 Fuß
Perm	Obere Kohlen-schichten { Newcastle (Kohlen, einzelne Flöze bis 27 Fuß mächtig. Glossopteris) 500—1200 Fuß Dempsey 2000 Fuß Tomago (Kohlen) 700 Fuß
Karbon	Obere Marin-Schichten (mit Glazialhorizont ³⁾) 5000 Fuß Greta- oder untere Kohlenschichten (Glossopteris 4 Arten, Phyllothea, Gangamopteris, Noeggerathiopsis, Annularia) 130 Fuß Untere Marin-Schichten (mit Glazialhorizont ³⁾) 4500 Fuß Smith's Creek-Schiefertone (Archaeopteris, Lepidodendron 3 Arten, Rhacopteris 4 Arten, Calamites, Cyclostigma, Sphenophyllum, Glossopteris?) 10000 Fuß

Rogers und du Toit setzen also den unteren der beiden Glazialhorizonte noch in das Spätkarbon. Die darüberliegenden Greta-Kohlen enthalten keine Vertreter der Lepidodendronflora mehr; die in Brasilien und Südafrika über dem Glazial liegende Mischflora fehlt hier (wie in Vorderindien). Die Smith's Creek-Schiefertone scheinen frühkarbonisch zu sein, wie unter anderem aus dem Fehlen von Sigillaria hervorzugehen scheint. Allerdings müßte dann die Angabe von Glossopteris bei C. D. White (a. a. O.) unrichtig sein, denn diese Pflanze tritt überall

1) In der Salt Range liegen die Moränen zu unterst diskordant auf älteren Schichten, dann folgen Schichten mit Marinfossilien, die von der Indian Survey für spätkarbonisch, von anderen aber für permisch gehalten werden. Darüber folgen fossilere Gesteine und endlich Productus-Kalk.

2) Nach Rogers und du Toit a. a. O., ferner C. D. White, Carboniferous Glaciation in the southern and eastern Hemisphere, — with some notes on the Glossopteris flora. The American Geologist, Mai 1889. — H. Basedow, Beiträge zur Kenntnis der Geologie Australiens. Zeitschr. der Deutsch. Geol. Ges. 1909, S. 306 ff. — W. Waagen, Die Carbone Eiszeit. Jahrb. K. K. Geol. Reichsanst. 38, Wien 1888, S. 143 ff.

3) Vgl. das Spezialprofil auf S. 26.

erst im Spätkarbon auf. Aber auch sonst finden sich in den Angaben über die australische Vereisung noch manche Widersprüche oder Unklarheiten. In Victoria, wo nach Basedow (a. a. O.) nur eine Vereisung nachweisbar ist, liegen unter dem Glazial wie in unserem Profil Schichten mit *Rhacopteris* und *Lepidodendron*; dicht über den Moränen, im gleichen Schichtverband mit ihnen wird *Gangamopteris* (in 3 Arten) gefunden, und darüber Schiefertone und rote Sandsteine angeblich mit *Lepidodendron*! Man muß wohl abwarten, bis diese Verhältnisse näher geklärt sind, ehe man zu sicheren Vorstellungen über das genaue Alter der Vereisung in den verschiedenen Kontinenten gelangen kann. Mit Sicherheit sagen kann man bisher nur, daß die Vereisung zuerst in Brasilien und Südafrika und zuletzt in Vorderindien und Australien aufhörte und für Südafrika ins Spätkarbon, nahe der Grenze des Perm, fällt. Jedenfalls stimmen diese Tatsachen am besten mit der Annahme, daß der Südpol zwischen Frühdevon und Karbon von Antarktika nach Kapland hinübertrat, dann seine Bewegungsrichtung fast umkehrte und im Spätkarbon und Perm von Südafrika über Vorderindien nach Australien hineinwanderte. Wir werden später sehen, daß eine solche Wanderung des Südpols auch mit der Verlegung der äquatorialen Regenzone und der Trockengebiete gut übereinstimmt.

Es muß in diesem Zusammenhange noch erwähnt werden, daß auch an gewissen Stellen der Nordhalbkugel vereinzelte Funde gemacht sind, die von manchen als glazial gedeutet werden, während andere diese Deutung bezweifeln oder bekämpfen. So glaubt Udden in Westtexas permische Spuren von Eis zu sehen, Hobson desgleichen im Karbon des Ruhrbeckens, Tschernischew im Oberkarbon des Ural. Alle diese Fälle beruhen nach Ansicht der meisten heutigen Geologen auf irrtümlicher Auslegung pseudoglazialer Konglomerate. Wie steht es aber nun mit dem jüngsten, aufsehererregenden Fall dieser Art, dem sogenannten Squantum-Tillit im Roxburgh-Konglomerat im Permo-karbon von Boston, der von Sayles als Moräne beschrieben wird?¹⁾ Die Beschreibung, welche Sayles gibt, wirkt an sich sehr überzeugend; er bildet gekritzte Geschiebe ab und gibt die Fundstellen an, die sich über ein immerhin beträchtliches Areal erstrecken. Geglätteter Felsen unter der Moräne ist allerdings bisher nicht festgestellt, so daß wir es nur mit Erscheinungen zu tun haben, die in täuschender Ähnlichkeit auch auf nicht glazialem Wege entstehen können. Vielleicht könnten für die Entstehung dieses Squantum-Tillites ehemals große Seehöhen in Frage kommen, zumal ja durch dieses Gebiet die spätkarbonische Faltung der Appalachen hindurchgeht. Aber die Erhaltung solcher

1) Robert W. Sayles, The Squantum Tillite. Bull. of the Museum of Comparative Zoölogy at Harvard College 56, No. 2 (Geol. Series Vol. 10). Cambridge 1914.

hochgelegenen Moränen ist wenig wahrscheinlich, denn was sich in großer Seehöhe bildet, wird in der Regel durch Erosion zerstört. Da alle übrigen Klimazeugnisse, wie noch zu zeigen ist, einwandfrei erweisen, daß Boston im Karbon in der äquatorialen Regenzone, im Perm in der Region der heißen Wüste lag, so steht die glaziale Natur dieses Tillites in unversöhnlichem Widerspruch mit den zahlreichen ihn zeitlich und räumlich umgebenden Klimazeugen anderer Art. Wir legen Wert auf die Feststellung, daß dieser Widerspruch nicht etwa unseren Annahmen zur Last gelegt werden kann. Er liegt vielmehr bereits bei den Beobachtungen und erfordert eine Lösung, unabhängig von allen Annahmen über das System der Klimate; denn ein Klima, welches gleichzeitig Korallenriffe, Salzlager und Eis erzeugte, d. h. gleichzeitig heiß und kalt war, kann es logischerweise nicht gegeben haben. Die Aufklärung dieses Rätsels des Squantum-Tillits ist wohl erst durch weitere Untersuchungen über seine Natur zu erwarten. Für uns kann es nicht zweifelhaft sein, daß wir der großen Zahl der übrigen, untereinander in Einklang stehenden Klimazeugnisse zu folgen haben und nicht dem einen abweichenden.

B. Kohle.¹⁾ Gerade die ergiebigsten Steinkohlenlager in Nordamerika, Europa und China liegen in unserer Rekonstruktion auf einem Großkreis, dessen Pol mitten in das permokarbonische Vereisungsgebiet fällt, und charakterisieren sich hierdurch als ehemalige Moore der äquatorialen Regenzone. Diese Deutung wird schon durch die große Mächtigkeit der Kohlschichten nahegelegt, die doch nur durch eine besonders üppige Produktion von Pflanzenstoffen zu erklären ist. Sind doch z. B. im Saarbecken 233 Flöze mit insgesamt mehr als 82 m Steinkohle, im Ruhrbecken 176 Flöze mit insgesamt mehr als 81 m Steinkohle vorhanden. In Oberschlesien enthalten die zahlreichen Flöze sogar mehr als 155 m Steinkohle, und das Hauptflöz ist 16 m dick. Wie später gezeigt werden wird, führt auch eine Untersuchung der Pflanzenreste zu dem Ergebnis tropischer Herkunft. Die Einwände, welche von R a m a n n, F r e c h, G o t h a n und anderen gegen die tropische Herkunft der Steinkohlen erhoben wurden, gingen meist davon aus, daß Torfbildung an tiefe Temperatur gebunden sei und in den Tropen die Verwesungsprozesse so intensiv seien, daß sich Torf nicht bilden könne. Die neuere Forschung hat jedoch klar gezeigt, daß dies ein Vorurteil war, das sich nur so lange halten konnte, wie die zahlreichen Sümpfe der äquatorialen Regenzone noch nicht auf Torfbildung untersucht waren. Seitdem Dr. K o o r d e r s 1891 zum ersten Male ein Torfmoor auf Sumatra untersuchte, haben sich die Ansichten schnell geändert.

1) Die meisten der folgenden Angaben sind entnommen aus F. Frech, Die Kohlenvorräte der Welt. Stuttgart 1917 (Finanz- und Volkswirtschaftl. Zeitfragen, 43. Heft), 182 Seiten.

Nach Potonié's Beschreibung¹⁾ liegt dies Moor auf dem flachen östlichen Teil der Insel nördlich des Kamparflusses, 90 km von der Küste entfernt. Sein Durchmesser beträgt 12 km, und seine Gesamtfläche wurde auf 80 000 ha geschätzt. Es ist mit einem 30 m hohen Wald aus gemischtem, immergrünem Bestand bedeckt, dessen Wurzeln ein dichtes horizontales Netz bilden und das Betreten überhaupt erst ermöglichen. Die Expedition biwakierte zweimal im Moor und war stark behindert durch die $\frac{1}{3}$ bis $\frac{1}{2}$ m über das Wasserniveau emporragenden Atemwurzeln (Pneumatophoren). Unter den Bäumen fanden sich, wenn auch selten, Baumfarne. Das Wasser zeigte die für Moormasser charakteristische teeartige Färbung. Daß der Untergrund wirklich Torf ist, wurde später von Larive festgestellt, welcher Torf von einer Mächtigkeit bis zu 9 m fand. Es war typischer, gut brennender Flachmoortorf, der fast ganz aus dem abgefallenen Blattwerk des Waldes gebildet war.

Es ist wohl nur der Unzugänglichkeit dieser tropischen Moore zuzuschreiben, daß man bisher fast nichts von ihrer Existenz wußte, und z. B. die Moorkarte von Früh²⁾ eine Beschränkung der Moore auf die Regengebiete der gemäßigten und allenfalls subtropischen Regionen zu beweisen schien. Leider ist das hieraus entstandene Vorurteil, Moorbildung sei in den Tropen wegen der hohen Temperatur unmöglich, auch in der heutigen Literatur noch immer nicht überwunden, obwohl andererseits zugegeben wird, daß „innerhalb der Vermoorungskimate“ die Intensität der Torfbildung ihr Maximum „in relativ warmen Klimaten“ erreicht. Es ist aber höchste Zeit, mit diesem Vorurteil vollständig aufzuräumen, denn es liegen schon heute Nachrichten über Moorbildungen fast aus allen Ländern der tropischen Regenzone vor. Keilhack beschreibt Torfmoore auf der Insel Ceylon³⁾, Krenkel solche im tropischen Afrika.⁴⁾ Besonders eingehend bespricht er das Kibirizi-Moor am Ufer des Tanganjika-Sees, gibt aber auch noch weitere, wenn auch weniger ausführliche Nachricht von zahlreichen ausgedehnten Mooren an den Nebenflüssen des Kongo, deren „Schwarzwässer schon durch die oben erwähnte Teefarbe ihre Herkunft aus einem Moor verraten.“ Ferner beschreibt Harrison Moore aus British-Guyana⁵⁾; sie liegen

1) H. Potonié, Die Entstehung der Steinkohle. 5. Aufl. 1910.

2) Früh und Schröter, Die Moore der Schweiz mit Berücksichtigung der gesamten Moorfrage. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechn. Serie, III. Lief. Bern 1904 (zitiert nach Solger, Die Moore in ihrem geographischen Zusammenhange. Zeitschr. der Ges. für Erdk., S. 702—717. Berlin 1905).

3) K. Keilhack, Über tropische und subtropische Torfmoore auf der Insel Ceylon. Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. 1915, Heft 1; — Über tropische und subtropische Flach- u. Hochmoore auf Ceylon. Mitt. Oberrhein. Geol. Ver. N. F. 4, S. 76.

4) E. Krenkel, Moorbildungen im tropischen Afrika. Centralbl. f. Min. usw. 1920, S. 371—380 u. 429—438.

5) J. B. Harrison, Pegass of British Guiana. Quart. Journ. Geol. Soc. Vol. LXIII, S. 292 (nach Stutzer, Nichterze, Bd. II. 2. Aufl. 1923.)

hier an der flachen Küste und sind bis 3 m mächtig. Als sicher darf angenommen werden, daß auch das Stromgebiet des Amazonas wie das des Kongo zahlreiche Tropenmoore birgt, worauf auch hier die häufigen Schwarzwässer (Rio Negro) hinweisen. In Wirklichkeit dürfte die Moorbildung in der tropischen Regenzone mindestens ebenso häufig sein wie in den Regengebieten der gemäßigten Zone und dabei im Mittel eine größere Mächtigkeit der Torfschichten geben, entsprechend dem üppigeren und unterbrechungslosen Pflanzenwuchs in den Tropen.

Die Hauptmasse der produktiven Steinkohlen ist spätkarbonisch, ein Teil aber auch frühkarbonisch und auch permisch, so daß die Möglichkeit besteht, die Verlagerung der äquatorialen Regenzone zu verfolgen. Nach der aus den Eisspuren erschlossenen Bewegung des Südpols ist zu erwarten, daß sich der Äquator um zwei Punkte drehte, deren einer in Zentralasien etwa am Balkasch-See lag. In Ostasien mußte er sich nach Norden, in Europa nach Süden bewegt haben. In der Tat scheint dies durch die Anordnung der frühkarbonischen, spätkarbonischen und permischen Kohlenlager bestätigt zu werden. In China liegen die frühkarbonischen Kohlen hauptsächlich in Schantung und Süd-Szetschuan, also in Mittelchina; die permischen aber haben die nordöstlichste Lage in Schansi, Tschili und der Mandchurei. Die noch jüngeren triassischen Kohlen, die wieder südlicher liegen (in Hunan), werden im folgenden Kapitel besprochen werden. In Zentralasien liegen frühkarbonische Kohlen im dsungarischen Alatau (südöstlich des Balkasch-Sees), spätkarbonische etwas südlicher (und östlicher) im Peschan, am Nordabhang des Nanschan und im mittleren Kwenlun.¹⁾ In Europa sehen wir die umgekehrte Anordnung der Kohlen: Die frühkarbonischen haben hier die nördlichste Lage. Die frühkarbonischen Kohlen von Spitzbergen, die nach Andersson²⁾ mehr als zwei Drittel der dortigen Kohlenschätze ausmachen, möchten wir freilich nicht mehr zu der eigentlichen äquatorialen Regenzone zählen, da die Flora doch schon auf ein etwas kühleres Klima hinzudeuten scheint. Das gleiche gilt auch wohl von den frühkarbonischen Kohlen der Bären-Insel.³⁾ Aber vielleicht gehören schon die frühkarbonischen Kohlen des Ost- und Westurals zur äquatorialen Zone, und sicherlich die von Schottland, Chemnitz, Moskau und wohl auch die von Bulgarien. Auf Spitzbergen und der Bären-Insel handelte es sich vielleicht um Sümpfe ähnlich den heutigen auf Florida in 27° Breite. Jedenfalls wird man gut tun, für die Äquatorlage im Frühkarbon hauptsächlich die englischen, deut-

1) K. Leuchs, Zentralasien. Handb. d. Reg. Geol. V, 7. Heidelberg 1916.

2) Andersson, Spetsbergens Koltillgangar och Sveriges Kolbehof. Ymer 37, 201—248, 1917.

3) O. Nordenskjöld, Die Nordatlantischen Polarinseln. Handb. der Reg. Geol. IV. 2 b. Heidelberg 1921.

schen und russischen Vorkommen zugrunde zu legen. In unserer Rekonstruktion ist nun noch keine Rücksicht genommen auf die spätkarbone Faltung, die für das Frühkarbon noch auszuglätten wäre. Nord-europa käme dann noch etwa 10° nördlicher zu liegen, als unsere Karte angibt. Die englischen und mitteleuropäischen Kohlen lägen dann gerade auf dem zur frühkarbonen Lage des Südpols passenden Äquator, Bulgarien auf 10° Süd, Spitzbergen auf 26° Nord.

Die Kohlen von Bosnien und Kroatien und von Spanien (in Asturien und Leon) werden als karbonisch schlechthin bezeichnet, die vom Südufer des Schwarzen Meeres ebenso wie die Hauptkohlen von England, Frankreich, Deutschland als spätkarbonisch.

Der spätkarbone Äquator darf also in Europa ein wenig südlicher gesetzt werden, zumal wenn man den um diese Zeit stattfindenden Zusammenschub der Landmassen berücksichtigt.

Aus dem frühesten Perm endlich sind noch Kohlen bekannt in Frankreich, Thüringen, dem Schwarzwald, Sachsen, Böhmen. Weiter finden sich aber noch permische Kohlen in Bosnien und in Zentralasien (im Altai und am oberen Jenissei). Diese Gegenden fallen sehr gut in die äquatoriale Regenzone, wenn der Südpol in Australien liegt.

In Nordamerika, wo die karbonischen Kohlen hauptsächlich im Osten der Vereinigten Staaten und Canadas vorkommen, liegen die Verhältnisse insofern anders, als permische Kohlen gar nicht mehr vorkommen — sehr verständlich nach der von uns angenommenen Äquatorlage. Frühkarbonische Kohlen¹⁾ finden wir hier hauptsächlich in Neubraunschweig bis Virginien, spätkarbonische hauptsächlich von Ohio bis Alabama. Es ist also hier nur eine Verschiebung der Kohlenbildung längs des Äquators festzustellen. Indessen, wenn wir auch hier den spätkarbonischen Zusammenschub in den Appalachen wieder ausglätten, so rücken die frühkarbonischen Kohlen beträchtlich weiter nach Nordwesten und kommen unserem frühkarbonischen Äquator sehr nahe.

Damit sind wohl diejenigen Kohlenvorkommen erschöpft, die der äquatorialen Regenzone des Karbon und Perm entstammen. Wir kämen nun zu den Kohlen der beiden subpolaren Niederschlagsgürtel. Aus der nördlichen Zone, die ja teils in den Pazifik, teils auf die heutigen Nordpolarländer fiel und noch weniger erforscht ist, kennt man bisher karbonische Kohlen nur auf Alaska.²⁾

Aus der südlichen subpolaren Niederschlagszone dagegen sind überall in Südamerika, Afrika, Vorderindien, Australien, Antartika Kohlen

1) Nach Frech. Nach Eliot Blackwelder (U. S. of North America. Handb. d. Reg. Geol. VIII, 2. Heidelberg 1912) sind wenig oder gar keine dieser Kohlen älter als spätkarbonisch.

2) The Geography and Geology of Alaska, Washington 1906. Department of the interior U. S. Geological Survey.

bekannt, die sich von den äquatorialen durch geringere Mächtigkeit und daher auch durch geringeren wirtschaftlichen Wert unterscheiden. Bei dem unbedeutenden Kohlevorkommen von Bogota (Columbien) kann man wohl noch im Zweifel sein, ob es zur südlichen subpolaren Regenzone des Fröükkarbon oder zur äquatorialen Regenzone des Perm gehört. Die genauere Altersbestimmung wird einmal diese Frage lösen. Auch am Titicaca-See kommen karbonische Kohlen geringer Mächtigkeit vor; hier spricht die größere Wahrscheinlichkeit wohl für die fröükkarbonische subpolare Regenzone, doch erscheint auch hier die permische Äquatorialzone noch nicht ausgeschlossen. Ganz klar aber sehen wir bei den stets unbedeutenden Kohlschichten, die sich nach Stappenbeck¹⁾ in den permischen (und triassischen) Schichten oberhalb des permokarbonen Glazials in Argentinien, Paraguay, Uruguay und Brasilien finden. Wie schon früher erwähnt, finden wir im Santa Catharina-System in den unmittelbar über dem glazialen Orleans-Konglomerat lagernden Rio Bonito-Schichten produktive Kohle. Rogers und du Toit setzen diese Schichten in das früheste Perm, nach unseren Annahmen darf man sie vielleicht noch ins Spätkarbon setzen.

Ganz ähnlich liegen die Verhältnisse in Südafrika. Hier finden wir Kohle oberhalb der Blocklehme zuerst in den permischen unteren und mittleren Beaufort-Schichten (dann auch in den triassischen Molteno-Schichten). Nach Frech soll die Mächtigkeit dieser Kohlschichten von Südafrika nach Norden abnehmen: in Rhodesia sei sie schon geringer und in Deutsch-Ostafrika seien nur noch Spuren zu finden. Nach anderen Autoren sollen aber nördlich des Njassa-Sees abbauwürdige Flöze liegen, und auch im Kongogebiet sollen Kohlen in den entsprechenden Schichten zu finden sein.

Auch in Vorderindien liegen produktive Kohlen über dem Glazialhorizont, nämlich in den permischen Damuda-Schichten. Auch in Australien sind die Kohlen permisch; sie liegen teils zwischen den beiden dortigen Glazialhorizonten (Greta-Kohlen), teils über ihnen (Newcastle- und Tomago-Schichten). Auf Antarktika endlich hat Shackleton in 74 bis 85° Breite mehrere, zusammen 12 m mächtige Kohlenflöze im „Beacon-Sandstein“ gefunden, der für ein Äquivalent der Gondwanaformation gehalten wird, so daß die Kohlen wahrscheinlich permischen Alters sind.²⁾

Es sind also allenthalben im Bereich der damaligen Vereisung Kohlen gebildet worden, und zwar stets nach dem Rückgang des Eises

1) Stappenbeck, Südamerikanische Minerallagerstätten. Die Naturwiss. 10, 231, 1922.

2) O. Nordenskjöld, Antarktis. Handb. d. Reg. Geol. VIII, 6, S. 19. Heidelberg 1913.

auf den zurückgelassenen Moränen. Die Erscheinung ist die gleiche, wie wir sie bei den quartären und postquartären Torfmooren Nordeuropas sehen. Die Unregelmäßigkeit der Moränenbildung war offenbar die Ursache für die zahlreichen Staubecken, in denen sich dann bei hinreichendem Niederschlag die Moore ansiedeln konnten.

C. Salz, Gips, Wüstensandstein.¹⁾ Für die Lage der karbonischen Trockenzonen ist es besonders wichtig, gleich das Devon mitzuberücksichtigen. Denn sowohl in Europa wie in Nordamerika lassen sich die Verhältnisse kurz so beschreiben, daß die hier noch im Devon lagernde nördliche Trockzone im Karbon durch die vorrückende äquatoriale Regenzone nordwärts zurückgedrängt wird, im Perm aber das Feld zurückerobert. Günstige Bedingungen für die Bildung großer Salzablagerungen bieten daher einerseits die Karbonzeit für die südliche Trockzone (Sahara), und andererseits die Permzeit für die nördliche (Nordamerika und Europa).

Der devonische Wüstensandstein des Old Red, welcher der nördlichen Trockzone entspricht, findet sich in Nordamerika von New York bis Neufundland, ferner in Grönland, Spitzbergen und Nordeuropa, und enthält in Nordamerika und Europa auch Salz. Eine nähere Beschreibung wird in Kapitel V im Zusammenhang mit den übrigen devonischen Klimazeugnissen gegeben werden.

Im Karbon wird nun diese durch das Old Red erwiesene Trockzone durch die kohlenbildende äquatoriale Regenzone zurückgedrängt. In Nordamerika haben wir zwar im Frühharbon (Mississippian) noch Gipsablagerungen nicht nur in Michigan, sondern auch in Virginia. Aber im Spätkarbon (Pennsylvanian) haben wir im Osten der Vereinigten Staaten und Canadas eine intensive Kohlenbildung, und sogar durch das Zentralgebiet der Vereinigten Staaten ziehen sich in südsüdwestlicher Richtung noch Kohlenfelder, die freilich nicht mehr so ergiebig sind wie die östlicheren. Weiter westlich aber treffen wir auch jetzt das Trockengebiet, denn in den Rocky Mountains bildeten sich Sandsteine mit Gipseinschaltungen, und die mächtigen permokarbonischen Red Beds des Westens zeugen allenthalben von Wüstenklima. Schon im spätesten Karbon beginnt die äquatoriale Regenzone wieder zurückzuweichen, und im Perm ist fast ganz Nordamerika wüstenhaft: Im obersten Karbon von Neufundland tritt über den letzten Kohlen-schichten bereits Salz auf, im Perm bilden sich große Gipslager in Iowa, Texas, Kansas, und in letzterem Staate auch Salzlager. Als Vertretung

1) Die meisten der folgenden Angaben über Salz sind entnommen aus: J. Ottokar Freiherr von Buschman, Das Salz, dessen Vorkommen und Verwertung in sämtlichen Staaten der Erde, insbesondere aus Bd. II: Asien, Afrika, Amerika und Australien mit Ozeanien. Leipzig 1906.

des Spätperms findet sich nach E. Kayser¹⁾ in den West- und Südstaaten der Union „eine überwiegend rot gefärbte, aus Sandsteinen, Mergeln und Schiefertönen zusammengesetzte gips- und salzhaltige versteinungsarme Gesteinszone“. Und ähnlich sagt Eliot Blackwelder²⁾: „In der Gegend der Rocky Mountains und der Great Plains wird ein trockenes Klima bezeugt durch das Vorwiegen von Red Beds mit ihren Salzseeablagerungen.“

In Europa sehen wir etwas sehr Ähnliches. Die devonische Trockenzone des Old Red, begrenzt durch Kohlenbildung im Süden in der Eifel, im Norden auf der Bären-Insel, wird im Karbon nach Norden zurückgedrängt. Auf Spitzbergen, das im frühesten Karbon (Kulm) jenseits der Trockenzone lag und Kohlen bildete, kommen bereits in den darüberliegenden frühkarbonischen Schichten und noch mehr in den spätkarbonischen gewaltige Gipsschichten (z. B. an den Ufern des Eisfjordes) zur Ablagerung³⁾, und auch im östlichen Ural kam es im Spätkarbon zu Salz- und Gipsablagerungen. Schottland blieb auch im Karbon in der Trockenzone, denn hier dauerte nach J. Walther⁴⁾ die Bildung von Wüstensandstein ununterbrochen vom Silur bis zum Perm, und nach Neumayr-Uhlig bildete sich sogar in England im Karbon Salz. In ganz Mitteleuropa jedoch sind alle Anzeichen von Trockenheit verschwunden, hier bilden sich im Früh- und Spätkarbon gewaltige Kohlenlager. Aber im Perm kehrt die Trockenzone nicht nur zurück, sondern sie ergreift nunmehr von ganz Europa Besitz bis viel weiter südlich als im Devon. Freilich im frühesten Perm hält die Kohlenbildung zunächst noch an. Dann aber bilden sich die permischen Salzlager von Südrußland (Gouv. Jekaterinoslaw) und Ost-rußland (Gouv. Perm), Deutschland und den Südalpen. Nach Arldt⁵⁾ findet sich insbesondere in Deutschland permisches Salz bei Gera, Artern, Staßfurt, Egeln, Vienenburg, Halle, Sperenberg, Segeberg, Hohensalza. Von der Entstehung der norddeutschen Salzlager, die besonders durch die neben dem Steinsalz auftretenden „Edelsalze“ große Bedeutung gewonnen haben und vor allem mit dem Namen Staßfurt verknüpft sind, entwirft Kubierschky folgendes Bild⁶⁾:

Am Schluß des mittleren Zechsteins erstreckte sich vom Ural über

1) E. Kayser, Lehrbuch der Geologie, II. Teil, S. 302. Stuttgart 1908.

2) Eliot Blackwelder, United States of North America. Handb. d. Reg. Geol. VIII, 2. Heidelberg 1912.

3) O. Nordenskjöld, Die Nordatlantischen Polarinseln. Handb. d. Reg. Geol. IV, 2 b. Heidelberg 1921.

4) J. Walther, Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908.

5) Arldt, Handb. d. Paläogeographie, S. 495. Leipzig 1917—1921.

6) K. Kubierschky, Artikel Kaliindustrie in der Enzyklopädie der techn. Chemie, Bd. 6, S. 564—627.

den größten Teil Deutschlands bis in die Mitte von England ein großes Meer. Anfangs in Verbindung mit dem offenen nordischen Meer, wurde es mit Eintritt in die spätere Zechsteinzeit allmählich abgeschnürt. Es entstand ein salziges Binnenmeer, das in einem heißen Wüstenklima allmählich eintrocknete. Beim Verdunsten von Meerwasser scheidet sich zuerst Gips aus. Heute findet man meist Anhydrit, was sich aber durch spätere Umwandlungen erklärt. An die Ausscheidung von Gips schloß sich die eines Gemenges von Gips und Steinsalz, darauf Anhydrit und Steinsalz und ehe die eigentlichen Kalisalze hinzutraten, Polyhalit und Steinsalz. In der Natur findet man diese Salzgemenge meist in ziemlich regelmäßiger wechselweiser Ausscheidung als sogenannte „Jahresringe“. Die Erklärung dafür dürfte einfach im jährlichen Temperaturwechsel liegen. Im Zechsteinsommer fiel Calciumsulfat als Gips, Anhydrit oder Polyhalit aus, weil es im wärmeren Wasser schwerer löslich ist als in kaltem, im Zechsteinwinter dagegen fiel das alsdann schwerer lösliche Natriumchlorid als Steinsalz aus. Die Ausscheidung der am leichtesten löslichen Mutterlaugensalze, die sich zuletzt daranschloß, ist ebenfalls vermutlich unter dem Einfluß der Temperaturschwankungen schichtweise geschehen. Auf diese Weise kann man die Zeitdauer der Eindampfung des Staßfurter Salzlagers abschätzen. Es ergibt sich die überraschend kurze Zeit von 10 000 Jahren, wovon nur 1000 Jahre auf die Kalisalze kommen. Während dieses Eintrocknens blieb Norddeutschland die tiefste Depression des weiten Beckens, und es soll noch während des Zechsteins um etwa 600 m gesunken sein. Schließlich wurden die Salzpflanzen durch den Wind mit wasserundurchlässigem Tonstaub zugedeckt und so vor späterer Auflösung geschützt. Der Ausscheidung der ersten Salzfolge folgte an einzelnen Stellen eine zweite und noch eine dritte, indem die Salzfluten anderer Teilstücke des weiten Beckens von neuem die eben eingetrockneten Pfannen überfluteten. Dann gingen die Dünen der Buntsandsteinwüste darüber hinweg und die Zechsteinsalze versanken immer tiefer.

Für die Temperatur der verdunstenden Lösungen nimmt K u b i e r s c h k y — den heutigen Verhältnissen in der Sahara entsprechend — eine Schwankung zwischen $+15^{\circ}$ und $+35^{\circ}$ C an; das Fehlen bestimmter Schichten in der Folge erklärt er durch zeitweise Trockenlegung während der Kristallisation, auch nimmt er an, daß an einzelnen Stellen die „Endlauge“ durch darübergewehten Wüstensand aufgesaugt und so aus den Salzlageren entfernt worden ist. Die nachträgliche Umwandlung einiger Mineralien — z. B. Gips in Anhydrit — im Innern der Erde haben wir schon erwähnt.

Das isolierte Vorkommen einzelner Salze wird von W a l t h e r teils durch anderen Ursprung als aus Meereswasser, teils durch Trennung der Salze während der Eintrocknung durch den Wind erklärt, wobei ein

Teil, vom Sturm davongetragen, schließlich in weiter Entfernung von dem liegendebliebenen Rest abgelagert wird.

Unter allen Umständen aber gehört zur Bildung aller Salzlager ein trockenes Wüstenklima, in welchem die Verdunstung über die Niederschläge mindestens während eines großen Teils des Jahres überwiegt.

Weit weniger als von der nördlichen Trockenzone haben wir sichere Spuren von der südlichen. In Ägypten bildete sich im Laufe langer Zeiten die Wüstenformation des Nubischen Sandsteins. Nach *Blanchenhorn*¹⁾ läßt sich in seinen unteren Schichten ein karbonischer Horizont feststellen, der auf Sinai *Lepidodendron* und *Sigillaria* führt. Darüber liegen mächtige fossilileere Schichten unbestimmbaren Alters, während der oberste Teil wieder bestimmbar ist und sich als Oberkreide erweist. Es scheint ferner, als ob das sogenannte „Salz der Sahara“ karbonischen Alters ist. *Buschman* freilich beschreibt es als wahrscheinlich triassischen Alters. Doch bei *Lemoine*²⁾ lesen wir nichts davon, sondern nur „A Taoudeni, ce sont les dépôts de remplissage d'un synclinal carboniférien“ unter Berufung auf *Flammand* (1907), *Nieger*, *Cauvin*. Folgt man der Beschreibung *Buschmans*, so würden hierher gehören die angeblich triassischen Steinsalz- und Gipslager in Algerien, ferner im Bereich der Sahara die Fundstellen bei *Sebcha Idjil*, *Taudeni*, *Bilma* und an der Südostabdachung des *Tibesti-Gebirges*. Auch nördlich von *Timbuktu* soll eine Steinsalzgrube liegen, und *Lenz* gibt noch *Wadan* (südöstlich von *Sebcha Idjil*) und *Tischit* (noch weiter südöstlich, halbwegs von *Sebcha Idjil* nach *Timbuktu*) an. Am bekanntesten sind hiervon die an der *Karawanenstraße* halbwegs zwischen *Marokko* und *Timbuktu* gelegenen Salzlager von *Taudeni*, wo sogar Häuser aus Steinsalz gebaut sind. Vielleicht ist es nicht ausgeschlossen, daß diese doch sehr weit zerstreuten Funde nicht alle gleichaltrig sind. Für die westlichsten Fundorte, besonders *Sebcha Idjil* und *Taudeni*, scheint nach den übrigen Klimazeugnissen in der Tat die Karbonzeit die einzige zu sein, die für Salzbildung in Betracht kommt, da sonst stets der Äquator hier zu nahe lag.

Auch noch in einem anderen Teile Afrikas soll es nach *Buschman* zu Salzbildungen gekommen sein, nämlich in der portugiesischen Kolonie *Angola* am *Kuanzafluß* und anderen Stellen. Indessen soll dies Salz permotriassischen Alters sein. In der Tat kommt die Permzeit viel eher in Frage als die Karbonzeit, weil in letzterer der Polabstand zu klein für Salzbildung war. Die Zeitangabe steht auch damit in Übereinstimmung, daß auch in dem benachbarten *Brasilien* in der *Trias* Trockenklima einsetzte.

1) *M. Blanchenhorn*, Geologie Ägyptens, S. 25. Berlin 1901.

2) *Lemoine*, Afrique occidentale. Handb. d. Reg. Geol. VII, 6 A. Heidelberg 1913.

Aus Südamerika wissen wir nur wenig über Trockenklima anzugeben. In Colombia (Dep. Antioquia) gibt es Solquellen, die den kohleführenden Karbonschichten entspringen und ihren Salzgehalt wahrscheinlich den unmittelbar darunterliegenden Schichten verdanken. Aber da, wie schon früher erwähnt, das Alter dieser Kohle noch unsicher zu sein scheint, haben Vermutungen über das Alter der darunter anzunehmenden Salzschichten wohl keinen Wert. Dagegen führt Harrassowitz¹⁾ unter den Gegenden, die im Karbon „Gips, Salz oder rote Schichten, die auf Trockenheit hindeuten“, gebildet haben, auch Peru und Java an, welche vorzüglich in die Anordnung hineinpassen, die in Fig. 3 dargestellt ist. Daneben werden freilich auch andere Gebiete genannt, wie Donetz, Tienschan, Westaustralien, die weniger gut mit dem übrigen stimmen.

D. Die Pflanzenwelt. Der beste Kenner der europäischen Karbonflora, H. Potonié, hat in seinen bekannten Untersuchungen die Gründe zusammengestellt, welche zu der Annahme nötigen, daß diese Pflanzen der äquatorialen Regenzone entstammen, und zwar in Waldmooren wuchsen, deren Torf uns in den großen Steinkohlenlagern erhalten ist.²⁾ Er hebt insbesondere folgende Züge hervor:

1. Soweit die Fruchtorgane der fossilen Farne ein Urteil zuließen, ergab sich ihre Verwandtschaft mit Familien, die heute in den Tropen zu Hause sind. Unter anderem ist die Verwandtschaft vieler karbonischer Farne mit den heutigen Marattiaceen erwähnenswert.

2. In der Karbonflora treten stark in den Vordergrund Baumfarne und kletternde bzw. windende Farne. Überhaupt überwiegen baumförmige Gewächse auch in Gruppen, die heute meist krautig sind. Schlingfarne sind z. B. Sphenopteris und Mariopteris (s. Fig. 5).

3. Manche karbonischen Farne, z. B. das Baumfarn Pecopteris, haben Aphlebien, d. h. unregelmäßig zerschlitzte Fiedern, an den Ansatzstellen der Nebenspindeln, die sich von der übrigen regelmäßigen Fiederung der Wedel auffallend unterscheiden. Sie sind schon ausgewachsen, wenn die jungen Normalfiedern noch eingerollt sind (s. Fig. 6). Solche Aphlebien werden heute nur an tropischen Farnen beobachtet.

4. Eine bedeutende Zahl von Karbonfarnen hat so große Wedel, wie sie nur in den Tropen vorkommen. Es gibt Wedel, die mehrere Quadratmeter groß sind.

1) H. Harrassowitz, Klima und Verwitterungsfragen. N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. XLVII, S. 497. — Diese Angaben sind in unserer Karbon-Karte noch nicht berücksichtigt.

2) H. Potonié, Die Tropensumpfflachmoornatur der Moore des produktiven Karbons. Jahrb. der Kgl. Preuß. Geol. Landesanst. 30, Teil I, Heft 3. Berlin 1909. — Derselbe, Die Entstehung der Steinkohle. 5. Aufl., S. 164. Berlin 1910.

5. Zuwachszonen (Jahresringe) fehlen vollständig in den Stämmen der europäischen Karbonbäume. Das Wachstum ist also wohl weder durch periodische Trockenzeiten noch durch periodische Kälte unterbrochen worden.

6. Man hat Stammbürtigkeit der Blüten (Cauliflorie) festgestellt „bei Calamariaceen und Lepidophyten, und zwar bei diesen letzteren bei gewissen Lepidodendraceen (der »Gattung« *Ulodendron*, die sich



Fig. 5. Das Schlingfarn *Sphenopteris* (nach H. Potonié)

sogar ausschließlich auf jene großen Male an den Stammresten gründet, welche stammbürtigen Blüten entsprechen) und *Sigillariaceen* Heutzutage sind Gehölze, deren Blüten aus altem Holz (aus Stämmen und Zweigen) seitlich hervorbrechen, fast ganz auf den tropischen Regenwald beschränkt Es ist vielleicht der durch die dichte, tropische Vegetationsdecke bedingte mächtige Kampf ums Licht, der sich darin ausspricht, daß die lichtbedürftigen Laubblätter oft ganz ausschließlich den Gipfel einnehmen, während die Fortpflanzungsorgane an den Teilen der Pflanzen auftreten, die dem Licht weniger zugänglich

sind, wo sie jedenfalls die ausgiebige Lebensverrichtung der Laubblätter in keiner Weise behindern.“

Es ist vielfach gesagt worden, daß heute Baumfarne weniger in den Tropen als in den Subtropen, und zwar hier an feuchten Berghängen,



Fig. 6. Junger Wedel mit Aphlebien von *Pecopteris plumosa* (nach H. Potonié)

vorkommen. Allein man muß berücksichtigen, daß es sich hier um eine Moorflora handelt. Wir können die großen Kohlenlager nur entweder mit den heutigen Mooren der äquatorialen Regenzone oder denen der beiden subpolaren Regenzone vergleichen. Zwischen ihnen kommt

Moorbildung viel zu selten vor, als daß wir damit den großen Kohlen-gürtel erklären könnten, der sich von Nordamerika über Europa bis China verfolgen läßt. Baumfarne stehen aber heute (wenn auch selten) nur in den Mooren der äquatorialen Regenzone, sind aber in den subpolaren Torfmooren völlig ausgeschlossen. Daher darf auch das häufige Vorkommen von Baumfarnen durchaus als Beweis für die Herkunft aus der äquatorialen Regenzone gelten.

Ferner hat man gegenüber dem Fehlen von Jahresringen eingewandt, daß dies vielleicht eine allgemeine Eigentümlichkeit der damaligen Flora war und nichts über das Klima aussagt. Allein auch dieser Einwand muß zurückgewiesen werden, da in größerer Polnähe (auf den Falklandsinseln und in Australien) tatsächlich Hölzer mit Jahresringen aus der damaligen Zeit gefunden worden sind.

Daß sich die tropische Flora gerade an den Hauptkohlenlagern findet, die schon durch ihre Mächtigkeit auf rasches und ununterbrochenes Wachstum hinweisen, aber nicht bei den dünneren Kohlenflözen, die oberhalb der permokarbonen Moränen auf den Südkontinenten auftreten, ist eine weitere Bestätigung von P o t o n i é s Ansicht.

Aber besonders eindrucksvoll dürfte der Umstand sein, daß der große Kohlengürtel bei Anwendung der Verschiebungstheorie einen Großkreis bildet, und daß der eine Pol dieses Großkreises mitten in das damalige Vereisungsgebiet fällt. Die gewaltigen ehemaligen Torfmassen mit den nach P o t o n i é tropischen Pflanzenresten lagen überall 90° von der Mitte der großen Inlandeiskappe entfernt. Ein Zweifel an ihrer Herkunft aus dem damaligen äquatorialen Regengürtel erscheint danach nicht mehr möglich.

Wenn wir die Florenfunde der Permokarbonzeit in ihrer Gesamtheit klimatisch verwerten wollen, so müssen wir sie etwas schärfer ins Auge fassen. Es tritt uns dabei in der Literatur immer wieder der Gegensatz zwischen der „europäischen Karbonflora“ und der kühleren, auf den Südkontinenten oberhalb der Moränen auftretenden „Glossopterisflora“ entgegen, die etwas so Abgerundetes darstellt, daß A r b e r ihr eine Monographie widmen konnte (Catal. Brit. Mus. 1905). Aber diese Gegenüberstellung trifft nach unserer Ansicht nicht den Kern der Sache, denn es werden hierbei klimatisch bedingte Unterschiede mit zeitlichem Wechsel zusammengeworfen. Richtiger ist es, zunächst zeitlich zwischen einer Karbon- und einer Permflora zu unterscheiden, und in jedem dieser Abschnitte noch weiter zu unterscheiden zwischen tropischer und kühler Flora. Die Karbonflora gliedert sich so in einen tropischen Teil, mit dem sich hauptsächlich P o t o n i é s Beweisführung für die Tropennatur beschäftigt, und den wir vielleicht, um einen Namen zu haben, nach dem mit Aphlebien versehenen Baumfarn Pecopteris nennen können. Dieser tropischen Pecopterisflora steht eine kühle

Karbonflora gegenüber, die nur aus den härteren Elementen des europäischen Karbons, wie *Lepidodendron*, *Sigillaria* und anderen besteht, und die wir deshalb *Lepidodendronflora* nennen wollen. Während die *Pecopterisflora* streng auf die damaligen Tropen beschränkt ist, kommt die *Lepidodendronflora* mindestens von Spitzbergen bis Südafrika, d. h. in einem Breitenintervall von 120° vor.

Diese Karbonflora wurde nun von einer Permflora abgelöst, die sich ihrerseits wiederum in eine tropische und eine diesmal nicht ubiquitäre, sondern ausgesprochen kühle Flora gliedert. Was zunächst die letztere betrifft, die sogenannte *Glossopterisflora*, so fand der Übergang von der *Lepidodendronflora* zu ihr etwa an der Wende von Karbon zu Perm statt. Wie aus den oben mitgeteilten Schichtenfolgen für Brasilien und Afrika hervorgeht, geben in Brasilien die frühpermischen Rio Bonito-Schichten noch Vertreter beider Floren, und ebenso in Südafrika die gleichfalls frühpermischen obersten Dwyka-Schichten und die *Ecca*-Serie. Hier kann man also den Florenwechsel schrittweise verfolgen. In dem damals tropischen Europa fand erst etwas später, nämlich um die Mitte der Permzeit, ein allerdings viel tiefer greifender Wechsel der Flora statt, den *G o t h a n* mit folgenden Worten beschreibt¹⁾: „Die Flora trägt hier (im Zechstein, also oberen Perm) einen ganz anderen Charakter als die rotliegend-karbonische. Von den eigentlich karbonischen und permokarbonischen Formen ist fast nichts mehr wahrzunehmen. Eine dürftige *Callipteris* und einige *Sphenopteris*-Stücke, offenbar auch *Pteridospermen*, erinnern noch bis zu gewissem Grade an die frühere Flora; es mögen auch noch einige weitere permokarbonische Formen Residuen hinterlassen haben, indes sind die zahllosen sonstigen *Pteridospermen* des Karbons, die *Lepidophyten*, die *Sphenophyllen*, fast ganz die *Calamiten*, die Farnformen des Karbons, die *Cordaiten* verschwunden. Dagegen geben die zahlreichen Individuen der Koniferengattung *Ullmannia*, die häufigere *Baiera digitata* aus der *Ginkgophyten*-gruppe, die ersten *Voltzien* der Flora ein eindeutig mesozoisches Gesicht. Denn die Vorherrschaft der Koniferen in dieser Flora, neben *Ginkgophyten* und anderen, spricht so deutlich in diesem Sinne wie nur möglich. So ergibt sich zugleich, daß der Hauptschnitt in der jüngeren paläozoischen Flora zwischen Rotliegendem und Zechstein zu setzen ist; eine neue große Entwicklungsperiode der Pflanzenwelt ist mitten in der permischen Formation angebrochen, durch die Vorherrschaft der *Gymnospermen* charakterisiert.“ Zu beachten ist dabei, daß Europa gerade mit dem Zechstein aus dem bisherigen äquatorialen Regengebiet in das Trockengebiet rückte, wie aus den gleichzeitigen Salzablagerungen hervorgeht. Diese Trockenheit mußte natürlich für die Flora

1) *P o t o n i é - G o t h a n*, Lehrb. d. Paläobotanik. 2. Aufl., S. 433. Berlin 1921.

der tropischen Moore tödlich sein. Die Koniferen dagegen waren ihr wohl weit besser angepaßt.

Was nun die Zusammensetzung dieser Floren betrifft, so besteht die karbonisch-äquatoriale Pecopterisflora insbesondere aus folgenden Elementen:

Pecopteris (Baumfarn mit Aphlebien), den Schlingfarnen Sphenopteris und Mariopteris, ferner Lonchopteris, Neuropteris, Alloiopteris, Palmatopteris, Alethopteris, Odontopteris u. a.

Die Lepidodendronflora besteht dagegen hauptsächlich aus den Elementen:

Lepidodendron, Sigillaria, Calamites, Cordaites (alles Bäume), ferner dem Farn Rhacopteris, Callipteris und dem krautartig kleinen, vielleicht als Wasserpflanze wachsenden Sphenophyllum, Cyclostigma (Archaeopteris, Calymmatotheca, Asterocalamites) u. a.

In der Glossopterisflora endlich sind folgende Hauptvertreter zu nennen:

Das Farn Glossopteris mit ungeteilten, meist bis 10 cm, in seltenen Fällen etwa fußlangen Wedeln und von krautigem Wuchs (Fig. 7), das ähnliche, etwas ältere Farn Gangamopteris, die Wurzeln beider (Vertebraria), die oft in die Moränen der permokarbonischen Eiszeit hineingesenkt sind; ferner Neuropteridium mit ziemlich großen, einmal fiederigen Wedeln, Schizoneura und Phyllotheca, beides Equisetalen, von denen die letztere zu den ältesten Vertretern dieser Flora gehört, Noeggerathipsis, Ottokaria, Arberia, Rhipidopsis, Belemnopteris, Annularia, Reinschia (eine Alge?).

Fig. 7.
Glossopteris -
Wedel

Was zeigen nun die Beobachtungen? Im europäischen Karbon kommt die tropisch-sumpfige Pecopterisflora gemischt mit der Lepidodendronflora vor (vgl. Fig. 8). Auch im nordamerikanischen Kohlengebiet herrscht diese Mischflora. Gewisse Unterschiede sind freilich vorhanden, aber sie sind nicht größer als die zwischen den verschiedenen europäischen Kohlenbecken. „Die größte Übereinstimmung zwischen der europäischen und nordamerikanischen Karbonflora bietet sich im oberen Teil des mittleren Oberkarbons (Pennsylvanian), wo in Amerika eine Flora auftritt, die der entsprechenden europäischen (Transition der Engländer, Piesbergflora des Ruhrbeckens, Flammkohlenflora von Saarbrücken, entsprechende Schichten im Donetzbecken usw.) sozusagen vollständig gleicht.“¹⁾ Das Pennsylvanian ist aber die Hauptkohlenzeit Nordamerikas.

1) Potonié-Gothan, Lehrb. d. Paläobotanik. 2. Aufl., S. 455—456. Berlin 1921.

Auch die Flora der Steinkohlenlager am Südufer des Schwarzen Meeres bei Eregli hat denselben Charakter der tropischen Sümpfe, was sich in dem Vorkommen von *Mariopteris*, *Sphenopteris*, *Neuropteris* u. a. zeigt.¹⁾

Auch in China scheinen die Verhältnisse nicht wesentlich anders zu liegen, soweit man sie bisher beurteilen kann. Nach G o t h a n haben wir dort „außer den mit dem europäisch-nordamerikanischen Vorkommen gemeinsamen Arten in *Lepidodendron oculus felis* und *Gigantopteris*arten ganz bestimmte Lokalpflanzen“. *Gigantopteris* ist jedoch auch schon in den südlichen Vereinigten Staaten von Nordamerika gefunden worden und scheint zur *Pecopteris*flora gezählt werden zu müssen.

Weiter sei erinnert an A. T o b l e r s Fund einer *Pecopteris* im Oberkarbon von Sumatra und die Zweifel, welche die holländischen Geologen hinsichtlich des Vorkommens der *Glossopteris*flora im Sunda-Archipel hegen. Es scheint hieraus hervorzugehen, daß die Sundainseln im Karbon eher tropisches als kühles Klima hatten.

Aus Zentralasien ist nach L e u c h s) eine Flora bekannt, die aus *Lepidodendron*, *Lepidophloios*, *Bothrodendron*, *Sphenophyllum* (diese frühkarbonisch) und *Lycopodites*, *Asterophyllites* (diese spätkarbonisch) besteht und eher auf kühles als auf warmes Klima schließen läßt. Jedenfalls fehlen die Vertreter der tropischen Waldmoore, und freilich auch Kohlen. Der Äquator läßt sich kaum anders als in beträchtlicher Nähe an diesen Gebieten vorbeiführen, wenn auch die genaue Lage derselben in unserer Rekonstruktion wegen der riesenhaften Zusammenschübe gerade in Zentralasien ganz besonders unsicher ist. Die Frage nach der Deutung dieser Flora bleibt wohl am besten noch offen.

Die frühkarbonische Flora Spitzbergens und Nordostgrönlands ist, jedenfalls in der Hauptsache, nur noch die *Lepidodendron*flora. Sie bestand aus: *Sphenopteris*, *Adiantites*, *Lepidodendron*, *Bothrodendron*, *Calymmatotheca*, *Sphenophyllum*, *Asterocalamites*. Hier wird es sich um Sümpfe handeln, die dicht nördlich der nördlichen Trockenzone unter einem ähnlich warmen Klima gebildet wurden wie heute die Sümpfe auf Florida. Ähnlich waren wohl auch die Verhältnisse auf der Melville-Insel.

In Nordrußland und an zahlreichen Stellen von Innerasien kommt die *Lepidodendron*flora auch gemischt mit Vertretern der *Glossopteris*flora vor.

Aber auch auf der damaligen südlichen Halbkugel besaß die *Lepidodendron*flora eine außerordentliche Verbreitung. Sie findet sich

1) Philippson, Kleinasien. Handb. d. Reg. Geol. V, 2. Heidelberg 1918.

2) Leuchs, Zentralasien. Handb. d. Reg. Geol. V, 7. Heidelberg 1916.

zunächst in Afrika im südlichen Oran, ferner am Sinai, wo *Lepidodendron* und *Sigillaria* im unteren Nubischen Sandstein gefunden wird, ferner in ganz ähnlicher Weise auch in Peru und Argentinien. In Brasilien kommen in den Rio Bonito-Schichten die Elemente dieser Flora mit denen der *Glossopteris*-flora gemischt vor. In Südafrika kommt die *Lepidodendron*-flora zunächst allein vor (in der Witteberg-Serie), sodann mit der *Glossopteris*-flora gemischt (Dwyka-Serie und Ecca-Serie).¹⁾ Aus Vorderindien sind bisher keine Vertreter der *Lepidodendron*-flora bekannt geworden, dagegen tritt sie in Australien in den Smith's Creek-Schiefertonen auf, wobei noch unentschieden ist, ob auch Vertreter der *Glossopteris*-flora dabei vorkommen.

Die kühle *Lepidodendron*-flora hatte also eine so gut wie weltweite Verbreitung und fehlte auch in den damaligen Tropen nicht, wenngleich sie dort wohl mit anderen Arten auftrat als in höheren Breiten.

Ihr jüngeres Gegenstück, die *Glossopteris*-flora, ist bisher in den damaligen Tropen noch nicht mit Sicherheit nachgewiesen, obwohl sie, dem allgemeinen Gesetz der Pflanzenausbreitung gemäß²⁾, wohl auch vom Äquator nach den kühleren Klimaten ausgestrahlt ist, wie ja schon ihre bipolare Anordnung zeigt, die sie mit vielen heutigen, nachweislich aus den Tropen stammenden Pflanzen gemein hat. Man wird also auch von diesen Pflanzen annehmen müssen, daß sie selbst oder ihre Vorfahren anfangs in den Tropen lebten. Aber bisher kennt man sie von dort noch nicht mit Sicherheit, so daß sich ihr Auftreten hauptsächlich auf die zwei außertropischen Polkappen beschränkt — im Gegensatz zur *Lepidodendron*-flora.

Diese *Glossopteris*-flora ist in Südamerika in Argentinien (San Juan) und Südbrasilien bekannt, wo sie durch D. White näher untersucht wurde, auch in Uruguay sind Anzeichen dieser Flora vorhanden, und sehr schön ist sie nach Halle auf den Falklandsinseln vertreten. In Afrika kennt man sie in dem ganzen Gebiet von Südafrika bis Katanga, Portugiesisch- und Deutsch-Ostafrika. Auch auf Madagaskar ist sie gefunden worden. Ferner in Afghanistan, in Kaschmir³⁾ und Vorderindien, dessen Flora Feistmantel bearbeitet hat. In Australien und Tasmanien ist diese *Glossopteris*-flora gleichfalls bekannt, auf dem antarktischen Kontinent wurde sie auf Scotts Expedition in

1) Die in den Lehrbüchern viel referierte Nachricht, daß auch am Sambesi eine „rein europäische Karbonflora“ gefunden sei, beruht nach Gothan (Branca-Festschrift 1914) auf einer Verwechslung der Fundstellen.

2) E. Irmischer, Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente, Studien zur genetischen Pflanzengeographie. Mitt. a. d. Inst. f. allg. Botanik. Hamburg 1923.

3) D. N. Wadia, *Geology of India for Students*, S. 147. London 1919. (*Gangamopteris* und *Glossopteris*.)

85° südl. Breite gefunden. Von neuseeländischer *Glossopteris* besitzt das Geologische Institut von Utrecht eine schöne Steinplatte, nach Potonié-Gothan sollen die neuseeländischen Funde freilich einer späteren Zeit entsprechen. Die Angabe von G. B. Scrivenor, daß *Glossopteris* auch in Singapore zu finden ist, wird von holländischen Geologen bezweifelt¹⁾, und ebenso halten diese die auf Sueß²⁾ zurückgehende Angabe, daß *Phyllothea* in Westborneo gefunden sei, für unrichtig. Diese Zweifel werden unterstützt durch A. Toblers schon erwähnten Fund von *Pecopteris* im Oberkarbon Sumatras, aus welchem hervorzugehen scheint, daß auf den Sundainseln im Spätkarbon die tropische *Pecopteris*flora vorhanden war.

Wie schon erwähnt, wuchs diese *Glossopteris*flora teilweise gemischt mit der *Lepidodendron*flora. So namentlich in Südbrasilien (Rio Bonito-Schichten oberhalb des Orléans-Konglomerates) und in Südafrika (Dwyka-Serie und Ecca-Serie). Das Aussterben der letzten *Sigillarien* und *Lepidodendren* erfolgte also erst lange nach Beendigung der Vereisung zu einer Zeit, in der die Wärme schnell zunahm. Wir können ihr Verschwinden also nicht der Eiszeit zur Last legen, es muß vielmehr, ebenso wie der gleichzeitige auffallende Florenwechsel in den damaligen Tropen, auf allgemeinere Ursachen zurückgeführt werden, die damals störend in das Gleichgewicht der Pflanzen- und Tierwelt eingriffen. Die schnelle Zunahme großer pflanzenfressender Reptilien könnte wohl eine solche Ursache sein.

In den nördlichen gemäßigten und kalten Gebieten ist die Verbreitung der *Glossopteris*flora weniger gut bekannt, da sie teils ins Meer, teils in Polargebiete fallen. Großes Aufsehen erweckte Amalitzkys Fund (1901) von *Glossopteris*, *Gangamopteris*, *Noeggerathiopsis* zusammen mit *Lepidodendron* und *Callipteris* an der Dwina. Es ist bis heute der einzige Fund von *Glossopteris* innerhalb der nördlichen gemäßigten und kalten Gebiete geblieben. Aber die anderen, älteren Vertreter der *Glossopteris*flora sind noch an zahlreichen anderen Stellen, meist zusammen mit Elementen der *Lepidodendron*flora gefunden worden. Tschichatscheff fand in Sibirien *Phyllothea* und *Noeggerathiopsis* neben Vertretern der *Lepidodendron*flora. Zalessky fand bei Tomsk *Phyllothea* und *Noeggerathiopsis*, vielleicht auch *Gangamopteris*. Krasser gibt *Phyllothea* und zum Teil *Noeggerathiopsis* auch für Transbaikalien, die Ostmongolei und sogar die Mandschurei an. Es ist auffallend, daß diese asiatischen Funde immer die älteren Vertreter der *Glossopteris*flora, aber nicht *Glossopteris* selbst enthalten. Sie werden dadurch als karbonisch charakteri-

1) Nach mündlichen Äußerungen.

2) Antlitz der Erde, Bd. II, S. 210. Wien 1888.

siert, während z. B. der Fund von *Glossopteris* an der Dwina permisch sein dürfte. Dies entspricht den von uns angenommenen Äquatorlagen insofern, als Nordeuropa im Perm, Sibirien aber im Karbon am weitesten vom Äquator entfernt war.

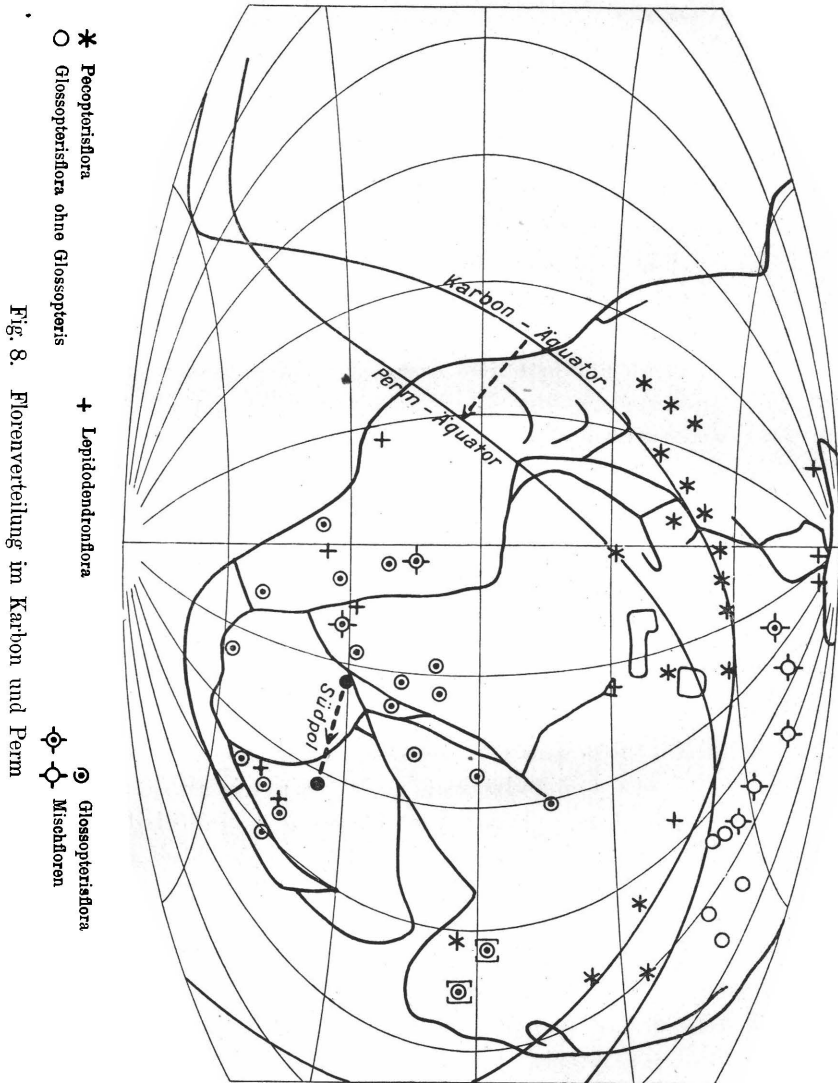


Fig. 8. Florenverteilung im Karbon und Perm

Wenn man sich diese Florenverteilung auf der nach der Verschiebungstheorie rekonstruierten Erdkarte einträgt (Fig. 8)¹⁾, so erhält man ein Bild, welches trotz verschiedener kleiner Schönheitsfehler

1) Hauptsächlich nach der Karte der Permokarbonfloren in Potonié-Gothan, Lehrb. d. Paläobotanik, S. 454. Berlin 1921, mit Ergänzungen.

doch zweifellos sehr befriedigt. Die Florenverteilung bestätigt also in hohem Maße die von uns abgeleitete Orientierung der Klimazonen.

E. Die Tierwelt. Die Tierwelt liefert im Permokarbon am wenigsten Beiträge zur Klimafrage, was allerdings zum Teil daran liegt, daß sie noch wenig nach klimatischen Gesichtspunkten untersucht ist. Das wenige aber, was wir anzugeben vermögen, stimmt völlig mit der von uns angenommenen Lage der Klimagürtel überein.

Aus dem Karbon sind Korallenriffe in Europa von Irland bis Spanien bekannt, und in Nordamerika vom Michigansee bis zum Nordufer des mexikanischen Golfs. Dies paßt völlig zu unserer karbonischen Äquatorlage.

Aus dem Perm scheint bisher wenig über Riffkorallen bekannt zu sein. Die kalkriffbildenden Riechthofeniden in den Alpen und auf Sizilien, sowie in Ostasien sind vielleicht als Äquivalent zu betrachten. Im Perm von Timor sind nach Wanner¹⁾ vorwiegend nur Einzelkorallen gefunden worden. Die dort an der Basis des Perm liegenden Fusulinenkalksteine, die für höhere Temperaturen sprechen, scheinen nach Wanner noch zum Spätkarbon zu gehören, d. h. zu einer Zeit, in welcher der Äquator dieser Insel noch wesentlich näher lag als im Perm; Timor lag nach unseren Karten im Karbon noch auf 20°, im Perm rückte es vorübergehend auf fast 45° Breite.

In Europa deutet im Karbon auch die enorme Größe der Insekten auf tropisches Klima, sind doch auch unsere heutigen tropischen Insekten durch ihre Größe ausgezeichnet. Besonders interessant ist Handlirschs Feststellung, daß die Größe der Insekten in der Folgezeit in Europa stetig abnahm. Als mittlere Flügelgröße gibt er für Früh- und Mittelkarbon 51 mm an, für Spätkarbon und Perm nur noch 20 mm. (Die heutigen Zahlen sind: für die Tropen 16 mm, für Mitteleuropa 7 mm.)

Das Perm von Uruguay und Brasilien weist nach Gerth Zeichen rascher Erwärmung auf. Es treten dort schließlich bereits Kalk- und Dolomiteinlagerungen in den Schiefertönen auf. Nach unseren Karten lag Buenos Aires im Karbon auf 66°, im Perm auf 45° Breite. Das Auftreten der ersten Reptilien Mesosaurus und Stereosternum, die Wassertiere waren, in den Iraty-Schiefertönen ist bereits in der Schichtenfolge S. 29 erwähnt. Es ist wohl anzunehmen, daß man in den darüber liegenden Schichten auch hier Reste der permotriassischen Reptilienfauna entdecken wird, die man aus Südafrika kennt. Das Klima, in welchem Mesosaurus gelebt hat, ist wahrscheinlich noch recht kühl gewesen, da diese Form in Afrika dicht über den permokarbonen Moränen auftritt, nämlich im oberen Schiefertone der Dwyka-Serie (vgl.

1) J. Wanner, Geologie von Westtimor. Geol. Rdsch. 1913, S. 141.

die Schichtenfolge S. 30). Durch das Leben im Wasser war Mesosaurus befähigt, sich der kalten winterlichen Lufttemperatur zu entziehen. In Afrika treten in der darüber liegenden Eccca-Serie bereits zwei neue Reptilien, Eccasaurus und Archaeosuchus, auf, und in der darauf folgenden, vom Spätperm bis zur frühen Trias reichenden Beaufort-Serie finden wir eine erstaunlich reiche Reptilienfauna. Die unteren Beaufort-Schichten haben nach Rogers und du Toit bisher 64 Reptilien geliefert, darunter den 2 m langen Pareiasaurus, welcher (wie auch Dicynodon) auch im russischen Perm auftritt und also dieselbe bipolare Ausbreitung zeigt wie die ihn begleitende Glossopterisflora. Auch die mittleren Beaufort-Schichten, die zum spätesten Perm zu zählen sind, zeugen mit 10 Reptilien von dem Reichtum dieser Tierwelt, ebenso wie die frühtriassischen Burghersdorp-Schichten mit 29 Reptilien und einem Säugetier. Diese Reptilien waren nur zum kleineren Teil mehr Wassertiere, wie die in den mittleren Beaufort-Schichten vorherrschende Gattung Lystrosaurus, sondern meist ziemlich große, plump gebaute Pflanzenfresser und teilweise Raubtiere. Da wir Kohle sowohl in den unteren Beaufort-Schichten, wo die Zahl der Reptilien besonders groß ist, als auch in den mittleren Beaufort-Schichten haben, müssen wir schließen, daß diese Reptilienfauna in der gemäßigten Regenzone, nicht etwa in der subtropischen Trockenzone, gehaust hat, was ja ohnehin nach dem schwerfälligen Bau der Pflanzenfresser unter ihnen wahrscheinlich ist. Das ganze Bild, welches das allmähliche Aufkommen dieser Reptilienfauna in Südafrika bietet, bezeugt eine rasche Verbesserung des Klimas vom Polarklima bis zum Klima der gemäßigten Regenzone und entspricht dem Fortwandern des Südpols.

Die entsprechende permische Reptilienfauna aus Texas, die gern, aber wohl nicht ganz mit Recht, als völlig gleichartig mit der südafrikanischen geschildert wird, macht einen mehr tropischen Eindruck. Der durch einen großen Rückenkamm drachenartige Naosaurus claviger besaß eine Länge von mehr als 25 m, wofür wir aus Südafrika kein Gegenstück kennen.

Die Gesamtheit der Klimazeugen ergibt für Karbon und Perm folgende, in unseren Karten Fig. 3 und 4 zum Ausdruck gebrachte Lagen des Nord- und Südpols, bezogen auf das heutige Gradnetz von Afrika (Längen von Greenwich):

	Nordpol	Südpol
Karbon . . .	30° Nord, 145° West	30° Süd, 35° Ost
Perm	35° Nord, 115° West	35° Süd, 65° Ost

Kapitel III

Die Klimagürtel im Mesozoikum

Im Mesozoikum kam es nicht wieder zu einer so reichen Entwicklung tropischer Moore wie im Karbon, vor allem weil der Äquator jetzt wieder in die Region der Tethys zurückgekehrt war und die äquatoriale Regenzone daher größtenteils auf dem Meere lag. Und noch in anderer Hinsicht sind die Verhältnisse im Mesozoikum einer genauen Orientierung der Rotationsachse ungünstiger: Wir haben aus dem ganzen Zeitraum keine sicheren Spuren von Inlandeis. Auch hierfür ist teilweise die Achsenlage selbst verantwortlich zu machen. Denn der Nordpol lag auch im Mesozoikum stets im nördlichen Pazifik, und der Südpol ist von seiner Exkursion nach Südafrika und Australien wieder nach seiner Heimat, der Antarktis, zurückgekehrt, wo er die Trias-, Jura- und Kreidezeit hindurch mit geringen Schwankungen seiner Lage verblieb. Es besteht also die Möglichkeit, daß auf dem antarktischen Kontinent auch im Mesozoikum Inlandeisbildungen geherrscht haben, aber wir wissen nichts davon. Indessen liefern die Klimazeugnisse der umliegenden Länder mehr oder weniger für alle mesozoischen Zeiten ein eigenartiges Bild, welches es zweifelhaft erscheinen läßt, ob die Kälte der damaligen Südpolargegenden überhaupt für größere Inlandeisbildung ausreichte.

Aus allen diesen Gründen ist die Bestimmung der Achsenlage für die mesozoischen Zeiten einstweilen nur mit einer geringeren Genauigkeit durchführbar, als namentlich im Karbon. Dennoch sei gleich hier hervorgehoben, daß abgesehen von diesem geringeren Genauigkeitsgrad über die ungefähre Lage der Erdachse auch für diese Zeiten nach den Klimazeugnissen gar kein Zweifel herrschen kann.

A. Trias

1. Eisspuren. Sichere Eisspuren aus der Trias sind nicht bekannt. Allerdings gibt Hennig, wie schon erwähnt, für Zentralafrika neben karbonischen Eisspuren auch triassische an. Aber da die zwei als glazial gedeuteten Tillite nicht im gleichen Profil beobachtet wurden, muß die Deutung bei unserer geringen Kenntnis der dortigen

Schichtenfolge noch als unsicher gelten. Die übrigen triassischen Klimazeugnisse schließen es aus, daß dort Polarklima herrschte. Denn nur 12 Großkreisgrade entfernt liegen die für triassisch gehaltenen Steinsalzlager von Angola; Eis und Salz vertragen sich aber nicht auf so kurze Entfernung. Der Anschluß an die doch recht sichere permische Lage des Südpols würde sehr schwer herzustellen sein, da die reiche Reptilienfauna Südafrikas im Perm und der Trias sich schwer mit der Annahme vereinigen läßt, daß der Südpol nahe an diesem Gebiet vorbeirückte. Vor allem aber ergibt die Gesamtheit der Klimazeugnisse aus der Triaszeit eine Lage des Südpols, die viel zu entfernt ist, um in Zentralafrika noch Inlandeis zu erzeugen. Es kann sich also bei diesen unsicheren Eisspuren in Zentralafrika höchstens um Gebirgsgletscher handeln, wenn nicht etwa die Zeitangabe zu korrigieren ist.

2. Kohle. In den Vereinigten Staaten von Nordamerika, wo im Perm die Kohlenbildung ganz dem Trockengebiet gewichen war, treten jetzt in der Triaszeit im äußersten Osten, nämlich in Virginien und Nordkarolina, in den Schichten der Newark-Serie wieder Kohlenbildungen auf, die sich auch noch in die Juraperiode hineinziehen (vgl. Fig. 9). Aber das ganze übrige Land lag nach wie vor im Trockengebiet, so daß wir es bei den genannten Kohlen wohl nur mit einer lokalen Unterbrechung des Trockengürtels, verursacht durch das im Südosten liegende Meer, zu tun haben. Ganz im Westen der Vereinigten Staaten treten jedoch auch schon wieder Anzeichen größerer Feuchtigkeit auf in Form von unbedeutenden Kohlschichten in den Sandsteinen und dem berühmten versteinerten Wald in der heutigen Wüste von Arizona. Hier haben wir es wohl mit den Ausläufern der nördlichen Regenzone zu tun.

Auf europäischem Boden zieht sich die Hauptentwicklung der Trockenzone gerade durch Mitteleuropa. Alle drei Abteilungen der Trias haben hier Salz, Gips und Wüstensandsteine gebildet, wie im nächsten Abschnitt näher erörtert werden soll. Nur im 3. Abschnitt (Keuper) wurde das Klima, offenbar ohne Verlegung der Zonen, etwas feuchter — die Einleitung zu der allgemeinen Feuchtigkeitzunahme im Jura; es kam hier in Schwaben, Lothringen, Oberschlesien und Polen vorübergehend zu einer unvollkommenen Kohlenbildung, der sogenannten Lettenkohle, die aus kohligen Schiefen mit einer dünnen Schicht echter Kohle besteht und zu vielen nutzlosen Schürfungen Anlaß gegeben hat. (In der Karte ist die Lettenkohle unberücksichtigt geblieben.) Im Süden und Norden Europas aber treffen wir bald auf die Grenzen des Trockengebietes in Gestalt echter Kohlenlager. Schon in den Ostalpen führt die Trias etwas Kohle¹⁾, und in Bosnien gibt es

1) Franz Heritsch, Die österreichischen und deutschen Alpen bis zur alpine-dinar. Grenze (Ostalpen). Handb. d. Reg. Geol. II, 5a. Heidelberg 1915.

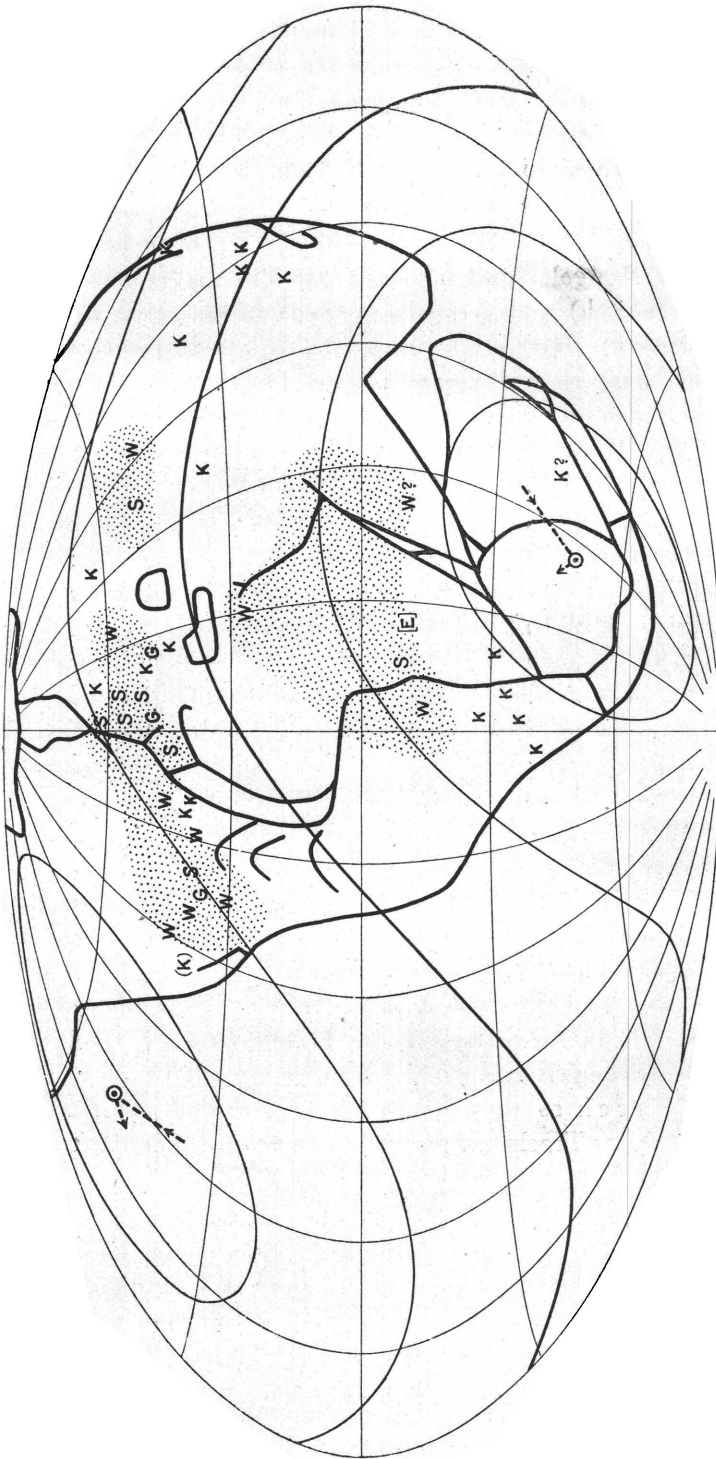


Fig. 9. Moore und Wüsten der Triaszeit
(E Eisspuren, K Kohle, S Salz, G Gips, W Wüstensandstein, punktierte Räume: Trockengebiete)

sowohl frühtriassische wie spättriassische Kohlen. Und im Norden finden wir Kohlenbildung in Südschweden (Schonen), wo sich in der spätesten Trias (Rhät) und weiterhin auch in der Jurazeit insgesamt zwei Flöze von etwa je $1\frac{1}{2}$ m Dicke bildeten.¹⁾ Und auch im östlichen Ural bildeten sich im Rhät Kohlen.

Auf asiatischem Gebiet setzt sich die äquatoriale Regenzone fort in den triassischen Kohlen von Afghanistan²⁾, ferner in den rhätischen Kohlen in der Mongolei und in denen der Provinz Hunan in Mittelchina (frühtriassisch) und des etwas östlich davon gelegenen Maling-Gebirges (rhätisch). Hier am Ostrande des Kontinents verbreitert sich indessen die äquatoriale Regenzone, wie die rhätischen Kohlen bei Tongking im Süden und die triassischen und teilweise rhätischen Kohlen in Japan zeigen. Letztere lagen in der Trias auf etwa 30° Nordbreite und bezeugen also eine Unterbrechung der nördlichen Trockenzone.

Die weiteren triassischen Kohlen, die noch zu nennen sind, stellen sich als Fortsetzung der permischen Kohlenbildungen im südlichen subpolaren Regengebiet dar. Sie liegen namentlich in Südamerika, nämlich in Paraguay, Uruguay und Argentinien, und, nach Chamberlin und Salisbury, auch in Chile. Brasilien hatte dagegen bereits Trockenklima. Ebenso finden sich rhätische Kohlen in Südafrika in den Molteno-Schichten der Stormberg-Serie. Vorderindien hatte nach der Zeitsetzung von Rogers und du Toit bereits Trockenklima. In Australien hatte noch das späteste Perm (Newcastle) produktive Flöze bis zu 27 Fuß Mächtigkeit hervorgebracht, so daß hier, wenn auch für die triassischen Hawkesbury-Sandsteine und Wianamatta-Schichten keine Kohlen mehr angegeben werden, doch das Klima wohl noch feuchter gewesen ist als in Vorderindien, wo die permischen Kohlen noch durch die kohlenlosen Panchet-Schichten von der Trias getrennt sind. Wie schon früher erwähnt, will Frech die Kohlen sowohl in Vorderindien wie in Australien in die Trias setzen. Wir folgen auch hier im wesentlichen Rogers und du Toit, wollen aber der Auffassung von Frech so weit Rechnung tragen, daß wir für Vorderindien zweifelhaftes Trockenklima, für Australien zweifelhaftes Regenklima annehmen.

3. Salz, Gips, Wüstensandstein. In Nordamerika lag in der Trias der größte Teil der Vereinigten Staaten in der nördlichen Trockenzone. Im äußersten Osten gab es zwar in Virginien und Nordkarolina noch Torfmoore, und ganz im Westen begegnen wir dem Rand der nördlichen Regenzone; dazwischen aber bildete sich allenthalben die Wüstenformation des New Red, besonders mächtig im Osten der

1) A. G. Högbom, Fennoskandia. Handb. d. Reg. Geol. IV, 3. Heidelberg 1913.

2) Chamberlin and Salisbury, Geology, Vol. III. New York 1907.

großen Gebirgszüge, nämlich der Alleghanies und namentlich der Rocky Mountains, wo sich diese roten Sandsteine in einer Zone von Texas über Colorado („Red Beds von Denver“) nach Idaho hinziehen. Gerade diese westliche Hauptzone der roten Sandsteine war es, welche Kreichgauer seinerzeit bei seinen paläoklimatischen Untersuchungen Schwierigkeiten machte, weil sie bei der heutigen Lage der Kontinente und bei der von ihm gewählten Achsenlage in zu hoher Breite lagen. Durch Herandrehen Nordamerikas an Europa verschwindet diese Schwierigkeit.

In dieser Wüstenzone finden sich in den Sandsteinen zahlreiche Gips- und Salzeinlagerungen, welche die Trockenheit des Klimas weiterhin bekräftigen. Nach Buschman ist namentlich auch in Kansas bei den zahlreichen Bohrungen auf Kohle und Gas immer nur triassisches Steinsalz gefunden worden. Es bildet dort auf einem Gebiet von 190 km Länge und 48 km Breite einzelne verstreute Stöcke bis zu einer Mächtigkeit von 75 bis 90 m. „Dieses Salzvorkommen dürfte während der Trias durch Verdunstung eines salzhaltigen Binnensees gebildet worden sein, doch haben den Prozeß, wie die Zwischen-einlagerungen von Schieferton zeigen, Zuflüsse süßen, schlammhaltigen Wassers wahrscheinlich mehrmals unterbrochen.“¹⁾

Auch Mitteleuropa hatte in der Trias, wie schon erwähnt, Wüstenklima. Das Trockengebiet war hier begrenzt im Süden durch die Kohlen in den Ostalpen und in Bosnien, im Norden durch die Kohlen im südlichen Schweden. Dazwischen dehnte sich über ungeheure Flächen eine Wüste aus rotem Sand, deren verhärtetes Material, der Buntsandstein, dem ersten Drittel der Trias den Namen gegeben hat. Die Konifere *Voltzia* und die Fußspuren des unbekannten Chiroteriums sind fast die einzigen, seltenen Spuren des Lebens in diesen ungeheuren Ablagerungen, von denen J. Walther im Kapitel „Die bunte Sandwüste“ seines Lehrbuches der Geologie Deutschlands²⁾ eine anschauliche Schilderung gegeben hat. Das Hauptgestein, das im Schwarzwald, im Odenwald, in der Hardt und den Vogesen auftritt, besteht aus einfarbig dunkelroten Sandsteinen, die in mächtigen Bänken brechen. „Sie liefern treffliches Quadermaterial, sie haben die Bausteine für das Heidelberger Schloß, für die Dome zu Speyer, Worms und Straßburg, für zahllose Bauten jener Gegenden hergegeben, und ihr Vorkommen bedingt zum großen Teil Bauart und Charakter der Städte dieses herrlichen Landes“ (Neumayr-Uhlig).

In England besteht sogar die ganze Trias „aus einer ununter-

1) J. Ottokar Freiherr von Buschman, Das Salz, Bd. 2, S. 337. Leipzig 1906.

2) 2. Aufl., S. 101 ff. Leipzig 1912.

brochenen Folge von roten Sandsteinen und Mergeln“, und ähnlich ist es in einem großen Teil Rußlands.

Aber noch deutlicher als die roten Sandsteine zeugen die Salz- und Gipsablagerungen von dem Wüstenklima Mitteleuropas. In allen drei Unterteilen der Trias finden wir sie. Im Buntsandstein bildeten sich die Steinsalzlager im Nordharz und dem davorliegenden Tiefland, und gleichzeitig entstanden auch die zahlreichen und bekannten Steinsalzlager des „Salzkammergutes“ in den Alpen, wo viele Ortsnamen, wie Salzburg, Hallstatt, Hallein, Hall usw. daran erinnern. Weiter im Muschelkalk haben wir Salzbildungen in Thüringen und Württemberg und Gipsablagerungen in den Westalpen. Und auch im Keuper verleugnet sich das Trockenklima nicht. Wenn es hier auch an mehreren Stellen Mitteleuropas zu schwachen Kohlenbildungen kam, so haben wir doch gerade auch im Keuper Salzbildungen in England, Frankreich und Lothringen, und wenigstens Gipsablagerungen in Mitteldeutschland und den Alpen. Zu den englischen Salzlagern aus der Triaszeit gehören namentlich die großen Lager der Grafschaften Nottingham, Derby, Stafford u. a. (Neumayr-Uhlig).

Auch in Spanien sind die triassischen Ablagerungen, besonders die des Keupers, nach Douvillé reich an Salz, das dort an zahllosen Stellen im kleinen gewonnen wird.¹⁾ Gipsablagerungen reichen auch noch gelegentlich in das Randgebiet der äquatorialen Regenzone hinein, so im Buntsandstein in Kroatien, im Keuper auf der dalmatischen Insel Lissa.

Auf asiatischem Gebiet finden sich in Ostbuchara nach Leuchs salzführende Tone in den Werfener Schichten der Frühtrias.²⁾ Der Abstand von den oben erwähnten triassischen Kohlen in Afghanistan ist heute nicht groß, muß aber wegen der starken dazwischenliegenden Gebirgsfaltung zur Triaszeit groß genug gewesen sein, um aus der nördlichen Trockenzone in die äquatoriale Regenzone zu führen. Im übrigen hebt Leuchs hervor, daß das Klima Zentralasiens bis einschließlich der früheren Triaszeit wegen der Fossilarmut des betreffenden Teils der Angara-Schichten arid gewesen sein muß, daß sich aber schon in der späteren Triaszeit auch hier Anzeichen jener Feuchtigkeitszunahme geltend machen, welche dann in der Jurazeit zu den so überraschend ausgedehnten Kohlenbildungen über das ganze nördliche Asien führen.

Damit sind die Spuren der nördlichen Trockenzone erschöpft. Am Ostrande des Kontinents finden wir statt des Trockengebietes die bekannte Erscheinung, daß hier die äquatoriale Regenzone mit der nördlichen zusammenwächst.

1) Douvillé, La Péninsule Ibérique. A. Espagne. Handb. d. Reg. Geol. III, 3. Heidelberg 1911.

2) Leuchs, Zentralasien. Handb. d. Reg. Geol. V, 7. Heidelberg 1916.

Wenden wir uns nun zur südlichen Trockenzone. In Ägypten, welches von dem europäischen Trockengebiet durch die Kohlenlager von Bosnien und den Ostalpen getrennt ist, war die Bildung des Nubischen Sandsteins im Gange, dessen mächtige Schichten von der Perm- bis zur Jurazeit keine Spuren von Leben zu enthalten scheinen. Es besteht wohl kaum eine andere Möglichkeit, als daß dies Land das ganze Mesozoikum hindurch eine Wüste gewesen ist.

Viel weiter südlich ist noch das schon beim Perm besprochene Salzlager in der portugiesischen Kolonie Angola zu nennen, dessen Entstehungszeit als permotriassisch bezeichnet wird. Es lag, wie unsere Karte lehrt, auf knapp 40° Südbreite.

Auch in dem damals benachbarten Brasilien muß aus den triassischen Red Beds der Rio do Rasto-Schichten auf Trockenklima während der Triaszeit geschlossen werden. In Südafrika dagegen bezeugen die reichen Floren und Landfaunen der Burghersdorp- und Molteno-Schichten, daß wir uns hier außerhalb der Trockenzone im südlichen Regen-gebiet befinden. Dagegen haben wir wieder in Vorderindien, wenn wir der Zeitsetzung von Rogers und du Toit folgen, in den Kota-Maleri-Schichten Sandsteine, teilweise sogar von roter Färbung, die auf arides Klima schließen lassen. Neumayr-Uhlig bezeichnen die Gondwanaländer geradezu als das zweite Sandsteingebiet der Trias. „Allerdings ist das Aussehen hier ein anderes, die rote Farbe der Gesteine tritt zurück,“ — ein Zeichen für tiefere Temperatur. Wir müssen uns hierbei immer vergegenwärtigen, daß in bezug auf Land- und Wassermenge die beiden Halbkugeln damals ihre Rolle gegen heute vertauscht hatten, wenigstens in den subpolaren Gebieten. Auf der südlichen Halbkugel dehnte sich ein ungeheures Festland vom Pol bis zum Äquator und gestattete der südlichen Trockenzone, sehr weit polwärts vorzudringen. Im alten Gondwanaland mögen ähnliche klimatische Verhältnisse geherrscht haben wie heute in Sibirien.

4. Die Pflanzenwelt. Die triassische Pflanzenwelt ist weniger gut bekannt als die permokarbonische, und vor allem ist noch kaum ein ernsthafter Versuch einer klimatischen Gliederung gemacht worden. Wir halten aber einen solchen keineswegs für hoffnungslos, wenn er von einem Fachmann unter Benutzung der im Vorangehenden beschriebenen anorganischen Klimazeugnisse unternommen wird. Vorläufig läßt sich nur folgendes sagen:

In Nordamerika ist die Flora der Newark-Schichten mit den Kohlenlagern in Virginien und Nordkarolina näher untersucht. Dabei hat sich zwischen diesen beiden Lokalitäten trotz ihrer Nähe ein interessanter Unterschied ergeben. Nach Chamberlin und Salisbury haben wir es in Virginien mit einer echten Sumpfflora zu tun. Das Pflanzenmaterial wurde dort aufgespeichert, wo es wuchs. Gefunden

wurden „ungeheure Mengen von Equiseten und Farnen, aber fast keine Koniferen und nur wenige Cycadeen“. In Nordkarolina dagegen haben wir es hauptsächlich mit zusammengeschwemmtem Material zu tun, welches nicht Sumpfpflanzen, sondern die Flora des umliegenden trockenen Landes enthält. Hier werden „verhältnismäßig wenig Farne, aber viele Koniferen und Cycadeen“ gefunden. Wie in den früheren Zeiten bilden also auch hier die Farne die charakteristischen Moorpflanzen der heißen Zone, während die Koniferen und Cycadeen, wie ja auch nach ihrem Habitus zu erwarten, mehr die Savannenflora repräsentieren.

Ganz im Westen der Vereinigten Staaten, in Arizona, bezeugt der berühmte versteinerte Araucarienwald, wie schon erwähnt, den Beginn der nördlichen Regenzone.

In Europa haben wir nach Gothan eine der Newark-Flora ähnliche triassische Flora mit zahlreichen Farnen nur im Süden bei Basel und bei Lunz in den Ostalpen, wo sich ja auch Kohlen bildeten. In Südschweden, wo in Verbindung mit den Kohlen wieder eine reiche Flora gefunden wird, scheinen gewisse Unterschiede gegenüber den südlicheren Funden aufzutreten, die aber klimatisch noch wenig untersucht sind. In dem dazwischenliegenden Trockengebiet ist vor allem die Armut der Flora, sowohl an Arten wie an Individuen, auffallend. Im deutschen Buntsandstein sind überhaupt nur wenig Pflanzenreste, meist nur von der Konifere *Voltzia* und der bis 2 m hohen *Pleuromeia*, dem letzten Nachkommen der *Sigillarien*, vorhanden. Sie liegen nach Gothan konzentriert um einzelne Punkte herum, so daß man den Eindruck von Oasen in der Buntsandsteinwüste erhält, und scheinen auch nach ihrem Äußeren der Trockenheit angepaßt zu sein. Frentzen hält sie entweder für Oasenpflanzen oder für die Vegetation verfestigter Dünen. Besonders *Pleuromeia* macht „einen wüstenpflanzenähnlichen, fast kakteenhaften Eindruck; die unverzweigte, starre Gestalt der dicken Stämme legt diesen Vergleich nahe“. Blätter waren vielleicht gar nicht vorhanden, jedenfalls kennt man sie nicht.

Aus dem deutschen Muschelkalk sind so gut wie gar keine Pflanzen bekannt, dagegen liefert der Keuper mit seiner Feuchtigkeitszunahme Pflanzenreste in Verbindung mit der Lettenkohle, und zwar sowohl Sumpfpflanzen wie Farne und Schachtelhalme, als auch Cycadeen und Nadelhölzer. Kein einziges Holz aus dem deutschen Keuper zeigt nach Gothan regelmäßige Jahresringe, ein Zeichen dafür, daß wir uns noch in der winterlosen Zone befinden.

Auch in Ostgrönland, auf Spitzbergen und in Franz-Joseph-Land sind triassische Pflanzen gefunden worden. Diese Gegenden lagen damals auf etwa 42° Nordbreite, so daß das Klima noch fast subtropisch war. Das Vorkommen von Cycadeen wäre also auch dann nicht auf-

fallend, wenn diese Gewächse damals nur die gleichen Verbreitungsgrenzen gehabt hätten wie heute.

Eine kühle Flora ist aus der Triaszeit bisher nur in den Gondwanaländern bekannt. Sie erscheint hier als unmittelbare Fortsetzung der gondwanischen Permflora, wodurch ihre klimatische Deutung an Sicherheit gewinnt. Wir treffen hier in der Hauptsache noch die permischen Formen *Glossopteris* und *Schizoneura*, daneben treten aber spezifisch triassische Formen auf wie die auch in Deutschland vorkommende *Danaeopsis*, ferner *Dicroidium* (*Thinnfeldia*), *Stenopteris*, in Australien und Argentinien auch die *Matoniaceen* und *Dipteridinen*, und in Australien und Südafrika die Gattung *Baiera*. Eine nähere Untersuchung würde natürlich auch hier die überall vorkommenden Formen von den spezifisch gondwanischen trennen müssen.

5. Die Tierwelt. Über die Beziehungen der triassischen Tierwelt zum Klima ist nur wenig zu sagen.

In Nordamerika finden wir ausgedehnte Korallenriffe in den Vereinigten Staaten, und zwar sowohl in dem östlichen Staat Indiana, als auch weit im Westen in den Staaten Californien, Nevada, Oregon. Am nördlichsten hiervon liegt Oregon, für welches für die Triaszeit eine geographische Breite von fast 40° resultiert. Es wäre wichtig, die Frage zu prüfen, ob hier die Riffbildung noch ebenso kräftig war wie weiter südlich, oder ob sich bereits eine Abnahme der Kalkproduktion bemerkbar macht. Die Angabe von J. P. Smith, daß triassische Korallenriffe sogar bis Alaska hinauf zu finden seien¹⁾, würde ganz aus dem Rahmen der übrigen Klimazeugnisse herausfallen. Aus dem südlichen Staate Texas sind Reste zahlreicher und großer Saurier bekannt. Auch im äußersten Nordosten der Vereinigten Staaten, im Connecticut-Tale, enthält der triassische Sandstein die Fußspuren zahlreicher Saurier, wie *Brontozoum* und namentlich von Dinosauriern, die, gestützt auf den Schwanz, auf den Hinterbeinen gingen. Man kennt über einhundert verschiedene Arten von Spuren; einzelne Riesen sollen eine Schrittweite von 4 m gehabt haben. Neuerdings hat man den 4 m langen aufrechten *Anchisaurus* als Urheber der seltsamen „Vogelspuren“ in den Sandsteinen ermittelt.

Ähnliche Verhältnisse herrschten in Europa. Namentlich haben wir auch hier reiche Korallenriffbauten, die aber nordwärts nicht über die Alpen hinausgehen. Die Grenze ist eigenartig scharf: Auf der Südseite der Alpen haben wir es mit teilweise über 1000 m mächtigen echten Korallenriffen zu tun, wie beim Schlerndolomit, auf der Nordseite entstehen zwar auch gewaltige Kalkriffe, aber die Korallen treten hier als Riffbildner bereits hinter anderen Organismen zurück; z. B. besteht

1) E. D a c q u é, Grundl. u. Methoden d. Paläogeographie, S. 417. Jena 1915.

der Wettersteinkalk fast ganz aus Kalkalgen (Gyroporellen). Obwohl auch andere Einflüsse hier eine Rolle spielen können, ist es doch nicht unwahrscheinlich, daß ein Temperaturunterschied des Meerwassers nördlich und südlich der Alpen die Ursache hierfür war. Es entstanden so in der Trias alle die bekannten großen Dolomit- und Kalksteinmassive der nördlichen und südlichen Kalkalpen, wie der Schlerndolomit, Marmolatakalk, Ramsaudolomit, Mendoladolomit, Wettersteinkalk, Röthidolomit u. a. L. Waagen schildert dieses triassische Riffleben in den Alpen folgendermaßen:¹⁾ „Das offene Meer wogte über den Ostalpen. Es waren die Wogen der ‚Tethys‘, welche hier brandeten, und dies zentrale Mittelmeer erfüllte die Gegend unseres gegenwärtigen Mittelländischen Meeres, zog dann über Kleinasien und Syrien und bedeckte zum großen Teile Zentralasien. In Europa war es von einer trostlosen Wüste umgeben, und von dorthier wurden ihm so viel Sand und Staub anfänglich zugetragen, daß in der Untertrias sich hier zumeist Sandsteine (Werfener Schichten) und nur selten Kalksteine bildeten. Dann wird das Meer jedoch klarer und es siedeln sich Korallen an, die zu beiden Seiten der als Inseln emporragenden Zentralkette der Ostalpen ausgedehnte Riffe bauten (Schlerndolomit), während andernorts reichlich Kalke zum Absatz gelangten (Wettersteinkalk). Neuerlich überwog dann wieder die Zufuhr vom Lande mit mergelig-sandigem Material (Lunzer und Raibler Schichten), und ihm folgte eine neue lange Periode blühenden Rifflebens (Hauptdolomit, Dachsteinkalk), das bis gegen Ende der Triaszeit anhielt.“

Wie in Amerika sind auch im deutschen Buntsandstein Saurierspuren (Chiroterium) bekannt, wenn auch nicht von gleicher Größe und Menge wie dort. Bemerkenswert ist hier ferner das Vorkommen des Lungenfisches *Ceratodus* in dem etwas feuchteren letzten Drittel, dem Keuper. Dieser Fisch, der noch heute in Australien gefunden wird, ist beim Versiegen der Flüsse imstande, über Land bis zu dem nächsten Altwasserrest zu wandern und die Zeit der Dürre bis zur nächsten Regenperiode im Schlamm zu überstehen, und wird hierdurch zu einem wichtigen Klimazeugnis. Auch aus der russischen Trias sind Saurierreste bekannt.

Nach L. Waagen gab es in der Trias auch Korallen (Riffe?) auf den Sundainseln, die auf unserer Karte eine geographische Breite von etwa 30° haben.

Schließlich sind noch die Saurierreste aus Südafrika zu erwähnen, die eine unmittelbare Fortsetzung der dortigen permischen Fauna bilden. Rogers und du Toit geben für die triassischen Burghersdorp-Schichten noch 29 Reptilien an; in den darüberliegenden Molteno-

1) L. Waagen, Unsere Erde, S. 441. München o. J.

Schichten, die gleichfalls zur Trias gerechnet werden, sind drei Kohlen-schichten bekannt. Diese Tiere lebten also hier im Bereich der südlichen Regenzone, nach unserer Karte auf 60° Breite, also jedenfalls in wesentlich kühlerem Klima als diejenigen in Texas und Rußland. Dem entspricht aber auch das Fehlen von Riesenformen in Südafrika. Im übrigen ist bemerkenswert, daß diese Reptilienfauna in der Trias, wenngleich immer noch reich, doch nicht mehr so reich erscheint wie im Perm, wo nach Rogers und du Toit in den unteren Beaufort-Schichten 64 Reptilien genannt werden. In der Jurazeit wird die Fauna noch ärmer, was mit der Annäherung des Südpols übereinstimmt.

Aus der Gesamtheit der Klimazeugen ergibt sich die wahrscheinlichste Lage des triassischen Nordpols zu 50° Nord, 125° West, und des Südpols zu 50° Süd, 55° Ost, wie in Fig. 9 dargestellt.

B. Jura

In der Jurazeit bildete sich die erste große Spalte in der Kontinentenmasse zwischen Australien und Antarktika einerseits und Vorderindien und Südafrika andererseits. Wir haben diesen Veränderungen durch eine geringfügige Änderung der Kartengrundlage in Fig. 10 Rechnung getragen. Gleichzeitig mit diesen Vorgängen sehen wir weiter nördlich auf dem asiatischen Kontinent Kohlenbildungen in einer ganz erstaunlichen räumlichen Ausdehnung. Wenn auch die Produktivität dieser Kohlen geringer ist als die der großen karbonischen Kohlenlager, so steht doch in bezug auf die räumliche Ausdehnung dieser Bildungen die Jurazeit in der ganzen Erdgeschichte unerreicht da. Diese auffallende Erscheinung kann wohl nur dadurch erklärt werden, daß in der Jurazeit — vielleicht in ursächlichem Zusammenhange mit der Abspaltung Australiens — die asiatische Kontinentalscholle allenthalben gerunzelt wurde und so die Bildung von Wasserbecken ermöglichte, welche dann vermoorten. In der folgenden Kreidezeit haben wir die Fortsetzung dieser merkwürdigen zusammenhängenden Ereignisse: im Süden den Abriß Südamerikas von Afrika, im Norden Bodenbewegungen im westlichen Nordamerika, die dort zur Bildung der gleichfalls ungewöhnlich ausgedehnten Kreidekohlen führten.

1. Eis. Jurassische Eisspuren sind nicht bekannt.

2. Kohlen. In Nordamerika herrschen dieselben klimatischen Verhältnisse wie in der Trias: Die Kohlenbildung im Osten in Virginien und Nordkarolina hält auch in der Jurazeit an, und nordwestlich davon liegt das Trockengebiet. Weit im Norden, auf Alaska, sind wieder jurassische Kohlen bekannt, die damals etwa auf 67° Breite lagen (vgl. Fig. 10).

Auch in Europa treffen wir in der Jurazeit wenigstens in der Hauptsache noch die gleichen Verhältnisse wie in der Triaszeit: Mittel-

europa lag in der Trockenzone und hatte Salz- und Gipsbildungen. Aber das Trockengebiet erscheint hier doch schon von beiden Seiten her zugunsten der Regenzone eingengt. Im Süden wird es begrenzt durch frühjurassische Kohlenbildungen in den Ostalpen¹⁾, in Ungarn²⁾ und Bosnien³⁾, durch jurassische Kohlen im Kaukasus⁴⁾ und spätjurassische aus dem westlichen Karabagh südlich des Kaukasus.⁵⁾ Im Norden aber wird das Trockengebiet begrenzt durch die im Rhät begonnene, aber auch noch im frühen Jura anhaltende Kohlenbildung in Südschweden (Schonen), ferner durch jurassische Kohlen auf Andö in den Lofoten⁶⁾, in Nordostgrönland und auf Spitzbergen, und ebenso diejenigen in Nordrußland (Petschoraland) und die spätjurassischen Kohlen im Ostural. Alle diese Gebiete gehören offenbar bereits der nördlichen Regenzone an. Vielleicht kann man aus dem Aufhören der Kohlenbildung in Schonen schließen, daß sich das Trockengebiet und vermutlich auch der Äquator im Laufe der Jurazeit in dieser Gegend etwas mehr nach Norden verschoben hat, wofür, wie wir sehen werden, auch noch andere Umstände sprechen.

In Asien herrscht, wie erwähnt, ein außerordentlicher Reichtum an jurassischen Kohlen; von der nördlichen Trockenzone dagegen sind nur noch Spuren zu erkennen.

Die Kohlenfunde in Persien gehören offenbar zur äquatorialen Regenzone. Es sind dies die jurassischen Kohlenlager im Elbursgebirge in der Gegend von Teheran und noch weiter östlich, und andererseits eine Reihe von Lagerstätten, die sich quer durch Zentralpersien von Westnordwest nach Ostsüdost hinziehen, nämlich bei Nehawend, Isfahan und Kirman.⁷⁾

Das gleiche gilt wohl auch für die jurassischen Kohlen im westlichen und mittleren Kwenlun in Zentralasien⁸⁾ und ebenso für die frühjurassischen Kohlen der chinesischen Provinzen Szetschuan und Hupe. In der weiteren Fortsetzung der Äquatorialzone finden wir nach Chamberlin und Salisbury jurassische Kohlen auf zahlreichen Inseln im Südosten von Asien, die wir mangels näherer Ortsangaben nicht auf die Karte gesetzt haben.

Die jurassischen Kohlen von Turkestan, ferner vom Oberlauf des

1) Franz Heritsch, Die österreichischen und deutschen Alpen bis zur alpine-dinar. Grenze (Ostalpen). Handb. d. Reg. Geol. II, 5 a. Heidelberg 1915.

2) K. Andree, Geologie in Tabellen III. Berlin 1922.

3) R. Schubert, Die Küstenländer Österreich-Ungarns. Handb. d. Reg. Geol. V, 1 a. Heidelberg 1914.

4) Chamberlin and Salisbury, Geology Vol. III. New York 1907.

5) Felix Oswald, Armenien. Handb. d. Reg. Geol. V, 3. Heidelberg 1912.

6) A. G. Högbom, Fennoskandia. Handb. d. Reg. Geol. IV, 3. Heidelberg 1913.

7) A. F. Stahl, Persien. Handb. d. Reg. Geol. V, 6. Heidelberg 1911.

8) Leuchs, Zentralasien. Handb. d. Reg. Geol. V, 7. Heidelberg 1916.

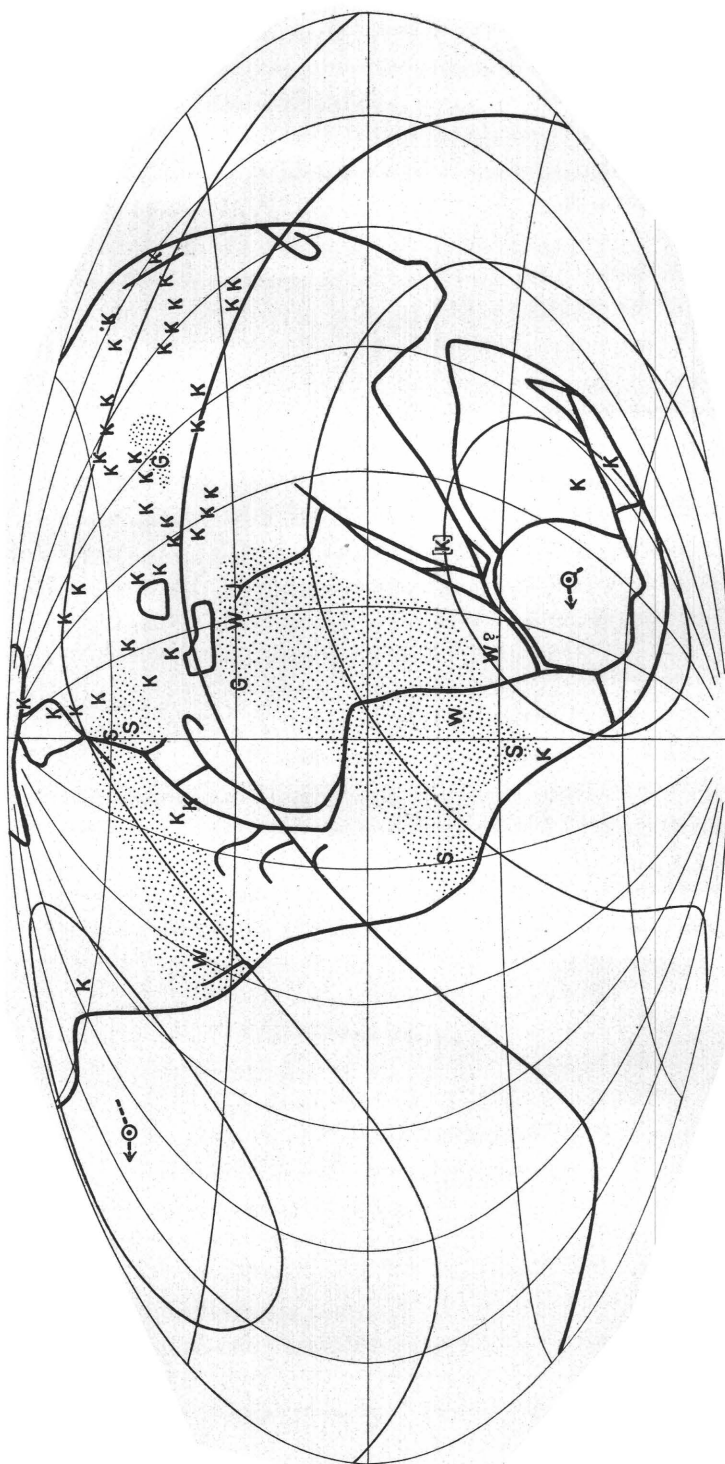


Fig. 10. Moore und Wüsten der Jurazeit
(K Kohlen, S Salz, G Gips, W Wüstensandstein, punktierte Räume: Trockengebiete)

Syr Darja und aus den Gebirgen südöstlich des Balkaschsees und des Saissannor (nach Leuchs) nehmen bereits eine nördlichere Lage ein; in diesem Gebiete finden sich aber auch, wie weiter unten ausführlich zu zeigen ist, die einzigen Spuren von Trockenklima.

Im Bereich des nördlichen Regengebietes liegt dagegen wohl schon die zusammenhängende Reihe von Fundstellen jurassischer Kohlen, die sich längs der Südgrenze von Sibirien hinzieht, nämlich von West nach Ost: 1. Bei Kusnezsk; 2. an der unteren Tunguska; 3. im Gouvernement Irkutsk; 4. in Transbaikalien; 5. in der Amurprovinz; 6. am Ussuri. Nach Toll finden sich auch bei Jakutsk im Schergin-Schacht jurassische Kohlen.

Ein weiterer zusammenhängender Zug von Fundstellen, die sich längs der Nordgrenze von China hinziehen, würde der Breitenlage nach wohl eher in die Trockenzone fallen, läßt sich aber durch die allgemeine Erscheinung erklären, daß am Ostrande der Kontinente die Trockenzone unterbrochen sind, und die äquatoriale Regenzone lückenlos in das Regengebiet der gemäßigten Zonen übergeht. Es sind dies die Fundstellen 1. in der Mongolei nahe der Grenze von Schansi; 2. in der Provinz Schansi; 3. Provinz Tschili (frühjurassische Kohle); 4. Mandschurei; 5. Japan.

Weit entfernt von diesen Kohlenbildungen und, wie wir sehen werden, durch die Erzeugnisse der südlichen Trockenzone vom jurassischen Äquator getrennt, liegen noch einige Vorkommen jurassischer Kohlen, die wir dem südlichen subpolaren Regengebiet zuzurechnen haben. Hierher gehören die frühjurassischen Kohlen in der Küstenkordillere von Chile, ferner jurassische Kohlen in Australien und Neuseeland¹⁾ und die von Frech sowie von Chamberlin und Salisbury für jurassisch gehaltenen Kohlen Vorderindiens, die aber nach anderen Autoren wahrscheinlich älter sind.

Wir erhalten aus dieser Zusammenstellung ein Gesamtbild, welches sehr gut mit den übrigen Klimazeugnissen harmoniert, — bis auf die Gegend von Zentralasien, wo wir anstatt Kohlenbildung eher ein größeres Trockengebiet erwarten würden. Nur vereinzelte Gipseinschaltungen in den Angara-Schichten zeugen von dem Trockenklima, das eigentlich hier herrschen sollte. Nach Leuchs bildet übrigens die Jurazeit nur eine vorübergehende Pluvialzeit innerhalb einer langen Periode von Wüstenklima für Zentralasien. Für das Karbon und die ältere Triaszeit nimmt er wegen der Fossilarmut dieser Schichten Trockenklima an. „In der oberen Triaszeit muß dann eine Änderung zu feuchterem Klima erfolgt sein. In der unteren und mittleren Jurazeit erreichte dieses seinen Höhepunkt, welcher durch die Pflanzen und

1) Chamberlin and Salisbury, Geology III. New York 1907.

Kohlen in den Schichten bezeichnet wird. Darüber liegen wieder versteinungsleere Schichten von großer Mächtigkeit. Diese obere Abtheilung ist in Ferghana (Oberlauf des Syr Darja) konkordant von marinem Senon überlagert, entspricht demnach dem Zeitraum vom oberen Jura bis zum Cenoman und beweist eine neuerdings eingetretene Veränderung von dem feuchten zu aridem Klima, eine Annahme, welche durch die auffallende Ähnlichkeit dieser Schichten mit dem ‚nubischen Sandstein‘ Ägyptens noch unterstützt wird.“ Die Oberkreide enthält Gips, auch das untere Tertiär ist arid.

Man könnte zunächst der Ansicht sein, daß diese feuchte Jura-periode in Zentralasien auf einer Verschiebung der Klimagürtel beruhen müsse. Man kann sich aber leicht davon überzeugen, daß man dann in Konflikt mit wichtigen anderen Klimazeugnissen kommt, die nur eine geringe Änderung der Achsenlage gegenüber der Trias zulassen. Es könnte sich ja nur entweder um ein vorübergehendes Vorrücken der nördlichen Regenzone bei südwärts rückendem Äquator handeln, oder um einen Äquatordurchgang. Aber im ersteren Falle würden wir den Äquator über Ägypten bekommen, wohin er doch erst im Oligozän gelangte, während im Jura hier noch leblose Wüste herrschte. Und im zweiten Falle würden wir wieder die Trockenzonen vergeblich suchen, und eine ganze Reihe von Verschlechterungen des Gesamtbildes mit in den Kauf nehmen müssen. Vor allem aber sind doch tatsächlich Gipslager vorhanden. Daß die Kohlenschichten noch häufiger sind, wie Leuchs hervorhebt, kann doch nicht zu der Annahme verleiten, daß sich auch die Gipslager in der äquatorialen Regenzone gebildet haben.

Man wird übrigens gut tun, zu berücksichtigen, daß die Lage dieser zentralasiatischen Fundorte in unseren rekonstruierten Erdkarten infolge der riesigen Zusammenschübe, welche die Erdrinde in diesem Gebiet erfahren hat, besonders unsicher ist. Das von Leuchs beschriebene Gebiet umfaßt hauptsächlich den nördlichen Teil von Zentralasien, jedenfalls ohne Tibet und den Himalaja. Es ist nicht ausgeschlossen, daß durch die Mängel der Rekonstruktion das fast völlige Fehlen der nördlichen Trockenzone nur vorgetäuscht wird.

3. Salz, Gips, Wüstensandstein. Die nördliche Trockenzone ist in der Jurazeit weniger deutlich ausgebildet als in den meisten anderen Zeiten, aber sie läßt sich doch erkennen. In Nordamerika, wo ganz im Osten die erwähnten Kohlenbildungen andauerten, hatte der Westen der Vereinigten Staaten Trockenklima. „Das Colorado-Plateau scheint eine Sandwüste gewesen zu sein.“¹⁾ Erst an der Wende der Kreidezeit wurde es hier durch Vordringen des nördlichen Regengebietes feuchter.

1) Eliot Blackwelder, United States of North America. Handb. d. Reg. Geol. VIII, 2. Heidelberg 1912.

In Europa kam es in England namentlich im späten Jura (Malm) zu nicht unerheblichen Salz- und Gipsablagerungen, und gleiches gilt auch für Nordwestdeutschland; „die 300 m mächtigen Münder Mergel zeigen durch ihre rote Farbe wie durch ihren Gips- und Salzgehalt, daß sie am öden Gestade des Meeres in salzigen Pfannen entstanden.“¹⁾

Auf dem weiten Raume von Asien werden die Spuren der Trockenzone, wie erwähnt, sehr undeutlich. Wir haben nur die Angabe von Leuchs, daß die Angara-Schichten in Zentralasien neben häufigen Kohlen auch vielfach Gipseinlagerungen enthalten.

Sehr viel breiter ist die Trockenzone auf der damaligen südlichen Halbkugel entwickelt, wo nun umgekehrt die Kohlenbildung sehr zurücktritt.

In Peru liegt nach Buschman südlich von Cerro de Pasco ein Steinsalzbergwerk, „wo nach Fürer in den der Jura- und Kreideformation angehörenden Gesteinschichten mächtige Steinsalzlager auftreten“. Auch auf argentinischem Gebiet enthalten die südamerikanischen Kordilleren, die ja überhaupt zu den salzreichsten Gebirgen der Erde gehören, jurassische Salzlager. Buschman schreibt: „So fand Brackebusch an der Ostseite der Grenzkordillere in der argentinischen Provinz San Juan im Rio de la Sal ein Lager Steinsalzes und es sollen besonders zahlreich in den noch nicht lange den Indianern abgerungenen Gebieten des Rio Neuquén und Limay Steinsalzlager auftreten, die sich nach Berichten verschiedener Reisender noch weit nach Süden ausdehnen. Alle diese Gebiete gehören der marinen Jura- und Kreideformation an, welche an der Zusammensetzung der westlichen Hauptkordillere und deren Fortsetzung südlich von 35° südlicher Breite an einen wesentlichen Anteil nehmen.“ Während es sich in Peru um die normale Lage der südlichen Trockenzone handeln dürfte, scheint in Argentinien durch die westlich davor liegenden Kohlen angedeutet zu sein, daß schon damals ähnlich wie heute das Trockengebiet sich östlich der Anden bis in abnorm hohe Breiten erstreckte, wohl infolge der Föhnwirkung des auch damals schon bestehenden Gebirges.

In Brasilien deuten wohl die jurassischen São Bento-Sandsteine auf ein trockenes Klima hin.

Auch in Afrika hat die südliche Trockenzone Spuren hinterlassen. Fast der ganze Kontinent muß zusammen mit Brasilien ein riesiges zusammenhängendes Trockengebiet gebildet haben. In Nordafrika enthalten die jurassischen Schichten im äußersten Süden von Tunesien Gipseinlagerungen²⁾, die dann in der folgenden Kreidezeit an zahl-

1) J. Walther, Lehrb. d. Geologie Deutschlands. 2. Aufl., S. 124. Leipzig 1912.

2) Lemoine, Afrique occidentale. Handb. d. Reg. Geol. VII, 6 A. Heidelberg 1913.

reichen Orten der Sahara durch Gipsbildungen ihre Fortsetzung finden. in Ägypten war die Bildung des Nubischen Sandsteins im Gange, dessen mächtige, fossililere Schichten auch die Juraformation umfassen. Diese für unsere Klimabetrachtung überaus wichtige Schichtenfolge scheint durchaus zu der Annahme zu nötigen, daß der Äquator während des ganzen Mesozoikums wesentlich nördlicher lag und erst im Oligozän Ägypten passierte. In Südafrika scheinen die jurassischen Red Beds der Stormberg-Serie und die darüberliegenden Cave-Sandsteine ähnlich wie in Brasilien für trockenes Klima zu sprechen, doch kann es sich kaum um eigentliches Wüstenklima handeln, da gerade in den Red Beds auch verkieseltes Holz gefunden wird.

4. Die Pflanzenwelt. Die bisherige klimatische Beurteilung der jurassischen Pflanzenwelt stellt uns vor eigenartige Verhältnisse, die G o t h a n mit den Worten charakterisiert: „In keiner geologischen Periode haben wir . . . eine gleichförmigere Flora auf der Erde gehabt als zu dieser Zeit. Die entsprechenden Floren von Grönland (70° Nordbreite), Yorkshire, Nordamerika, Sibirien, Japan und andererseits die der Antarktis von Grahamland (64° Südbreite) zeigen bis auf einige Punkte eine verblüffende, oft bis in die Arten hinein gleichförmige Zusammensetzung, jedenfalls in ihren allgemeinen Zügen, so daß die von Halle 1913 beschriebene Juraflora von Grahamland allein nach ihrer Zusammensetzung auch von Yorkshire stammen könnte, wenn man es etwas übertrieben ausdrücken will.“ In der Tat sind von den 18 antarktischen Farnen, Schachtelhalmen und Cycadeen¹⁾ zehn auch in der deutschen Flora vorhanden, die für tropisch oder doch subtropisch gehalten werden muß. Bei Berücksichtigung der Kontinentalverschiebungen und der Achsenlage, wie sie den übrigen jurassischen Klimazeugnissen entspricht, erscheint es uns jedoch keineswegs aussichtslos, auch in der Florenverteilung die Klimagürtel wiederzufinden. Allerdings werden wir nicht um die Annahme herumkommen, daß zur Jurazeit an den Polen, zumal am Südpol, ein wesentlich wärmeres Klima geherrscht haben muß als heute, denn die Flora von Grahamland kommt auf unserer Karte sogar noch auf etwas höherer südlicher Breite (etwa 68°) zu liegen als jetzt. Aber es scheinen sich doch immerhin auch Klimaunterschiede zu zeigen. Den zehn Beziehungen, welche die Flora von Grahamland mit der europäischen verbinden, stehen doch auch acht gegenüber, welche auf die Gondwana-Schichten Indiens hinweisen, und welche also für das subpolare Regengebiet im Gegensatz zu den damaligen Tropen charakteristisch sind. Ginkgo, der in Europa und Zentralasien häufig auftritt, und noch auf Spitzbergen auf

1) Gefunden wurden: Cladophlebis, Sphenopteris, Otozamites, Zamites, Elatocladus, Pagiophyllum, Equisetites, Thinnfeldia, Nilssonina, Scleropteris, Williamsonia, Schizolepidella, Sagenopteris, Todites, Coniopteris, Araucarites, Pachipteris.

damals 40° Nordbreite vorkam, fehlt auf allen Südpolarländern, deren Floren in wesentlich höheren Breiten wuchsen. Und gleiches wird sich vielleicht bei näherer Untersuchung noch bei manchen anderen Pflanzen herausstellen.

Wieweit Zittels Urteil haltbar ist, daß die jurassische Flora Englands subtropisch war, aber gegen Ende der Jurazeit tropisch wurde, lassen wir dahingestellt. Sollte es sich bestätigen, daß wir es hier mit einer Erhöhung der Temperatur, nicht nur der Feuchtigkeit, zu tun haben, so würde hierdurch das schon erwähnte Resultat bekräftigt, daß sich im Laufe der Jurazeit der Äquator Europa näherte.

Vielleicht hat es auch klimatische Ursachen, wenn im Jura, wie *Gothan* hervorhebt¹⁾, auf Spitzbergen, Franz-Joseph-Land und den Neusibirischen Inseln die Abietineen vorherrschen, in „außerordentlichem Gegensatz zur gleichzeitigen südlicheren Flora“, und zwar schon zu der Juraflora von Grönland in heute 70°, damals 35° Breite, die sich bereits mehr der europäischen anschließt. Denn diese jurassischen Koniferen aus dem heutigen höchsten Norden, damals 42 bis 50°, zeigen „weit stärker abgesetzte Zuwachszonen als die gleichaltrigen südlicherer Breiten“.

Ein Gegenstück zu diesen nördlichen Hölzern mit Jahresringen sind die verkieselten Koniferenhölzer aus den Trias-Jura-Schichten von Neuseeland. Entsprechend der noch höheren geographischen Breite von 60° sind die Jahresringe hier sehr ausgeprägt.

5. Die Tierwelt. Mehr als in den früheren geologischen Perioden liefert in der Jurazeit auch die Tierwelt, insbesondere die des Meeres, Beiträge zur Klimafrage. Freilich nicht, wie oft behauptet wird, weil sich nun zum ersten Male schärfere Klimazonen auf der Erde gebildet hätten — die Paläobotaniker sind ja, wie wir sahen, gerade entgegengesetzter Ansicht —, sondern weil hier zum ersten Male ein ernsthafter Versuch zu einer klimatischen Gliederung dieser Meeresfauna von *Neumayr* gemacht worden ist, der dann von *Uhlig* noch weitergeführt wurde. Wir haben die *Neumayr-Uhlig*schen „marinen Reiche“ der Jurazeit in Fig. 11 auf unsere Kartengrundlage übertragen und werden im folgenden mehrfach darauf Bezug nehmen. Im übrigen sollen aber wie früher gleich die gesamten Klimazeugen aus der Tierwelt für jeden Kontinent im Zusammenhange besprochen werden.

In Nordamerika fand im Gebiet der Vereinigten Staaten eine außerordentliche Entfaltung der Reptilien statt, welche zahlreiche Riesenformen, bisweilen geradezu hausgroße Ungetüme hervorbrachte, die alle Phantasiegestalten unserer Drachensagen übertreffen. In

1) *Gothan*, Das Leben der Pflanze, S. 80—86. Stuttgart (Kosmos) 1913.

Wyoming fand man den 18 m langen Pflanzenfresser Brontosaurus. Noch größer muß Brachiosaurus gewesen sein, dessen Schenkel über 2 m mißt. Atlantosaurus soll gar 30 m lang gewesen sein. Von den Dinosauriern waren die Stegosaurier, Sauropoden und Ornithopoden Pflanzenfresser. Von ihnen wiederum nährten sich die fleischfressenden Theropoden, zu denen z. B. der 5 m lange Ceratosaurus aus Colorado gehört. Daneben gab es delphinartige Ichthyosaurier, Meereskrokodile, den Seedrachen Plesiosaurus, dessen Gestalt mit einer durch eine Schildkröte gezogenen Schlange verglichen wird, Schildkröten und Flugsaurier. Zu dieser Zeit und auf amerikanischem Boden haben wir den Höhepunkt der Saurierentwicklung in der Erdgeschichte, die wohl ihrer ganzen Natur nach nur in warmem Klima erreicht werden konnte.

Auch die Betrachtung der nordamerikanischen Meeresfauna aus der Jurazeit führt zu dem gleichen Ergebnis. Im Westen, wo der Kontinent noch von Flachsee bedeckt war, finden wir in den Vereinigten Staaten auch jetzt wie in der Trias Korallenriffe. Aber weiter im Norden bezeugt die „boreale“ Fauna nach Neumayr kühleres Wasser. Die Grenze liegt heute auf 38° Nordbreite, etwa bei San Franzisko. Für die Jurazeit erhalten wir etwa 45° Breite. Die boreale Fauna ist durch das völlige Fehlen von Riffkalk, ferner durch die Ammonitengattungen *Cadoceras*, *Virgatites*, *Craspedites* und namentlich das massenhafte Auftreten der kleinen *Aviculidengattung* *Aucella* gekennzeichnet. Das Gebiet des warmen Wassers dagegen ist hier wie in Europa gekennzeichnet durch Kalkriffbildungen aller Art und durch andere Ammonitengattungen, die zum Teil beträchtliche Größe erreichen. In Mexiko und Zentralamerika finden sich diese Zeugnisse für warmes Wasser, während in Canada, auf Alaska, auf den arktisch-amerikanischen Inseln und in Grönland die „boreale“ Fauna zu finden ist.

Europa stand während der Jurazeit unter dem Zeichen einer fortschreitenden Transgression. Im schwarzen und braunen Jura wurden zunächst allerlei wechselnde Meeresarme und -becken gebildet; im weißen Jura aber wuchsen diese durch weitere Senkung des Bodens zu einem großen, gut durchströmten Meere zusammen, dessen klares Wasser die Bildung großer weißer Kalk- und Korallenriffe ermöglichte. Landtiere können daher in Europa nicht so in den Vordergrund treten wie in Nordamerika. Aber im Wasser tummelten sich auch hier zahllose Ichthyosaurier, und besonders in England wird auch häufig *Plesiosaurus* gefunden. Dazu kommen Ammoniten in teilweise sehr großen Formen, Belemniten und Fische. Vor allem aber war das Meer besonders in der jüngeren Jurazeit nach J. Walther¹⁾ „reich an solchen Pflanzen

1) J. Walther, Lehrbuch der Geologie Deutschlands. 2. Aufl., S. 122—123. Leipzig 1912.

und Tieren, welche, am Grunde festgewachsen, durch ihre Kalkpanzer und Skelette große Massen organischen Kalkes aufhäuften, so daß neben geschichteten Kalkbänken zahlreiche Kalkriffe entstanden, die vielfach

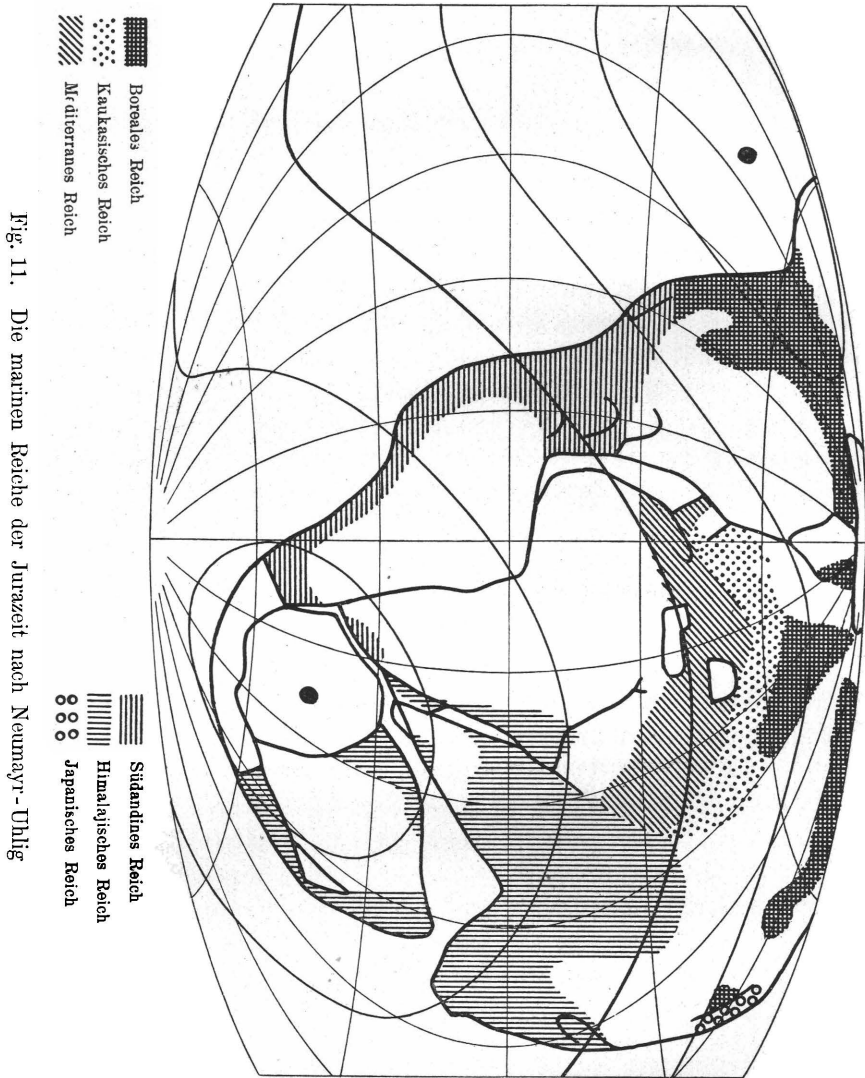


Fig. 11. Die marinen Reiche der Jurazeit nach Neumayr-Uhlig

bis zum Meeresspiegel emporwuchsen und dessen Fläche durch Atolle und Riffarchipele gliederten.“

„Besonders den Rand des böhmisch-vindelizischen Festlandes säumte eine Kette von Kalkriffen, nach Art des australischen Barriereriffes.“

„Kalkschwämme und Korallen, Muscheln und Kalkalgen, Seelilien und Cephalopoden wetteiferten miteinander, um hohe Kalklager zu

bilden, die mit steilen Böschungen aus dem tiefen Meer aufstiegen, vielfach von Höhlungen und Lücken durchzogen waren und beim Absterben der organischen Masse oft in Dolomit verwandelt wurden.“

„Die Lücken zwischen den Kalkriffen wurden entweder mit geschichtetem Kalk oder mit tonigem Schlamm erfüllt, den große Flüsse vom nahen Land ins Meer trugen. Wo aber flache Lagunen zwischen den Atollen standen, in die nur bei starken Stürmen der aus dem Riffgestein ausgewaschene Kalkschlamm hineingeschwemmt wurde, da bildeten sich jene, durch chemisch ausgeschiedenen Kalk in klingend harte Platten verwandelten Schichten, welche oft so dünn wie ein Blatt Kartonpapier in wunderbarer Regelmäßigkeit auf den Höhen des Altmühltals verbreitet sind, und aus denen bei Solnhofen die bekannten Platten für die Zwecke der Lithographie gewonnen werden.“

Die Korallenriffe, die in der Trias nur in den Alpen, aber nicht mehr nördlich davon in Deutschland vorkamen, überschritten also im Jura diese Grenze, besonders im späten Jura, wo sie in England und Deutschland bis zum 52. heutigen Breitengrad vordrangen (damals 20° Nordbreite). Nun ist es zwar sehr wohl möglich, daß der Grund hierfür einfach der ist, daß erst im späten Jura die Senkung des Landes hinreichend stark wurde, um eine für die Korallenverbreitung genügende Verbindung mit dem Ozean der heißen Zone und Durchströmung zu gewährleisten. Immerhin ist aber zu beachten, daß auch sonst mancherlei Anzeichen dafür vorliegen, daß sich der Äquator in der Jurazeit Europa näherte. So findet z. B. Handlirsch, daß die mittlere Länge der Insektenflügel gerade im späten Jura wieder ein Maximum von 22 mm erreichte, nachdem sie im Oberkarbon und Perm nur 17 bis 20 mm betragen und dann mehrfach gewechselt hatte. Wir hatten schon früher aufmerksam gemacht auf das Vorrücken der Trockenzone nach Norden, das sich im Aufhören der Kohlenbildung in Südschweden zeigt, und auf den zunehmend tropischen Charakter der englischen Flora. Es scheint hiernach doch, als habe die geographische Breite Europas in der Jurazeit etwas abgenommen, worauf auch die jurassische Transgression hinzuweisen scheint („hinter dem Pol Transgression“).

Neumayr hielt die jurassische Meeresfauna in Deutschland für einen klimatisch bedingten Übergang zwischen der borealen und der südlich der Alpen vertretenen, offenbar tropischen. Nach Uhlig handelt es sich jedoch im wesentlichen nur um zwei Reiche, das boreale und das „kaukasische“ (vgl. Fig. 11), welches letztere in eine Flachseeregion in Deutschland und eine Region offeneren und tieferen Meeres südlich der Alpen zu teilen ist. Wir lassen es dahingestellt, ob der ja nicht abgeleugnete Unterschied nicht neben diesen Einflüssen zu einem gewissen Teil doch auch klimatischer Herkunft sein könnte. Jedenfalls aber haben wir es bei dem kaukasischen Reich mit einer typischen

Warmwasserfauna zu tun. Sie ist ausgezeichnet durch die Ammonitengattungen *Phylloceras*, *Lytoceras*, *Oppelia* und durch Kalkriffe aller Art, und hat ihre Hauptverbreitung in den Mittelmeerländern, Kleinasien und Persien, also entlang dem jurassischen Äquator. Die boreale Fauna dagegen findet sich nicht nur auf Spitzbergen und Novaja Semlja, sondern auch noch im europäischen Rußland bis zu einer Linie, die etwa von Memel bis etwas nördlich des Kaspischen Meeres reicht (vgl. Fig. 11).

Es mag auffallend erscheinen, daß in Europa die Korallenriffe in der Jurazeit nur bis 20° Nordbreite gegangen sein und die Grenze der borealen Fauna bei 25 bis 20° gelegen haben soll, während wir letztere in Nordamerika bei 40 bis 45° fanden, und man könnte versucht sein, deswegen den Äquator in der alten Welt etwas südlicher zu legen, als wir es taten. Dies erscheint aber deshalb unmöglich, weil dann in Ägypten nicht Wüsten-, sondern äquatoriales Regenklima geherrscht haben müßte, und weil dann auch die Flora von Grahamland noch größere Schwierigkeiten bereiten würde, als sie es jetzt tut. Wir müssen uns also damit abfinden, daß in Europa die boreale Meeresfauna ungebührlich weit gegen den Äquator vordrang, was wohl durch die Meeresverbindung zu erklären ist. Es zeigt sich aber hier schon, daß wir es bei der Faunengliederung von Neumayr-Uhlig keineswegs mit einer rein klimatischen Gliederung zu tun haben.

Auch in Japan sollen sich jurassische Korallen finden¹⁾, doch erscheint es fraglich, ob es sich um Riffe handelt. Neumayr-Uhlig bezeichnen die japanische Meeresfauna als ein besonderes Reich, über dessen Klimacharakter noch nichts Sicheres bekannt ist. Im nördlichen Asien findet sich aber wieder die boreale Meeresfauna.

An der südamerikanischen Westküste reichten nach Burckhardt die Korallenbauten bis zum heutigen 35., vielleicht 40. Breitenparallel. Nach unserer Karte lagen diese Gegenden in etwa 45 bis 50° Südbreite, d. h. etwa auf derselben Breite, in welcher auch an der nordamerikanischen Westküste die Grenze des borealen Reiches lag. Die Beobachtung von Burckhardt deutet jedenfalls an, daß auch an der südamerikanischen Küste eine klimatische Gliederung der Meeresfauna zu finden ist. In Neumayr-Uhligs Darstellung kommt sie jedoch nicht zum Ausdruck, da diese das ganze Gebiet bis Kap Horn und sogar Südafrika als „südandines Reich“ zusammenfassen. Es ist wohl anzunehmen, daß dieses südandine Reich nur die Zugehörigkeit zum Ostufer des Pazifik bezeichnet und klimatisch mindestens in zwei Abschnitte zu teilen wäre.

1) Dacqué, Artikel „Juraformation“. Handwörterbuch der Naturwissenschaften 5, 620. Jena 1914.

Aus Südafrika sind wieder Reptilien bekannt. Aber ihre Zahl ist im Vergleich zu den vorangehenden Zeiten auffallend gering. Während Rogers und du Toit in den permischen Schichten 64 Reptilien, in den triassischen Schichten 29 Reptilien angeben, werden für die untersten Juraschichten, die als Red Beds bezeichnet werden, nur noch 5 Reptilien (nebst verkieseltem Holz), für den darüberliegenden Cave-Sandstein nur noch 1 Dinosaurier und 1 Krokodil, und in den darüberliegenden Drakenberg-Schichten, die abwechselnd vulkanische Gesteine und Sandsteine enthalten, überhaupt keine Fossilien angegeben. Alle diese Schichten werden als frühjurassisch bezeichnet, der obere Jura fehlt ganz. Es ist sehr wahrscheinlich, daß sich in dieser schrittweisen Abnahme der südafrikanischen Reptilienfauna das Näherrücken des Südpols seit dem Perm, wo sein Abstand am größten war, zeigt. Freilich wurde das Klima auch trockener, wie das Aufhören der Kohlen und die zunehmende Entwicklung der Sandsteine zu zeigen scheint. Das Trockengebiet scheint sich also hier allmählich weiter polwärts ausgedehnt zu haben. Immerhin dürfte das Näherrücken des Poles, das durch so viele verschiedenartige Zeugnisse bekräftigt wird, die Hauptursache darstellen. Besonders eindrucksvoll ist diese Verarmung der südafrikanischen Reptilienfauna im Vergleich mit der gewaltigen Entwicklung, die die Reptilien gleichzeitig in Nordamerika nahmen. Der Temperaturunterschied der beiden Gebiete wird hierdurch eindringlich bezeugt.

Neumayr-Uhlig vereinigen die afrikanische Ostküste und Madagaskar mit Vorderindien, Hinterindien, dem Sundaarchipel, Australien und Neuseeland zu einem „himalajischen Faunenreich“ des Meeres, welches aber in klimatischer Hinsicht wohl ebensowenig eine Einheit bildet wie das „südandine“, sondern wohl nur der gleichartigen Besiedlung vom Westufer des Pazifik aus entspricht. Wichtig ist, daß auf Neuseeland wieder die für das nördliche Kaltwassergebiet charakteristische *Aucella* auftritt, deren Verbreitung im damaligen südpolaren Gebiet vielleicht einer besonderen Untersuchung wert wäre. Es ist immerhin beachtenswert, daß gerade das boreale Reich von Neumayr und Uhlig, das einzige eigentliche Klimareich, sich auch schärfer von allen anderen unterscheidet, als diese untereinander. Dies läßt hoffen, daß man bei Durchführung des rein klimatischen Einteilungsgrundes vielleicht zu übersichtlicheren Ergebnissen gelangen wird als bei der bisherigen Einteilung, bei der offenbar mehrere Einteilungsgründe nebeneinander verwendet werden.

Von einem gewissen Interesse ist endlich im Zusammenhang mit den klimatischen Zeugnissen des Tierreiches auch die heutige Fauna Australiens. Dieser Kontinent löste sich ja mitten in der Jurazeit von Ceylon und Vorderindien ab, enthält aber noch heute gewisse „gond-

wanische“ Faunenelemente, welche Verwandtschaft mit den Faunen jener Länder zeigen und also als Nachkommen der beim Abriß noch gemeinsamen Fauna zu betrachten sind. Die heutige Zusammensetzung dieses Faunenelements läßt nun auch einen Schluß auf den Klimacharakter der ehemaligen gemeinsamen Fauna zu. Es finden sich unter diesen Tieren insbesondere auch Reptilien und Regenwürmer; daraus folgt, daß der Erdboden in der Tiefe jedenfalls trotz der Nähe des Poles nicht dauernd gefroren war wie heute in Sibirien. Die Jahresmitteltemperatur muß damals auf Ceylon und den benachbarten Teilen Vorderindiens und Australiens, also auf 70° Südbreite, jedenfalls nicht unter -2° gewesen sein, wieder eine Bestätigung des relativ milden Südpolarclimas, und zwar diesmal fast auf der Gegenseite von Grahamland.

Die Gesamtheit der jurassischen Klimazeugen wird am besten dargestellt durch die in Fig. 10 und 11 angegebene Lage des Nordpols bei 47° Nord, 132° West, bzw. des Südpols bei 47° Süd, 48° Ost.

C. Kreide

In der Kreidezeit schreitet der Prozeß der Zerteilung der Kontinentalmasse weiter fort, indem sich nunmehr auch Südamerika von Afrika abspaltet. Es war schon im vorigen Kapitel auf die merkwürdige Tatsache hingewiesen worden, daß sich gleichzeitig in Nordamerika Kohlen in auffallender Ausdehnung bilden, die auf eine allgemeine Runzelung der Erdrinde auf diesem Kontinent hinweisen, ganz entsprechend den Vorgängen, die sich in der Jurazeit in Asien bei der Abspaltung Australiens von Vorderindien abspielten. Wir halten es auch hier für sehr wahrscheinlich, daß dem zeitlichen Zusammenhang auch ein ursächlicher entspricht. Der Grund für die auffallend reichen Kohlenbildungen in der Kreide Nordamerikas wäre dann in einer Stauchung zu sehen, welche dieser Kontinent durch die Loslösung und beginnende Westwanderung nebst Drehung Südamerikas erfuhr.

Der veränderten Lage der Kontinente wurde in der Kartengrundlage (Fig. 12) Rechnung getragen.

1. Eis. Abgesehen von einem vereinzelt Glazialfund auf Spitzbergen, der aber von Nathorst ins Silur umdatiert wird, berichtet namentlich Basedow von Eisspuren aus der Kreide in Australien. Dacqué meint aber, daß es sich dort „wahrscheinlich um ein zur Kreidezeit durch Sturzbachwirkung auf sekundäre Lagerstätte geratenes paläozoisches Glazialmaterial“ handelt. Nach der Gesamtheit der Klimazeugnisse erscheint uns Dacqués Ansicht wahrscheinlicher als die von Basedow, da wir auch in der Kreide ebenso wie in den vorangehenden Zeiten ein relativ mildes Klima im damaligen Südpolargebiet annehmen müssen, und Mittelaustralien nur in etwa 60° Südbreite lag.

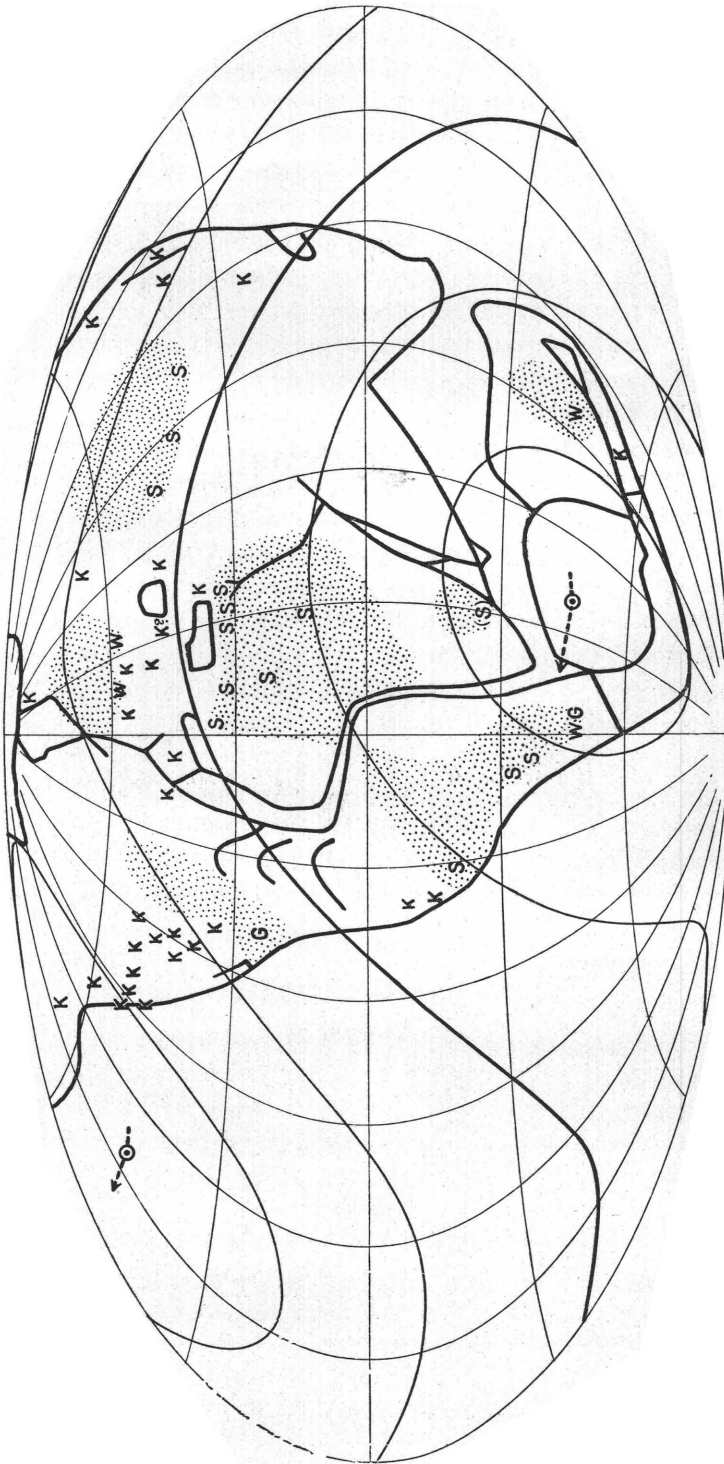


Fig. 12. Moore und Wüsten der Kreidezeit
(K Kohle, S Salz, G Gips, W Wüstensandstein, punktierte Räume: Trockengebiete)

Die Kreideablagerungen Australiens sind aber bisher nur wenig erforscht. Sie bestehen aus den weit verbreiteten Rolling Down Beds, deren Fauna aus Inoceramen, Aucellen, Crioceraten und Dinosauriern jedenfalls auf kühles Klima hindeutet, so daß Gletscherbildungen in beschränktem Umfange, die nicht geradezu Polarklima im heutigen Sinne verlangen, immerhin für möglich gehalten werden müssen.

2. Kohle. Die Breitenlage Nordamerikas scheint gegenüber der Jurazeit keine nennenswerte Änderung erfahren zu haben. Das Trockengebiet ist aber durch Verbreiterung der Regengebiete mehr eingeengt und tritt überhaupt weniger hervor. Im Osten der Vereinigten Staaten finden wir geringe Kohlenbildungen in der pflanzenreichen Potomac-Formation, welche sich, nach dem Potomac-Flusse benannt, als langgezogenes Band am Ostabhang der Appalachen ausdehnt.¹⁾ Besonders eindrucksvoll aber sind die zahlreichen produktiven Kohlenvorkommen im Westen und Nordwesten dieses Kontinents (vgl. Fig. 12). Sowohl die Fröhkreide wie die Spätkreide beteiligen sich an diesen Bildungen. Besonders die Flöze der letzteren, die in der sogenannten Laramie-Formation liegen und stellenweise 6 bis 10 m mächtig sind, haben große wirtschaftliche Bedeutung. Solche spätkretazische Kohle kommt in Alaska vor²⁾, wo sich ihre Bildung auch noch im Eozän fortsetzt, ferner auf kanadischem Boden im pazifischen Küstenlande, auf Vancouver, in Alberta und dem südlichen Saskatschewan; fröhkretazische Kohlen finden sich in Canada in den Provinzen Yukon, British-Columbia und Alberta. Südlich schließen sich hieran die Kreidekohlen der westlichen Vereinigten Staaten in Washington, Montana, North-Dacota, South-Dacota, Wyoming, Utah, Colorado, New Mexico. Und endlich greift die Kohlenbildung auch noch etwas über die mexikanische Grenze hinaus. Die nördliche Regenzone reicht hier also auch noch in die Gebiete hinein, die in der Jurazeit zur Trockenzone gehörten.

Auch in Europa tritt die Kohlenbildung auf Kosten der Trockenzone mehr hervor als in der Jurazeit. Hier handelt es sich aber wohl — wie auch schon in den Potomac-Schichten des östlichen Amerika — um die äquatoriale Regenzone; der Äquator lag nach unserer Karte in der Kreidezeit Europa ein wenig näher als in der Jurazeit. In Spanien entstanden im Gault die Lignitlager von Terruel; in Deutschland bildeten sich in der Fröhkreide (Wealden) wertvolle Steinkohlenflöze am Teutoburger Wald, am Wesergebirge, am Deister und Osterwald. Andere deutsche Kohlenflöze aus dieser Zeit, wie die von Quedlinburg oder Liegnitz, sind ohne wirtschaftliche Bedeutung. In den Ost-

1) Neumayr-Uhlig, Erdgeschichte, Bd. II. 2. Aufl., S. 272. Leipzig und Wien 1895.

2) K. Henning, Alaska in den Jahren 1911, 1912. Geol. Rundsch. 1914, S. 415.

alpen¹⁾ und Niederösterreich finden sich spätkretazische Kohlen in den Gosau-Schichten. Auch in Bulgarien sind angeblich Kreidekohlen vorhanden, doch bezeichnet Frech das Alter als fraglich und vermutet Trias. Hoch im Norden finden sich frühkretazische Kohlen auf Spitzbergen.²⁾ Diese gehören offenbar ebenso wie die Laramie-Kohlen Nordamerikas zum nördlichen Regengürtel. Die frühkretazischen Kohlen im Ostural nehmen eine Mittelstellung ein. Zur äquatorialen Zone gehören dagegen wieder die Braunkohlen in der Kreide bei Alexandropol südlich des Kaukasus³⁾ und die frühkretazischen Kohlen des Libanon.⁴⁾ Auf asiatischem Gebiet, das in der Jurazeit übersät mit Kohlenbildungen war, haben wir nur noch ganz im Osten Kreidekohlen zu erwähnen, nämlich im nördlichen Sachalin, der Mandschurei, in Japan und der chinesischen Provinz Szetschuan. Auch in der Kreide macht sich hier die Tendenz zur Unterbrechung der Trockenzone durch Zusammenfließen der äquatorialen und der nördlichen Regenzone bemerkbar.

In Südamerika haben wir in der Kreide einige wichtige Kohlenbildungen, die wohl noch zur äquatorialen Regenzone gerechnet werden müssen: In Nord- und Mittelperu zieht sich ein 800 km langes Kohlenflöz aus der Fröhkreide parallel zur Küste hin. Auch dicht nördlich davon, in Ecuador, gibt es Kohlen aus der Spätkreide bei Quito. Man könnte versucht sein, den Kreideäquator gerade durch diese Kohlenvorkommen zu legen, wodurch einmal die Salzbildungen im südlichen Südamerika besser erklärt würden, und andererseits dem Umstande Rechnung getragen würde, daß in Nordamerika die nördliche Regenzone so weit nach Süden vordringt. Aber dann ließe es sich nicht vermeiden, daß der Äquator mit den Salzfunden in Nordafrika und auch in Zentralasien kollidiert; und die andere, auf den ersten Blick verlockende Lösung, daß der Äquator von den südamerikanischen Kohlengebieten über Europa und nördlich des zentralasiatischen Trockengebietes zu ziehen sei, verbietet sich aus zahlreichen Gründen, u. a. schon durch die noch zu besprechende Rudistenverteilung (vgl. Fig. 13 S. 90). Es bleibt also nichts übrig, als anzunehmen, daß die südamerikanischen Kohlen einer Verbreiterung oder auch Verschiebung der äquatorialen Regenzone nach der kontinentaleren Südhalbkugel entsprechen.

Auch auf Neuseeland bildeten sich in der Spätkreide Kohlen⁵⁾, die einzigen bekannten aus dem südpolaren Regengebiet. Sie liegen an

1) Franz Heritsch, Die österreichischen und deutschen Alpen bis zur alpino-dinar. Grenze (Ostalpen). Handb. d. Reg. Geol. II, 5 a. Heidelberg 1915.

2) O. Nordenskjöld, Die Nordatlantischen Polarinseln. Handb. d. Reg. Geol. V, 4. Heidelberg 1914.

3) Felix Oswald, Armenien. Handb. d. Reg. Geol. V, 3. Heidelberg 1912.

4) M. Blanckenhorn, Syrien, Arabien und Mesopotamien. Handb. d. Reg. Geol. V, 4. Heidelberg 1914.

5) Wilckens, Die Geologie von Neuseeland. Geol. Rundsch. 8, 1917, S. 150.

der Grenze des Eozän, ja Marshall¹⁾ möchte sie schon dem Eozän zuweisen.

3. Salz, Gips, Wüstensandstein. In Nordamerika ist die Trockenzone, der enormen Entwicklung der Kohlen entsprechend, nur sehr schwach ausgebildet. Gipsablagerungen aus Mexiko sind die einzigen Spuren, die wir nennen können.²⁾

Für Europa gilt Ähnliches. Salz- und Gipsablagerungen fehlen ganz, bis auf einige Solquellen in Westfalen (Neumayr-Uhlig). Die äquatoriale Regenzone beherrschte ganz Süd- und Mitteleuropa. Vielleicht darf aber hier der Quadersandstein als letzter Rest des Trockengebietes betrachtet werden. „In manchen Gegenden, namentlich in Sachsen und Böhmen, ist ein Teil der oberen Kreide durch mächtigen Sandstein vertreten, der wegen seiner Neigung zur quaderförmigen Absonderung den Namen Quadersandstein erhalten hat. Zahlreiche senkrechte Klüfte bringen es mit sich, daß bei der Verwitterung und Denudation senkrechte Abstürze entstehen, daß inmitten eines der Zerstörung verfallenden Komplexes einzelne riesige, oft sehr schlanke Pfeiler stehen bleiben und auch sonst eigentümliche Verwitterungsformen hervortreten. Dieser Eigentümlichkeit verdankt die Sächsische und Böhmisches Schweiz ihren landschaftlichen Reiz; die senkrecht abfallenden Felsklötze des Königsteins und Liliensteins, die kühnen Türme und Spitzen der Bastei, die Säulen des Bieler Grundes, die vielgerühmten Adersbacher Steine in Böhmen, sie alle werden von dem Quader gebildet.“³⁾ Im übrigen sind ja die Kreideablagerungen in Europa vorwiegend marin, und es entstand die hauptsächlich aus Foraminiferen zusammengesetzte weiße Schreibkreide in Norddeutschland (Rügen!), Nordfrankreich, England, einem Teil Rußlands, aber auch in Syrien, Arabien und der Libyschen Wüste.

Im Gegensatz zu Nordamerika und Europa ist in Zentralasien die nördliche Trockenzone wieder sehr gut ausgebildet, nachdem sie hier in der Jurazeit durch Überhandnehmen der Kohlenbildungen stark eingeengt war. Der Kreide entsprechen hier die oberen Angara-Schichten, die vielfach Salz führen. So liegt nach Leuchs⁴⁾ in Ostbuchara am Wachsfluß unter Sandsteinen der späten Kreide ein 40 m mächtiges Steinsalzlager, „und geringere Mengen von Steinsalz kommen an vielen Stellen in den Kreide- und Tertiärschichten dieser Gegend vor“. Auch

1) P. Marshall, New Zealand. Handb. d. Reg. Geol. VII, 1. Heidelberg 1911.

2) E. Böse, On the Permian of Coahuila, Northern Mexico. The Amer. Journ. of Science, Vol. 1, Febr. 1921.

3) Neumayr-Uhlig, Erdgeschichte, Bd. II. 2. Aufl., S. 270. Leipzig und Wien 1895.

4) Leuchs, Zentralasien. Handb. d. Reg. Geol. V, 7. Heidelberg 1916.

im westlichen Kwenlun und anscheinend auch im östlichen Nanschan findet sich Kreidesalz.

Die südliche Trockenzone war sehr ausgedehnt und erstreckte sich namentlich bis in sehr hohe Breiten. In Südamerika ist auch jetzt wieder das schon im Jura genannte Steinsalzlager südlich von Cerro de Pasco in Peru zu nennen, da das Salz hier den Jura- und Kreideschichten angehören soll, wurde schon im vorigen Abschnitt das Nötige gesagt. Als der Provinz San Juan, welches ebenfalls der Jura- und Kreideformation angehören soll, wurde schon im vorigen Kapitel das Nötige gesagt. Als Fortsetzung hiervon erscheint das etwas nördlicher, bei Bupos nördlich von Tucuman gelegene Vorkommen von Natriumsulfat, das in zwei Schichten von über 1 m Mächtigkeit zusammen mit Glauberit zwischen Gips und Mergel auftritt und, wenngleich mit Fragezeichen, zur Kreideformation gerechnet wird.

Auch im südlichen Patagonien besteht wenigstens die untere Kreide noch aus bunten Sandsteinen, „vergleichbar dem Old Red“, allerdings ohne Salz, aber doch teilweise mit mächtigen Gipseinschaltungen, die obere dagegen aus weichen Mergeln und Tonen. „Zweifelloos weisen jene mächtigen Sandsteine auf ein Überwiegen kontinentaler, mehr oder weniger arider oder semiarider klimatischer Bedingungen, und einer mehr mechanischen Gesteinszersetzung hin, während die weichen Tone und lockeren bunten Mergel auf chemische Verwitterungsvorgänge unter den Wirkungen eines mehr humiden Klimas schließen lassen.“¹⁾ Auch Wilckens²⁾ kommt zu ähnlichen Resultaten bezüglich der patagonischen Kreideablagerungen. Zu unterst liegen die „Areniscas abigarradas“, die er, auch einschließlich der klimatischen Bedingungen, dem Buntsandstein vergleicht, und darüber die guaranitischen Sandsteine mit Dinosaurierresten. Wie unsere Karten zeigen, war der Südpol zwischen Jura und Kreide in Bewegung gerade auf Patagonien zu begriffen. Und außerdem mußte das Klima Patagoniens auch deshalb feuchter werden, weil durch den Abriß Südamerikas von Afrika die große Landmasse zerteilt und dem Meer von Osten her ein Zugang nach Patagonien eröffnet wurde. Immerhin lag Patagonien auch in der Jurazeit doch auf etwa 60°, in der Kreide gar auf etwa 64° Südbreite. Das Trockengebiet erstreckte sich also damals über ungeheure Räume. Vielleicht darf man aus den wealdenähnlichen Flußablagerungen im östlichen Brasilien (Bahia) mit Süßwassermollusken, Krokodilen und Dinosauriern den Schluß ziehen, daß die Trockenzone hier unter dem

1) A. Windhausen, Ein Blick auf Schichtenfolge und Gebirgsbau im südlichen Patagonien. Geol. Rundsch. 12, 1921, S. 109—137.

2) O. Wilckens, Die Meeresablagerungen der Kreide und Tertiärformation in Patagonien. N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. 21, 1906, S. 98—195.

Einfluß des neu entstehenden Meeresarmes unterbrochen oder doch weniger scharf ausgeprägt war.

Auch in Afrika scheint das Trockengebiet den größten Teil des Kontinents überlagert zu haben. Buschman schreibt: „Laut Schleiden und Fürer kommen auch in dem der Kreideformation angehörenden Hippuritenkalke Algeriens, namentlich bei Constantine, Salzlager vor, die, wie z. B. bei Biskra und Médéa (Medeah), förmliche Berge bilden und zu den wenigen bedeutenderen Salzvorkommen jener Formation gehören.“ Ebenso hat nach Buschman auch Tunesien ausgedehnte Steinsalzvorkommen, wohl aus derselben Zeit; am Djebel Hadifa besteht ein Berg ganz aus Salz. Auch eine Solquelle wird erwähnt, die an der Küste südöstlich von Tunis im Senon entspringt. Vielleicht ist die Zeitbestimmung dieser Salzlager inzwischen geändert, denn es ist auffallend, daß Lemoine¹⁾ diese doch offenbar schwer zu übersehenden Vorkommen nicht ausdrücklich erwähnt. Er gibt nur an, daß die Kreide sowohl am Nordrande der Sahara, als auch in derselben und namentlich auch im Sudan (hier auch das Eozän) salzführend ist. Sie enthält aber auch verkieseltes Holz, dessen Fundorte leider nicht näher angegeben werden. Eine Ergänzung hierzu erhalten wir durch Blanckenhorns Schilderung der ägyptischen Verhältnisse.²⁾ Hier wurden zur Kreidezeit die oberen Schichten des Nubischen Sandsteins abgesetzt, die teilweise Gips und Salz, freilich auch verkieseltes Holz führen. Desgleichen führen die Kreideablagerungen am Sinai Gips. In Palästina³⁾ kam es beiderseits des Toten Meeres zu Salzablagerungen, auf der Ostseite wurde Alaun, und auf der Westseite wurden Abraumsalze abgelagert. Natürlich ist auch Gips dort reichlich vertreten. Für Ägypten bildet die Kreide das Ende der ungeheuer langen Wüstenzeit, die seit dem Karbon hier geherrscht hat. Denn in dem darauffolgenden Eozän breitet sich die äquatoriale Regenzone über Ägypten aus, die in der Kreide bereits die Kohlen auf dem Libanon erzeugte.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, daß Buschman auch noch aus Südafrika Salz erwähnt: „An der Ostküste Britisch-Südafrikas finden sich, wie Passarge nach den Forschungen Dr. A. Schencks anführt, von der Algoa-Bai bis über Natal mit dem Sulu-Land hinauf zur Delagoa-Bai Schollen, die sich an den Festlandssockel angelagert haben, der Kreideformation angehören und salzführende Schichten besitzen.“ In Anbetracht des weiten Vordringens der Trockenzone in Südamerika kann auch dieses Salzvorkommen nicht unerklärlich er-

1) P. Lemoine, *Afrique occidentale*. Handb. d. Reg. Geol. VII, 6 A. Heidelberg 1913.

2) M. Blanckenhorn, *Ägypten*. Handb. d. Reg. Geol. VII, 9. Heidelberg 1921.

3) M. Blanckenhorn, *Syrien, Arabien und Mesopotamien*. Handb. d. Reg. Geol. V, 4; 1914.

scheinen. Es wird auch nicht gesagt, daß es sich um größere Steinsalzlager handelt; im übrigen zeigen für Südafrika die Wood-Beds der Uitenhage-Serie mit ihrer reichen Flora, daß hier keinesfalls eigentliches Wüstenklima geherrscht haben kann. Auch in Deutsch-Ostafrika kann, wie die Funde von Riesensauriern zeigen, schwerlich Trockenklima geherrscht haben. Vermutlich machte sich auch hier der Einfluß des östlich davon liegenden Meeres geltend.

Endlich sei noch erwähnt, daß in Nordostaustralien (Queensland) in damals etwa 50° Breite in der Kreide der „Desert sandstone“ gebildet wurde. Aber nicht in der Fröhkreide wie die Sandsteine Patagoniens, sondern umgekehrt in der Spätkreide, während hier die Fröhkreide mit den früher erwähnten Rolling Down Beds durch Aucella und andere Formen ein kühles Klima bezeugt. Wir erhalten hier eine neue Bestätigung für die damalige Bewegung des Südpols in der Richtung von Australien auf Patagonien. Und durch die halbkreisförmige Umschließung des Südpols mit Erzeugnissen des Trockenklimas wird das an sich auffallende Vordringen des letzteren bis in so hohe Breiten weiter bestätigt.

4. Die Pflanzenwelt. In der Kreide vollzieht sich der größte Florenwechsel in der Erdgeschichte: Mit dem Abschluß der früheren Kreide stirbt die mesozoische Gymnospermen-Flora größtenteils aus, und es beginnt die Neuzeit der Pflanzenwelt, in welcher die Angiospermen die Führung übernehmen. Die hieraus entspringenden zeitlichen Unterschiede verdunkeln leider oft die klimatischen.

Einen geringen Anhaltspunkt geben die Jahresringe: Bei Hölzern aus dem oberen Nubischen Sandstein in Nordostafrika (damals etwa 10° Südbreite) fehlen nach Dacqué die Jahresringe. Dagegen zeigen Koniferenstämmе aus der Fröhkreide Spitzbergens (damals 40° Nordbreite), die Gothan untersuchte, deutlich erkennbare Zuwachszonen. Und ein kretazischer Araucarienstamm von der Nordostküste von Neuseeland-SüdinseI (damals 52° Südbreite), den Stopes 1914 beschrieben hat, ist nach Irmischer „von allen bekannten Formen durch besonders scharf ausgebildete Jahresringe unterschieden.“¹⁾

In Nordamerika enthalten sowohl die Dakota-Schichten im Westen wie die Potomac-Schichten im Osten eine Flora, die zahlreiche subtropische bis tropische Formen enthält, daneben aber auch Pappeln, Birken, Buchen, Eichen, Ahorn, Efeu und andere Gewächse, die wir nach ihrer heutigen Verbreitung eher in den subpolaren Regengürteln vermuten würden. Die Erklärung dürfte in der von Irmischer hervorgehobenen Gesetzmäßigkeit zu suchen sein, daß alle diese Blüten-

1) E. Irmischer, Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente. Studien zur genet. Pflanzengeographie. Mitt. a. d. Inst. f. allg. Bot. Hamburg 1923.

pflanzen zuerst in den Tropen sich entwickelt haben; sie kamen daher in der Kreide auch noch dort und in den Subtropen, freilich auch schon in höheren Breiten vor, und haben sich erst später ganz auf das kühle Klima der höheren Breiten zurückgezogen. Es herrschte so in Nordamerika eine Pflanzengemeinschaft, in welcher außer den genannten Gewächsen auch Walnuß, Tamariske, Brotfruchtbaum (*Artocarpus*) — auch heute ein tropisches Gewächs —, Platane, Liriodendron (Tulpenbaum), *Cinnamomum*, *Ilex*, *Liquidambar*, *Nerium* (Oleander), *Ficus* (Feige), *Sassafras*-Lorbeer, Magnolien, dazu Sequoien und andere Koniferen vorkamen, ferner *Cycas*, Ginkgo — heute nur in einer Art in China und Südjapan —, *Eucalyptus* u. a. Auch waren gegen Ende der Kreidezeit viele Palmen vorhanden. Zu nennen sind außerdem *Hymenaea*, der Heuschreckenbaum, der heute im tropischen Amerika vorkommt, und *Sapindopsis*, verwandt, wenn nicht identisch mit dem heutigen *Sapindus*, dem Seifenbaum, gleichfalls einer tropisch-amerikanischen Form. Chamberlin und Salisbury meinen, daß diese Flora etwa einer geographischen Breite von 30° entspricht. Die Ansicht dieser Autoren, daß das Klima im Laufe der Kreidezeit kühler wurde, weil die Laramie-Flora „eher eine temperierte als eine tropische“ sei, erscheint uns jedoch insofern bedenklich, als durch das Hervortreten der heute zwar temperierten, damals aber auch tropischen Blütenpflanzen leicht ein solcher Klimawechsel vorgetäuscht werden kann.

Auch Europa, das ja nach der Gesamtheit der Klimazeugnisse in der Kreide sicher ein tropisches Klima hatte, trug dasselbe Pflanzenkleid. Zu den in der Fröhkreide noch vorhandenen Baumfarnen, Cycadeen, Nadelhölzern und Ginkgophyten gesellen sich später ebenso wie in Amerika Eichen, Buchen, Weiden, Kirschbäume, Efeu u. a., die heute mehr in gemäßigtem Klima vorkommen, ferner Tulpenbäume, Magnolien, und auch tropische Gewächse aus den Abteilungen der Caesalpinien, Araliaceen, der Palmen u. a.

Berühmt sind die Funde von Kreidepflanzen auf der Insel Disko in Westgrönland, weil die dortige Schieferserie alle Teile der Kreide repräsentiert und dabei den allmählichen Florenwechsel erkennen läßt. In der untersten Schicht kommen außer der Pappel nur mesozoische Formen vor, darunter manche, die anscheinend als subtropisch angesprochen werden müssen, wie *Pecopteris*, *Osmunda*, Ginkgo u. a. Darüber aber finden sich auch Eichen, Magnolien u. a., neben dem tropischen Brotfruchtbaum. Heer schätzt die Mitteltemperatur der Fröhkreide auf Disko zu 20 bis 21°, nach unserer Ansicht zu hoch, da man mit 16 bis 18° wohl sicher auskäme, und möchte hier, ebenso wie Chamberlin und Salisbury für Nordamerika, eine Abkühlung während der Kreide annehmen, die aber nach unserer Ansicht auch hier wohl durch den zeitlichen Florenwechsel nur vorgetäuscht wird.

Disko lag nach unserer Karte in der Kreide auf etwa 35° Nordbreite, wenig südlicher als Spitzbergen (40°), wo gleichfalls noch Ginkgo zusammen mit Sphenopteris, Taeniopteris, Baiera und Pinites wuchs. Die oft hervorgehobene Übereinstimmung der grönländischen und nordamerikanischen Kreidefloren, deren Fundorte heute einen Breitenunterschied von 35° besitzen, findet durch die von uns angenommene Äquatorlage und Kontinentenverschiebung ohne weiteres ihre Erklärung; auch Dakota lag auf 30 bis 35° Nordbreite, wie Disko.

Einem kühleren Klima entspricht die Kreideflora, die von Hauthal und Kurtz im südlichen Patagonien auf heute 51° Breite festgestellt worden ist. Von mesozoischen Vertretern sind hier hauptsächlich Araucarien, Sequoien und Abietineen vertreten, und dazu gesellen sich Eichen, Birken, Pappeln, Weiden, Cinnamomum, Sassafras-Lorbeer, Liriodendron, Liquidambar, Platanen u. a. Am häufigsten waren Weidenblätter und sodann die von drei Sassafrasarten. Es sind hier jedenfalls keine Formen vertreten, die als typisch für die Tropen gelten können. Hymenaea, Sapindopsis und Artocarpus fehlen. Natürlich bleibt trotzdem auffallend, daß die hier vorkommenden Formen auch alle in der damaligen Tropenzone vorkamen. Dies hängt, worauf schon hingewiesen wurde, wahrscheinlich mit ihrer dortigen Entstehung zusammen. Wir müssen offenbar annehmen, daß diese Formen damals durch alle Klimagürtel hindurch verbreitet waren. Daß aber überhaupt eine so reiche Baumflora noch auf einer damaligen Breite von etwa 65° Süd bestehen konnte, bestätigt unsere Annahme eines milden Klimas in dem damaligen Südpolargebiet. Sie zeigt aber auch, daß das Trockengebiet, welches in Südpatagonien in der Fröhkreide noch Wüstensandstein und Gips erzeugte, hier sein südliches Ende erreichte.

In Südafrika sind Pflanzen aus den der Fröhkreide angehörenden Uitenhage-Schichten bekannt. (Die Oberkreide ist hier marin.) Die Pflanzen gehören daher alle noch zu den mesozoischen Typen. Sie sind besonders wichtig, weil das Kapland in der Kreide auf etwa 70° , in der Fröhkreide also vielleicht auf 67° Südbreite lag, und wir es daher mit der polnächsten Flora der Kreidezeit überhaupt zu tun haben. In den zu unterst liegenden Enon Beds der Uitenhage-Serie finden sich außer Holzfragmenten auch die Reste eines Dinosauriers, des Algosaurus. Darüber liegen die pflanzenführenden „Wood Beds“, in denen große Holzstämme, u. a. einer von $7\frac{1}{2}$ m Länge, im Sandstein eingebettet sind. Diese Holzfunde scheinen zu zeigen, daß die Baumgrenze damals noch polwärts von 67° lag. Die Flora setzt sich nach Rogers und du Toit zusammen aus 8 Farnen (Onychiopsis, Sphenopteris, Cladophlebis, Taeniopteris, Osmundites), 8 Cycadeen (Zamites, Cycadolepsis, Benstedtia, hiervon auch Stämme, Carpolithes, Bucklandia) und 5 Koniferen (Araucarites, Taxites, Brachyphyllum, Conites und Koniferen-

holz). Man würde es, ohne die übrigen Klimazeugen, vielleicht für schwer glaublich erklären, daß alle diese Gewächse in einer geographischen Breite von 67° gelebt haben sollen. Denn wenn auch das Klima im Südpolargebiet damals wesentlich günstiger war als unser heutiges Nordpolarklima, so ist doch kaum daran zu zweifeln, daß das Meer im Süden von Afrika Scholleneis trug, und die Jahresmitteltemperatur, in welcher diese Flora lebte, wird, wenn überhaupt, nicht viel über 0° gewesen sein können.

Von Australien hat v. Ettinghausen 1895 eine Flora beschrieben, die aus 62 Arten bestand. Sie stammt aus Queensland, dem nördlichsten Teil Ostaustraliens, der in der Kreide auf 45 bis 50° Südbreite lag, und ist nach Irmscher „gemischt aus temperierten und einigen subtropischen Elementen“, was zu der Breite gut paßt.

Neuseeland endlich, von dem schon die markanten Jahresringe erwähnt wurden, hatte auch nach den sonstigen Pflanzenfunden aus der Kreide jedenfalls ein kühles Klima. Es finden sich dort merkwürdigerweise keine Vorläufer seiner heutigen Flora, sondern Eichen und Buchen. Gegen Ende der Kreidezeit, nach Marshall sogar erst am Anfang der Tertiärzeit, scheint aber das Klima wärmer geworden zu sein, was wieder mit der von uns angenommenen Polbewegung stimmen würde. Denn die in diesen Schichten 1887 von v. Ettinghausen gefundene Flora wird als „warm gemäßigt“ gedeutet. Neuseeland lag in der Kreide etwa zwischen 40 und 60° Südbreite.

Die Floren von Patagonien, Südafrika, Australien und Neuseeland umstellen den Südpol dergestalt von fast allen Seiten, daß es nicht möglich ist, seinen Abstand von einem dieser Funde zu vergrößern, ohne denjenigen von einem anderen zu verringern. Darin zeigt sich besonders deutlich, daß wir um die Annahme eines relativ milden Klimas im Südpolargebiet wie im Jura, so auch zur Kreidezeit nicht herumkommen. Die Diskussion der Zeugnisse aus der Tierwelt wird diese Frage weiter klären, indem sie nun auch die andere Grenze für die Temperaturverhältnisse liefert.

5. Die Tierwelt. Die marine Tierwelt der Kreidezeit ist von Dacqué einer unseres Erachtens mustergültigen klimatischen Untersuchung unterzogen worden, deren Ergebnisse einen wichtigen Beitrag für die Orientierung der Klimagürtel liefern.¹⁾ Dacqué hat insbesondere versucht, die durch große Kalkabsätze als tropisch gekennzeichnete Meeresfauna, wie wir sie zur Kreidezeit in Europa vorfinden, auf ihre Verbreitung zu untersuchen. Er betont zunächst den Gegensatz gegen die Fauna des hohen Nordens. „Großschalige Foraminiferen, Korallen, dickschalige riffbildende Rudistenmuscheln, Nerineen und

1) E. Dacqué, Grundlagen u. Methoden der Paläogeographie, S. 423. Jena 1915.

Actaeonellen sind für diese südliche Zone charakteristisch, während sie im Norden fehlen. Diese ungeheure Kalkentwicklung deutet entschieden auf warmes Wasser im Gegensatz zum borealen Gebiet.“ Die genannten Formen „gehen nicht über eine gewisse Grenze, die im allgemeinen mit der alpinen Tethys zusammenfällt, hinaus. Daß auch diese Verteilung klimatisch bedingt ist, zeigt aufs schönste das sporadische Auftreten von Rudisten im Norden und Süden. Nach Südschweden haben sie sich verirrt und nach Deutsch-Ostafrika. Während sie aber in der mediterran-äquatorialen Zone üppig gedeihen, sind diese Outsider außerordentlich klein, verkrüppelt und vereinzelt geblieben; die Actaeonellen und Korallen als bezeichnende Warmwasserbewohner fehlen in der Borealregion.“ Diese letztere ist charakterisiert durch das Belemniten-genus *Cylindrotheutis*, ferner *Polyptychites* und andere Formen, durch besondere Arten von Ammoniten wie *Simbirs-kites*, und namentlich durch die Muschelgattung *Aucella*, die schon die Polarregionen der Jurazeit kennzeichnete und in der Kreide gleichfalls in beiden Polarregionen heimisch war. Auch Gregory hat schon darauf aufmerksam gemacht, daß in Grönland und sogar schon in England die riffbildenden Rudisten fehlen und die Korallen- und Krinoidenfauna verkrüppelt ist.

Dacqué kann aber weiter auch das kalte Wasser im Süden nachweisen: „Das Überraschendste ist aber die Wiederkehr des borealen Charakters in der Südhemisphäre, und was Neumayr und Uhlig für den oberen Jura krampfhaft suchten: die südliche gemäßigte Zone als Äquivalent der borealen, das tritt uns in der Unterkreide klar entgegen Denn in Südafrika und im südlicheren Südamerika treffen wir, abgesehen von anderen Spezialformen, auf eine von der mediterran-äquatorialen unterschiedene eigenartige Trigonienfauna, und außerdem kehrt in Südamerika die boreale Ammonitenform *Simbirs-kites* wieder.“ Für die südliche kalte Region ist weiter auch bezeichnend die Ammonitengattung *Kossmaticeras*, die z. B. im antarktischen Grahamland auf damals 70° Südbreite gefunden wurde. Man könnte auch wohl die oben erwähnte Muschelgattung *Aucella* nennen, die zusammen mit *Inoceramen*, *Crioceraten* und *Dinosauriern* in den Rolling Down Beds von Australien vorkommt. Madagaskar schließt sich übrigens in der Kreide (ebenso wie auch im Frühtertiär) mehr an das Mittelmeergebiet als an das südpolare an, eine Abnormität, die wohl leicht durch die Meeresverbindung und vielleicht Meeresströmung erklärt wird. In Dacqués Untersuchung kommt dies dadurch zum Ausdruck, daß an der ostafrikanischen Küste die Funde allerdings verkrüppelter Rudisten besonders weit nach Süden reichen.

Dacqué gibt auf einer Weltkarte alle Fundstellen normal, d. h. tropisch entwickelter Individuen der Genera *Radiolites*, *Hippurites* und

ihrer Nächstverwandten an, sowie diejenigen Stellen im nördlichen Europa und in Ostafrika, wo Krüppelformen gefunden worden sind. Wir haben diese Punkte auf unsere Kartengrundlage übertragen (Fig. 13), und man sieht, daß sich die Funde gut zwischen 30° Nordbreite und 30° Südbreite einordnen. Nur eine Fundstelle normaler

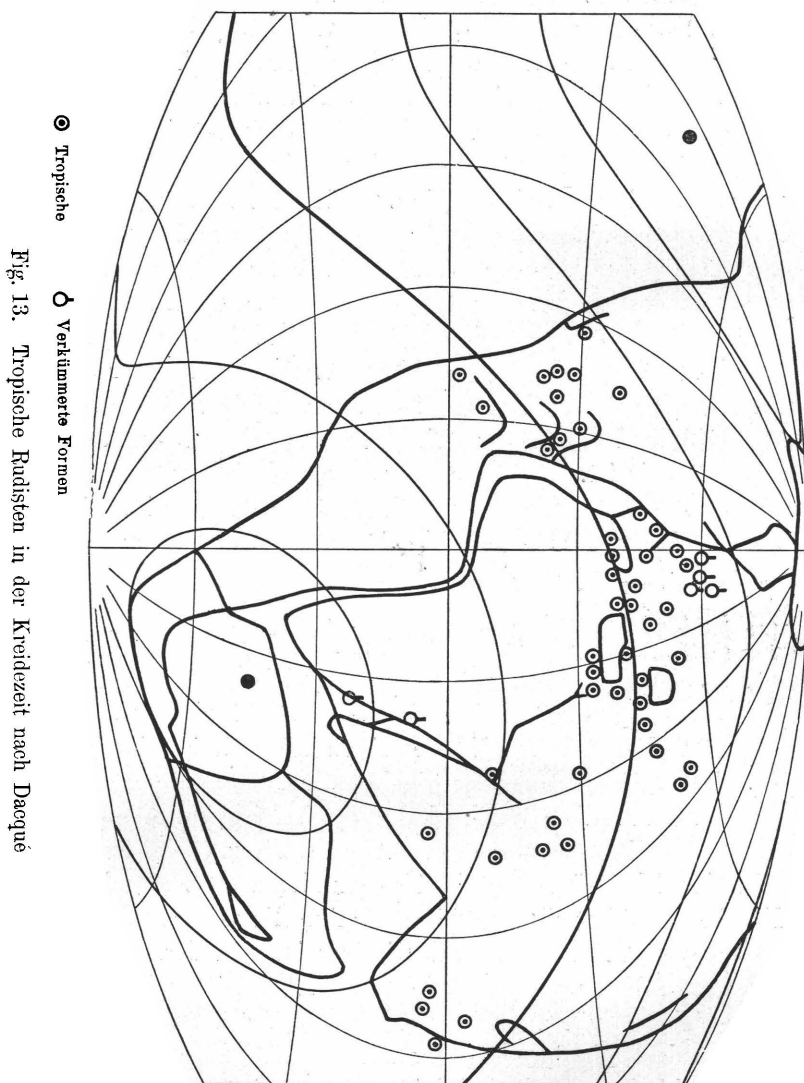


Fig. 13. Tropische Rautisten in der Kreidezeit nach Daquet

Formen aus dem Himalaja bekäme vielleicht eine höhere südliche Breite, doch ist hier zu beachten, daß wir uns bei dem Riesenzusammen-
schub der Erdrinde im Himalaja kaum ein Bild von der genauen ehemaligen Position eines heutigen Fundortes machen können. Wir dürfen daher auf diese Abweichung kein größeres Gewicht legen.

Würde man den Äquator allein nach den D a c q u é schen Rudistenfunden orientieren, so wäre man zunächst versucht, ihn zu drehen, so daß er auf amerikanischem Gebiet nördlicher, auf ostasiatischem südlicher läge, als von uns angegeben. Allein ganz abgesehen davon, daß eine solche Lage sich weder mit den nordamerikanischen Kreidekohlen, noch mit den Kohlen-, Salz- und Gipsvorkommen in Südamerika und dessen patagonischer Flora verträge, läßt auch eine genauere Diskussion der Rudistenfunde selbst eine solche Drehung nicht zu. Auch heute ist ja der Gürtel der Warmwasserfauna 50 bis 60° breit; da der Rudistengürtel in Amerika und Europa nur etwa halb so breit ist, können seine Grenzen nicht überall klimatische Grenzen sein, sondern wir haben es mit einer künstlichen Einengung durch Land zu tun. Nun schließt sich sowohl in Nordamerika wie in Europa nördlich an die Rudistenzone das Reich der borealen Marinfrauna an, hier haben wir es also mit der klimatischen Grenze zu tun. Im Süden aber verhinderten die Landmassen von Südamerika und Afrika die volle Entfaltung des Warmwassergürtels. Und in Ostasien war wohl umgekehrt nur die Südgrenze der Rudisten klimatisch bedingt.

Als Ergänzung hierzu seien nun auch noch die sonstigen Klimazeugnisse aus der Tierwelt der Kreidezeit besprochen.

In Nordamerika brachten die Saurier noch ähnlich große Formen hervor wie in der Jurazeit. In den Laramie-Schichten findet man den nashornähnlichen, 7 m langen plumpen Pflanzenfresser Triceratops; fast 10 m lang wurde der känguruhartige, gleichfalls pflanzenfressende Iguanodon; vielleicht noch etwas größer war das ähnlich gebaute Raubtier Tyrannosaurus, und manche Autoren setzen auch den im Jura genannten Atlantosaurus in die Kreide. Der seeschlangenartige Mesosaurus lebte im Meere zusammen mit dem 9 m langen Tylosaurus. Von den Flugsauriern erreichte der Fischräuber Pteranodon eine Flügelspannweite von 6 m. Namentlich die großen, plump gebauten Pflanzenfresser ergänzen das Bild des damaligen Klimas, da ihnen die Beherrschung weiter Flächen nicht möglich war und sie also auf massenhaftes Pflanzenwachstum angewiesen waren. Gegen Ende der Kreidezeit stirbt dann — man weiß noch nicht, warum — die ganze Sauriergruppe aus.

Dieselben Verhältnisse — subtropische bis tropische Üppigkeit — zeigt auch die europäische Fauna der Kreidezeit. Hier sind besonders die Iguanodonfunde in Belgien bekannt geworden. Die Neigung zu Riesenformen zeigt sich auch bei Ammoniten und anderen Seetieren. Fand man doch in der oberen Kreide Westfalens einen Pachydiscus von 2 m Durchmesser!

Sehr im Gegensatz zu dieser Üppigkeit stehen die Kreidefaunen in den polnäheren Teilen der Südkontinente. In Südamerika mag vielleicht die Fauna der Flußablagerungen von Bahia sich noch bei näherer Unter-

suchung als ähnlich herausstellen — wir befinden uns hier erst in damals 40° Südbreite —, aber schon in Argentinien werden nach Gerth¹⁾ nur noch Dinosaurus und Titanosaurus gefunden, und in Patagonien herrscht eine noch auffallendere Verarmung, ebenso wie in den entsprechenden Schichten Südafrikas und Australiens. Einige Dinosaurier drangen freilich mit der besprochenen kühlen Flora bis in recht hohe Breiten vor. Aber gerade in Patagonien werden sie in den oberen Kreidehorizonten, wie Windhausen hervorhebt, immer seltener und verschwinden schließlich ganz, was wohl mit der mehrmals besprochenen Annäherung des Pols zusammenhängt.

Die südafrikanische Fauna ist womöglich noch dürftiger, entsprechend der noch höheren Breite (70°). Nach Rogers und du Toit ist in den pflanzenreichen Uitenhagen-Schichten bisher nur ein einziger Dinosaurier (*Algoasaurus*) gefunden worden. Dagegen herrschte in Deutsch-Ostafrika, unter damals 35° Südbreite, wieder eine üppige Entwicklung von teilweise riesigen Sauriern, wie durch die jüngsten Untersuchungen sich herausgestellt hat. Ein dort in den Schichten von Tendaguru gefundener Oberarmknochen eines Sauriers hatte 2 m Länge!

Von Australien ist schon erwähnt, daß sich auch hier in den „Rolling Down Beds“ Reste von Dinosauriern finden, wahrscheinlich derselben, die auch in Südafrika und Patagonien lebten. Obwohl die Schichten noch nicht gründlich durchforscht sind, kann man doch soviel sagen, daß von einer üppigen Entwicklung auch hier ebensowenig die Rede sein kann wie in den übrigen damaligen Südpolarländern.

Zum Schluß möge noch die heutige Tierwelt Australiens zur Untersuchung herangezogen werden, welche, wie schon für die Jurazeit, so auch für die Kreidezeit klimatische Kriterien bietet. Diesmal handelt es sich um diejenigen Faunenelemente in Australien, welche auf einen früheren Austausch mit Südamerika hinweisen. Da nämlich im Frühtertiär Australien sich von Antarktika ablöste, bestand die Brücke zwischen Südamerika und Australien vornehmlich in der Kreidezeit, und der altertümliche Charakter der australischen Säugetiere scheint ja auch zu zeigen, daß es hauptsächlich die spätere Kreide- und früheste Tertiärzeit mit ihren ersten Säugetieren war, welche als Zeit des Austausches in Frage kommt. Es ist nun von großem Interesse, daß diesen Südamerikanern in der australischen Fauna ein bestimmter, ja auffallender Klimacharakter gemeinsam ist: es sind ausnahmslos Tiere, die bedeutende Kälte vertragen. Schon Wallace schrieb:¹⁾ „Es ist

1) Gerth, Die Fortschritte der geologischen Forschung in Argentinien und einigen Nachbarstaaten während des Weltkrieges. Geol. Rundsch. 1921, S. 74—87.

2) Wallace, Die geographische Verbreitung der Tiere. Deutsch von A. B. Meyer. 2 Bände. Bd. 1, S. 463. Dresden 1876.

wichtig, hier zu bemerken, daß die hitzeliebenden Reptilien kaum einen Beweis einer nahen Verwandtschaft zwischen den beiden Regionen liefern, während es die kälteaushaltenden Amphibien und Süßwasserfische im Überfluß tun.“ Die gleiche Eigentümlichkeit zeigen auch alle anderen Ordnungen in diesem Faunenelement, z. B. herrscht keine Übereinstimmung bei den Regenwürmern, weil diese in dem ewig gefrorenen Boden der Polarländer, auch wenn er im Sommer oberflächlich auftaut, nicht leben können; da heute, wie schon früher erwähnt, gefrorener Boden überall da angetroffen wird, wo die Jahresmitteltemperatur der Luft unterhalb etwa -2° liegt, so können wir schließen, daß in der Kreide ganz Antarktika offenbar Temperaturen hatte, die unterhalb dieser Grenze lagen. Dagegen herrscht wiederum gute Übereinstimmung bei den Säugetieren, zu denen die bekannten australischen Beuteltiere, die Verwandten der südamerikanischen Beutelmäuse, gehören. Diese können sich durch die erhöhte Eigenwärme des Körpers gegen die Kälte schützen, wie wir es heute beim Polarhasen, Polarfuchs, Polarwolf, Eisbären, Moschusochsen, Rentier usw. sehen. Das betrachtete Faunenelement Australiens ist eben eine ehemalige Polarfauna, die später in niedere Breiten versetzt wurde. Diese Beziehungen sind nicht nur von hohem Interesse für das Verständnis der australischen Tierwelt selbst, sondern liefern auch einen wichtigen Beitrag zur Frage des Klimas im Südpolargebiet zur Kreidezeit, und sind hierfür um so wichtiger, als nunmehr durch Flora und Fauna für die Beurteilung des Klimas gewissermaßen zwei Grenzen gegeben werden, innerhalb deren das Klima jedenfalls gelegen haben muß: Die Floren beweisen, daß es, zumal im Sommer, jedenfalls milder gewesen sein muß als selbst das heutige Nordpolargebiet, die Fauna aber zeigt, daß die Jahresmitteltemperatur jedenfalls niedriger war als -2° , also als die heutige im südlichen Alaska, Labrador, Südgrönland, Scoresby-Sund, dem Russischen Eismeer, dem Ochotskischen Meer und Kamtschatka. Die Breitenlage dieser Jahresisotherme schwankt heute auf der nördlichen Halbkugel zwischen etwa 50° und 74° und liegt im Mittel bei 61° . In der Kreidezeit lag sie dem Südpol vermutlich wesentlich näher, muß aber immerhin das eigentliche Polargebiet bis etwa 70° Breite umschlossen haben.

— Die Gesamtheit der Klimazeugnisse aus der Kreide läßt auf eine Lage des Nordpols bei 47° Nord, 140° West und des Südpols bei 47° Süd, 40° Ost schließen, wie in den Fig. 12 und 13 dargestellt.

Kapitel IV

Die Klimagürtel in der Tertiärzeit

Das Tertiär ist die Zeit der großen Gebirgsfaltungen, durch welche die meisten heutigen Hochgebirge der Erde entstanden sind, namentlich der meridionale Faltenzug der Anden und das äquatoriale Falten-system, welches sich vom Atlas über die Alpen und den Kaukasus zum Himalaja erstreckt. Diese Vorgänge zeigen, daß die Verschiebungskräfte im Tertiär besonders stark waren, denn zu einer Faltung ist eine größere Kraft nötig als zur bloßen Verschiebung.

Das Tertiär ist aber auch die Zeit der größten und schnellsten Verlegungen der Erdachse in dem ganzen von uns betrachteten Zeitraum.

Ähnliche Ereignisse, nur geringeren Ausmaßes, hatten bereits einmal früher, in der Karbonzeit, stattgefunden. Und wie damals gegen Schluß der Karbonzeit das bis dahin relativ milde Polarklima abgelöst wurde durch eine Eiszeit, so beginnt auch jetzt am Schluß der Tertiärperiode beim Übertritt des Nordpoles vom ozeanischen auf kontinentales Gebiet die große Eisüberschwemmung der Nordpolargebiete, die ihren Höhepunkt im Quartär erreichte. Diese Analogie ist sehr auffallend und legt den Gedanken an einen ursächlichen Zusammenhang von Kontinentalverschiebungen bzw. ihrer gesteigerten Auswirkung in Faltungen mit Polwanderungen und Eisüberschwemmungen sehr nahe. Die Frage, wie dieser Zusammenhang zu denken ist, kann hier freilich noch nicht näher untersucht werden.

Daß die Tertiärperiode auch zu den kohlenreichsten Zeiten der Erdgeschichte gehört, hängt offenbar ebenfalls mit den erwähnten Faltungen zusammen. Denn durch diese Bodenbewegungen wurden auch über die Grenze der eigentlichen Gebirge hinaus Senken und Becken geschaffen, die sich mit Wasser füllen und vermooren konnten.

Die großen Veränderungen, welche sowohl die Lage der Kontinente als auch namentlich die Lage der Pole im Laufe der Tertiärzeit erfahren haben, machen die Diskussion der Klimazeugnisse aus dieser Zeit besonders schwierig, weil schon kleine Fehler in der Zeitsetzung von großem Einfluß werden, und Klimazeugnisse, bei denen nur ihre

Zugehörigkeit zur Tertiärzeit, aber nicht zu deren Unterteilen, bestimmbar ist, fast ganz wertlos sind. Wir werden bei der Besprechung der Klimazeugen nur zwei Abschnitte — Fröhrtertiär und Spättertär — unterscheiden, aber zur Eintragung in die Karte und Ableitung der Äquatorlage sind auch diese Zeiträume noch zu lang. Wir werden daher so verfahren, daß wir die Verhältnisse des ganzen Fröhrtertiärs an der Hand einer Karte erörtern, welche nur die Eintragungen und die Äquatorlage für das Eozän enthält. Beim Spättertär werden wir zwei Karten benutzen, die einerseits für das Miozän und andererseits für die Grenze zwischen Pliozän und Quartär gelten.

A. Das Fröhrtertiär (Paleozän, Eozän, Oligozän)

1. Eis. Über Vereisungen im Fröhrtertiär ist nichts Sicheres bekannt. *Kreichgauer's* Annahme, daß auf den Ländern der Beringstraße im Fröhrtertiär Inlandeis gelegen hat, muß als unhaltbar bezeichnet werden, da die an verschiedenen Stellen von Alaska gefundenen eozänen Floren, die u. a. Magnolien enthalten, mit einer solchen Annahme ebenso unvereinbar sind wie die dortige eozäne Meeresfauna, welche, wenn auch vielleicht etwas übertrieben, als subtropisch bezeichnet worden ist. Die fossilen Inlandeismassen auf Alaska und auf den Neusibirischen Inseln, die *Kreichgauer* als Beleg für seine Ansicht anführt, können erst später, im Miozän, entstanden sein, wie im Abschnitt über das Spättertär erörtert werden wird.

A. *Wegener* hatte in früheren Veröffentlichungen, namentlich in der 2. Auflage seiner „Entstehung der Kontinente und Ozeane“, die Vermutung ausgesprochen, daß Patagonien im Fröhrtertiär eine Eiszeit gehabt haben könnte. In der Tat erreicht die geographische Breite Patagoniens auch nach den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung im Fröhrtertiär ein Maximum von fast 70°, so daß wenigstens eine Gebirgsvergletscherung im südlichsten Teile Südamerikas sicherlich angenommen werden muß. Ob es möglich ist, die von *Steinmann*¹⁾ dort gefundenen älteren Blocklehme (Jujuy-Schichten), die er selbst in das Frühquartär setzt, bis in das Fröhrtertiär zurückzudatieren, können wir aber nicht beurteilen. Es sind allerdings versteinierungslose Schichten, die stark gestört, teilweise bis zur senkrechten Stellung aufgerichtet und von Verwerfungen durchsetzt sind und von den spätquartären Moränen diskordant überlagert werden. Sie sind also zweifellos viel älter als die spätere Vereisung, die allerdings, wie gezeigt werden wird, in das späteste Quartär zu setzen ist. Gegen eine weit ausgedehnte Überschwemmung Patagoniens mit Inlandeis überhaupt seit tertiären Zeiten

1) *Steinmann*, Über Diluvium in Südamerika. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1906, Monatsber.

sprechen gewichtige biologische Gründe, namentlich der Umstand, daß die Regenwürmer hier wie auf den Falklandsinseln offenbar niemals ausgerottet wurden, sondern seit langen Zeiten endemisch sind, was voraussetzt, daß der Boden im Sommer niemals gefroren blieb (Temperatur-Jahresmittel über -2°). Es würde deshalb eine große Erleichterung bedeuten, wenn sich herausstellte, daß die von Steinmann beobachteten Erscheinungen frühtertiär oder etwa pseudoglazial wären. Im spätesten Tertiär und frühesten Quartär lag Patagonien in der südlichen Trockenzone, und die Faltungsprozesse lieferten gewaltige Mengen Schutt, die wohl zur Bildung pseudoglazialer Schichten dienen konnten. Aber ob hiervon die Rede sein kann, entzieht sich unserem Urteil.

2. Kohle. Nordamerika bietet im Frühtertiär noch dasselbe Bild wie in der Kreide. Der ganze Westen des Kontinents ist besät mit Kohlenlagern (vgl. Fig. 14). In Alaska bestehen vier Fünftel der dortigen nicht unerheblichen Kohlenschätze aus eozänen Ligniten und Braunkohlen. Gleichfalls im Eozän bildeten sich südlich davon Kohlen in den kanadischen Provinzen Alberta und Saskatschewan. Und hieran schließen sich die gleichfalls eozänen Kohlen in den Vereinigten Staaten¹⁾, nämlich in den Staaten Washington (hier auch oligozän) und Oregon und an zahlreichen Stellen in den Rocky Mountains von der kanadischen Grenze bis New Mexico, ferner in Kansas und noch in Texas. In letzterem Staate wird allerdings noch im Eozän die Kohle durch Gips abgelöst, dessen Bildung dann auch noch im Oligozän andauert. Jedenfalls überwiegen im Süden der Vereinigten Staaten durchaus die Zeugnisse für Trockenklima im Frühtertiär.

Auch Europa ist im Frühtertiär ähnlich wie in der Kreide übersät mit Kohlenbildungen. Bei der Unsicherheit der genauen Identifizierung der Horizonte macht es sich aber hier sehr störend geltend, daß der Äquator im Oligozän bereits weit südlicher, nämlich bei der Nilmündung, zu finden ist. Wir müssen deshalb den Versuch machen, Eozän und Oligozän zu trennen. Betrachten wir z. B. die Schichtenfolge im Oberelsaß, wie sie André angibt, so finden wir zu unterst im Tertiär Braunkohlentone; darüber folgt im unteren Oligozän die noch zu besprechende Kalisalzformation, dann wieder Braunkohle (!) und darüber im mittleren Oligozän eine Gipszone. Den Übergang von der eozänen Braunkohlenformation zur oligozänen Salzformation können wir mit dem Zurückweichen des Äquators nach Süden erklären, aber die starken Feuchtigkeitsschwankungen innerhalb des Oligozäns werden wir wohl auf andere Ursachen zurückführen müssen, vielleicht auf Transgres-

1) E. Blackwelder, U. S. of North America. Handb. d. Reg. Geol. VIII, 2. Heidelberg 1912.

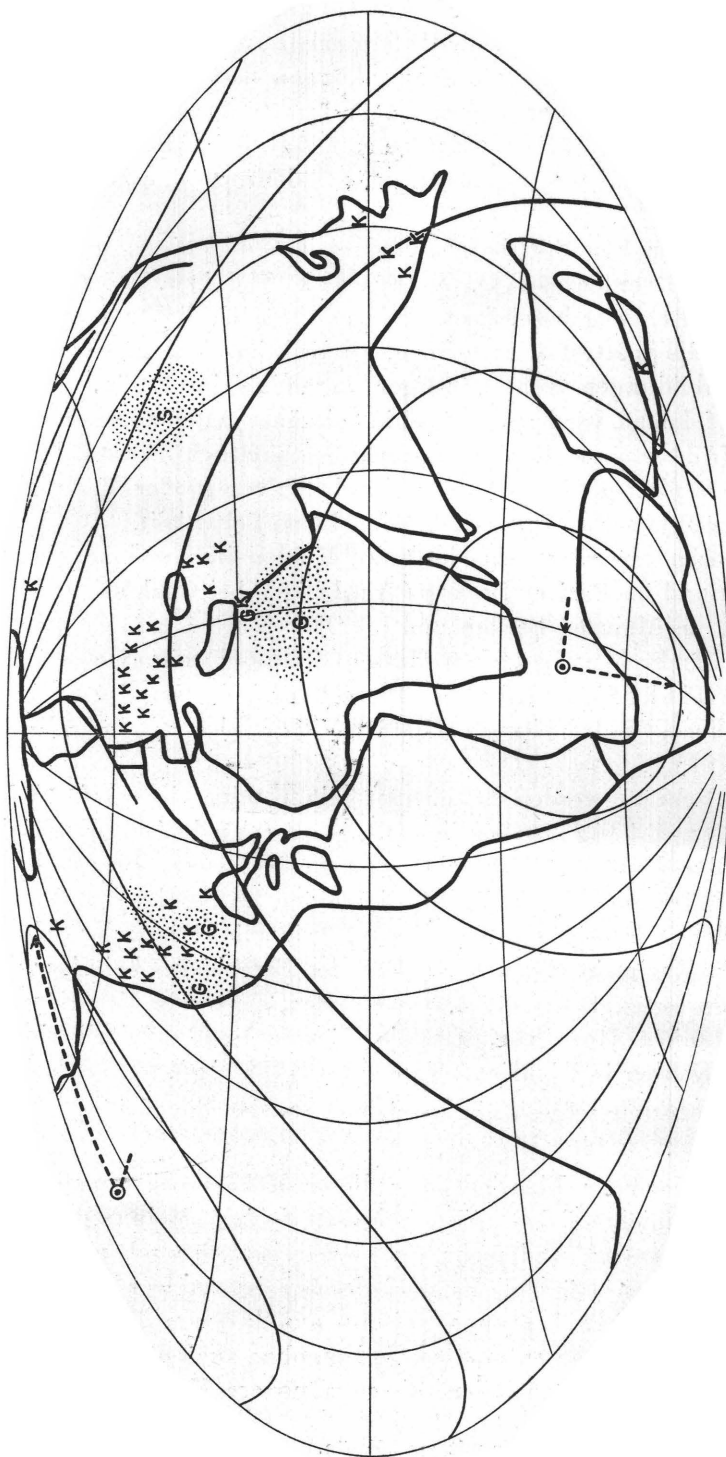


Fig. 14. Moore und Wüsten im Eozän
(K Kohle, S Salz, G Gips, punktierte Räume: Trockengebiete)

sionswechsel, vielleicht auch auf Schwankungen in den Bestrahlungsverhältnissen, wie wir sie bei den Interglazialzeiten kennen lernen werden. Leider wird durch diese Schwankungen das Bild, wenn man es genau zeichnet, etwas verworren. In großen Zügen erkennt man aber leicht, daß das Eozän für ganz Europa eine Zeit der Kohlenbildung war, das Oligozän für Mittel-, das Miozän für Südeuropa eine Zeit der Salz-
bildung.

Die Kohlen von Spitzbergen und ebenso diejenigen in Ost- und Westgrönland werden von O. Nordenskjöld bzw. Böggild als „tertiär“ schlechtweg bezeichnet. Wir möchten sie lieber dem Miozän oder jedenfalls Spättertiär zurechnen, wo die klimatischen Bedingungen für Kohlenbildungen wohl günstiger waren als im Eozän. Für die Kohlen auf Island wird auch ohnehin miozänes Alter angenommen.

Die frühtertiären Kohlen Europas — sämtlich Braunkohlen — sind, dem tropischen Klima entsprechend, oft von großer Mächtigkeit; Flöze von 40, ja selbst 70 m Dicke sind keine Seltenheit.

Als eozän¹⁾ werden bezeichnet die Kohlen im Londoner Becken, in Belgien und im Pariser Becken (A n d r é e), bei Chalons sur Marne (A r l d t), im Mainzer Becken und im Oberelsaß (A n d r é e), an der deutsch-holländischen Grenze, in Hessen, Braunschweig, Sachsen, Thüringen (W a l t h e r), in Kärnten (H e r i t s c h), in den Karpathenländern (N e u m a y r - U h l i g), auf Istrien (S c h u b e r t), in Dalmatien (S c h u b e r t).

Als oligozän werden bezeichnet die Kohlen in Südfrankreich (N e u m a y r - U h l i g), solche im Oberelsaß (A n d r é e), desgleichen solche an der deutsch-holländischen Grenze, in Hessen, Braunschweig, Sachsen, Thüringen (W a l t h e r), diejenigen im Samland und an anderen Stellen Norddeutschlands (A r l d t), in Südbayern, der Schweiz, Steiermark, Krain, in Böhmen am Fuß des Erzgebirges bei Eger, Falkenau, Dux, Brüx, Bilin und anderen Orten, ferner in Kroatien, Slavonien, Bosnien, Herzegowina, Siebenbürgen und auf italienischem Boden die Kohlen in Ligurien (N e u m a y r - U h l i g).

Als frühtertiär schlechthin bezeichnet werden die Kohlen in Tirol (H e r i t s c h).

Über die genaue Eingliederung dieser Kohlenvorkommen in die frühtertiäre Schichtenfolge haben indessen vielfach Meinungsverschiedenheiten geherrscht, und mehr als einmal hat man schon Umdatierungen vornehmen müssen. Es muß deshalb betont werden, daß wir die vorstehenden Angaben ohne weiteres aus den zum Teil recht verschieden alten Schriften entnommen haben, ohne auch nur den Versuch gemacht zu haben, festzustellen, ob etwa neuere Untersuchungen zu

1) Paleozän rechnen wir hier mit zum Eozän.

einer Korrektur der Zeitsetzung geführt haben. Wir halten es deshalb für möglich, daß bei einer genaueren Aufnahme sich größere Unterschiede zwischen Eozän und Oligozän hinsichtlich der Kohlenbildung zeigen werden als in den vorstehenden Angaben. Diese Annahme liegt nahe wegen der Unterschiede, die hinsichtlich der Salz- und Gipsbildungen festzustellen sind. Denn während wir im Eozän nirgends in Europa deutliche Anzeichen der Trockenzone vorfinden, bergen schon die oligozänen Schichten und noch mehr die miozänen bedeutende Salzlager. Hierauf wird im nächsten Abschnitt näher eingegangen werden.

Ihre unmittelbare Fortsetzung finden diese frühtertiären Kohlen von Europa in Kleinasien und den angrenzenden Ländern. Eozäne Kohle findet sich im südlichen Amanus am Golf von Alexandrette (Blanken horn), ferner in Armenien bei Erzerum (Frech, Oswald) und an zahlreichen Stellen der Vorberge des armenischen Taurus (Oswald) sowie im nördlichen Mesopotamien (Blanken horn). Oligozäne Kohle ist vorhanden bei den Dardanellen (Chamberlin und Salisbury), in der Provinz Kilikien gegenüber von Cypern (Philippson) und in Armenien (Oswald).

Zu der Äquatorlage, wie sie aus der Gesamtheit der Klimazeugnisse hervorgeht, passen diese orientalischen frühtertiären Kohlen sehr gut, ebenso wie die darauf folgende spättertiäre Salzformation dieser Gegenden. Unter diesen Umständen sind wir skeptisch gegenüber einigen Nachrichten über spättertiäre Kohlen in Kleinasien und Nordpersien, die wir gleich hier erwähnen, weil sie unseres Erachtens sehr wahrscheinlich in das Frühtertiär gehören: Philippson berichtet von „wahrscheinlich miozänen“ Braunkohlen, die im Westen Kleinasiens bei Soma nördlich von Smyrna ein 15 m mächtiges Flöz bilden; ebenso sollen weiter südlich am Golf von Kos „untermiozäne“ Braunkohlen vorhanden sein. Ferner erwähnt Stahl „miozäne“ Braunkohlen bei Täbris in Nordpersien „und nördlicher bei Liwar“ (unauffindbar). Es soll natürlich keineswegs die Möglichkeit abgeleugnet werden, daß sich auch innerhalb der großen Salzbildungsperiode durch Klimaschwankungen auch Kohlen gebildet haben können, allein wir gehen wohl kaum fehl in der Annahme, daß die Lagerungsverhältnisse dieser asiatischen Vorkommen noch nicht so eingehend erforscht sind wie die der europäischen, so daß eine solche Umdatierung vielleicht nicht besonders schwer wiegt. Aus der Darstellung bei Stahl geht jedenfalls hervor, daß die Kohlenzeit vor der Salzzeit lag, da er letztere als spätmiozän bezeichnet.

Aus den ungeheuren Räumen Innerasiens ist über Kohlenbildung im Tertiär bisher sehr wenig bekannt. Nach Frech sollen am Jenissei-Strom tertiäre Kohlen vorhanden sein. Aber sowohl der Jenissei-Strom

wie die Tertiärperiode sind so lang, daß uns diese Angabe für unsere Zwecke nichts nützt.

Das ostasiatische Küstengebiet ist auch im Tertiär wieder die Stätte zahlreicher Kohlenbildungen gewesen. Aber leider lautet auch hier die Zeitangabe bei Frech stets nur auf „tertiär“. In der Amurprovinz, in Nordsachalin, der Mandschurei, im Südussurigebiet und in Südechina liegt diese tertiäre Kohle, und nach Warren D. Smith auch auf den Philippinen. P. Kukuk bezeichnet diese Kohle auf den Philippinen als eozän, und gibt eozäne Kohle auch in Java, Sumatra und Borneo an.¹⁾ Auch nach mündlicher Versicherung holländischer Geologen hat es auf den Inseln des Sunda-Archipels in allen Abschnitten des Tertiärs Kohlenbildungen gegeben, die zusammen mit Riffkorallen, fossilen Palmen und Lianen auf eine Konstanz des tropischen Regenklimas wenigstens seit Beginn des Tertiärs schließen lassen.

Auf dem südamerikanischen Kontinent liegen im äußersten Nordwesten in Columbien und Venezuela nach Stappenbeck Kohlenlager oligozänen Alters. Es handelt sich um 0,6 bis 6 m mächtige Flöze, die in Venezuela als Braunkohle ausgebildet sind, in Columbien aber, wo sie im gefalteten Gebirge liegen, teilweise als Anthrazit. Diese Gegend lag noch im Eozän in der südlichen Trockenzone, im Oligozän aber sehr nahe dem Äquator. Viel weiter südlich findet sich noch „tertiäre“ Kohle ohne nähere Zeitangabe in Chile.

In ganz Afrika kennen wir nur ein einziges, obendrein sehr dürftiges Kohlenvorkommen im Frühtertiär: Im nördlichen Ägypten enthalten nach Blanckenhorn die Flußablagerungen bei Birket el-Kerun im Obereozän und Oligozän einige Schichten Schieferkohle. So unbedeutend dieses Vorkommen in ökonomischer Hinsicht ist, so wichtig ist es für unsere Untersuchung. Denn seit dem Karbon hatte Ägypten in der südlichen Trockenzone gelegen, heute aber liegt es in der nördlichen. Es muß daher notwendigerweise eine Zeit des Äquatordurchgangs gegeben haben, und dies kann nur das Oligozän sein; denn noch in der Kreide war dies Land Wüste ähnlich wie heute, und die letzten Ausläufer der Trockenperiode reichen bis in das Eozän. Das Oligozän ist die einzige Zeit, für welche wir keine Zeugen von Trockenheit, sondern nur von Regen haben. Schon im Miozän stellen sich die ersten Anzeichen der neuen Trockenperiode wieder ein, und im Pliozän sind wir wieder in der Wüste.

Für Australien finden wir bei Frech „tertiäre“ Kohle ohne nähere Zeitangabe.

Auf Neuseeland berichtet Marshall von Kohlen, die von

1) P. Kukuk, Unsere Kohlen. Aus Natur und Geisteswelt, S. 87. Berlin und Leipzig 1913.

manchen in die späteste Kreide gesetzt werden, wahrscheinlicher aber dem Eozän angehören.

3. Salz, Gips, Wüstensandstein. In Nordamerika hatten die Vereinigten Staaten im Frühtertiär vorwiegend Trockenklima, wenn dies auch an einigen Stellen unterbrochen war. Nach Blackwelder finden wir im Eozän Kaliforniens Gips. Der im Great Basin in der Laramie-Zeit aufgestaute See trocknete jetzt im Tertiär aus, und es entstanden mächtige Ablagerungen von Ton, Mergel und Salzen. Auch in Texas kommen im Eozän neben Kohlschichten auch Gips-schichten vor. Noch allgemeiner war wohl die Gipsablagerung im Oligozän. In dieser Zeit sind in Texas wie in Louisiana die Gipsablage-rungen durchaus vorherrschend. In den Golfstaaten wird das Oligozän nach Chamberlin und Salisbury hauptsächlich durch die „Grand Gulf“-Formation dargestellt, die aus Sandsteinen mit Gipseinlagerungen besteht, und im Osten des nördlichen Felsengebirges (in Colorado, Wyoming, Nebraska, South-Dacota, Kansas) durch die „White River“-Formation, die teilweise äolischen Ursprungs sein soll und gleichfalls Gips enthält.

In Europa tritt, wenn wir nach den Zeugnissen für Trockenheit gehen, im Frühtertiär ein Klimawechsel ein: Im Eozän finden sich noch keine Anzeichen des Trockengebietes, aber im Oligozän haben wir Salz und Gips in Spanien, bei Paris, im Oberelsaß; und diese Salzformation setzt sich dann weiter östlich und namentlich südöstlich im Miozän fort in den galizisch-persischen Salzbildungen.

In Spanien, welches ganz frei von frühtertiären Kohlen ist, findet sich nach Douvillé im Oligozän (Tongrien) allenthalben Gips. Im „Oligo-Miozän“ aber ist außer Gips auch Salz sehr verbreitet. Hierher gehört die Salzformation des Ebrobekens mit dem berühmten Salzberg von Cardona. Penck setzt diese Bildungen in das Miozän, André in das Oligozän, und Douvillé, wie erwähnt, in das Oligo-Miozän. Wir wollen uns hier mit diesem kurzen Hinweis begnügen und die näheren Angaben im Kapitel über das Spättertiär bringen, weil sie jedenfalls zur Miozänkarte besser passen müssen als zur Eozänkarte.

Auch im Pariser Becken, wo das Eozän Kohle bildete, haben wir im Oligozän Gips, wie die Gipslager des Montmartre in Paris mit den berühmten, von Cuvier untersuchten Resten von Beuteltieren und anderen Säugetieren zeigen. Frühtertiärer Gips findet sich nach L. Waagen auch in der Schweiz. Von größter Bedeutung aber ist die wiederum oligozäne Salzformation im Oberelsaß, die teilweise auch nach Baden hinübergreift. Nachdem auch hier das Eozän noch Kohle gebildet hatte, gelangten jetzt im Oligozän nach André Gips, Anhydrit, Steinsalz und namentlich die wertvollen Kalisalze zur Ablage-rung, die an verschiedenen Stellen abgebaut werden. Bei der oligo-

zänen Orientierung des Äquators kam dieses Gebiet auf etwa 30 ° Nordbreite zu liegen.

Die jurassischen Kalkriffe Süddeutschlands boten zur selben Zeit den Anblick einer Karstlandschaft. Vulkanische Asche von den Ausbrüchen zahlreicher Vulkane namentlich im Norden wurde vom Winde in die Schluchten und Löcher dieser Kalkklippen hineingeweht und verwandelte sich unter dem Einflusse des damaligen Klimas in Terra rossa, die dann später bei tieferen Temperaturen und größerer Feuchtigkeit weiter verwandelt wurde und hier und da abbauwürdiges „Bohnerz“ enthält.

Die galizischen Salzlager werden, da sie zum Miozän gehören, erst beim Spättertiär besprochen werden, doch sei erwähnt, daß sie sich zeitlich als unmittelbare Fortsetzung der elsässischen Salzformation darstellen, da sie als frühmiozän bezeichnet werden, während ihre Fortsetzung auf kleinasiatischem und persischem Gebiet wiederum etwas jünger, nämlich spätmiozänen Alters ist.

Nach einigen wenigen Autoren soll es auch frühtertiäre Steinsalzlager in Kleinasien geben. Wir sind in bezug auf diese Angaben, die von anderen Autoren nicht bestätigt werden, skeptisch und halten es für wahrscheinlicher, daß auch diese Vorkommen zur großen miozänen Salzformation Kleinasiens gehören. Wir werden diese Fälle deshalb im Abschnitt über das Spättertiär ausführlicher besprechen.

Über das frühtertiäre Klima von Zentralasien lesen wir bei Leuchs: „Im Hauptteile von Zentralasien aber ist die ältere Tertiärzeit gekennzeichnet durch Bildung von kontinentalen Ablagerungen, welche noch deutlicher als die oberen Angara-Schichten ihre Entstehung in aridem Klima zur Schau tragen (starker Wechsel in petrographischer Hinsicht, in der Mächtigkeit, Überwiegen bunter und grobklastischer Gesteine, häufige Einschaltung von Gips und Salz, Fehlen von organischen Resten). Erst in einem höheren Abschnitte der Tertiärzeit ist wieder feuchteres Klima eingetreten . . . Der vollständige Mangel an Pflanzenresten und Kohlen in den (tertiären) Hanhai-Schichten, sowie das Überwiegen roter Bildungen unterscheidet sie von den Angara-Schichten.“¹⁾

Sehr merkwürdig sind die weit nach Norden vorgeschobenen Salzlager in Sibirien, von denen Buschman berichtet. Leider werden sie wieder nur als „tertiär“ bezeichnet ohne nähere Zeitangabe. Sie liegen im Gebiet von Jakutsk. „Ward bemerkt, daß die Salzlager im Tale des Wiljui, in denen sich Steinsalz von verschiedenen Farben befindet, die nördlichsten der ihm bekannten Steinsalzlager seien, da sie auf 63 ° 15' nördlicher Breite liegen. Man soll zwar auch noch nördlicher, und

1) Leuchs, Zentralasien. Handb. d. Reg. Geol. V, 7. Heidelberg 1916.

zwar in den Tälern der Flüsse Anabara und Khatanga, also innerhalb des Polarkreises Steinsalz gefunden haben, aber bisher ist die Wahrheit dieser Behauptung noch nicht geprüft.“ Die günstigsten Zeiten für Salzbildung in diesen Gebieten sind Anfang und Schluß des Tertiärs; im mittleren Tertiär waren die Verhältnisse ungünstiger.

In Ägypten herrschte im Eozän anfangs noch Gipsbildung; z. B. findet sich nach *Blanchenorn* westlich von Sues eine 25 bis 30 m mächtige Gipsschicht aus dieser Zeit. Im weiteren Verlauf des Eozäns und vollends im Oligozän — also zur Zeit der Salzbildung in Spanien und im Elsaß — verschwinden hier aber die Anzeichen der Trockenzone ganz, und statt dessen treten Schieferkohlen und Reste von Pflanzen und Tieren der äquatorialen Regenzone auf. Schon das Miozän führt aber wiederum Gips, und das Klima wird erneut wüstenhaft. Im Oligozän fand also der Durchgang der äquatorialen Regenzone statt, durch den dies Land von der südlichen Trockenzone in die nördliche hinübergelange.

Nach *Lemoine* wurde im Eozän auch im Sudan Gips gebildet. Dieses Gebiet lag nach unserer Karte gerade auf 30° Südbreite.

Es werden ferner noch Salzvorkommen aus Marokko, Algerien und Tunesien genannt, welche sich räumlich an die oligo-miozäne Salzformation Spaniens anschließen. In der Zeitfrage gehen die Angaben ziemlich weit auseinander: Es werden Eozän, Frühtertiär, Oligozän und Mitteltertiär genannt. Teilweise handelt es sich aber hierbei um Solquellen. Das wichtigste Steinsalzlager wird als mitteltertiär bezeichnet. Wir gehen wohl kaum fehl in der Annahme, daß diese Salzformation auch zeitlich sich an die spanische anschließt und in das Miozän zu setzen ist. Wir werden sie deshalb ausführlicher erst beim Spättertiär besprechen.

Buschman gibt auch noch an, daß sich Steinsalz von tertiärem Alter — ohne nähere Zeitangabe — „in Französisch-Ostafrika, im Lande Adel“ vorfinde, doch ist nicht zu ermitteln, was damit gemeint ist.

4. Die Pflanzenwelt. Die frühtertiäre Flora der Vereinigten Staaten von Nordamerika wird von *Chamberlin* und *Salisbury* als „subtropisch oder warm temperiert“ bezeichnet. Besonders das Eozän brachte hier Palmen, Feigen, Zimtbäume (*Cinnamomum*) u. a. hervor. Noch in Montana, an der kanadischen Grenze, macht die Flora einen wenigstens warm gemäßigten Eindruck. Hervorgehoben wird dabei allgemein, daß das Klima vom Paleozän zum Eozän wärmer wurde, eine Erscheinung, die auch in Europa zu beobachten ist. Im Oligozän beginnt dann die große Temperaturabnahme, die schließlich zur Eiszeit führt. Nach unseren Annahmen findet dies durch eine besonders extreme Lage des eozänen Äquators seine Erklärung. Von

großer Bedeutung hierfür ist die sehr auffallende eozäne Flora von Alaska, über welche Stephan Richarz schreibt¹⁾: „Über das ganze Gebiet zerstreut findet man Lignite und Braunkohlen, der Kenai-Formation angehörig, welche sicher alttertiär ist. Eine Zusammenstellung der in diesen Ablagerungen von verschiedenen Fundorten bekannt gewordenen Pflanzenreste gibt Knowlton. Es sind u. a. die Genera: *Abies*, *Acer*, *Alnus*, *Betula*, *Ficus*, *Magnolia*, *Platanus*, *Quercus*, *Sequoia*, *Vitis*. Diese Flora setzt unbedingt ein mildes Klima voraus.“ Nach unserer Eozänkarte erhält man für Alaska etwa 55 bis 60° Breite. Wir müssen hierbei berücksichtigen, daß damals das Polarklima wesentlich milder war als heute, wie z. B. auch aus dem Fehlen einer frühtertiären Eisüberschwemmung Patagoniens und der Erhaltung der endemischen Regenwürmer dort und auf den Falklandsinseln hervorgeht. Die weiter unten zu besprechende eozäne Meeresfauna Alaskas stimmt übrigens mit diesem milden Klima gleichfalls überein. Von besonderem Interesse sind diese Verhältnisse, weil hier schon im Oligozän eine schnelle Abkühlung erfolgte und im Miozän sich Inlandeis bildete.

Wie in den Vereinigten Staaten, so treten auch in Europa im Frühtertiär Palmen als Klimazeugen in den Vordergrund. Es ist deshalb wichtig, sich die heutigen Grenzen des Palmenwuchses zu vergegenwärtigen, wie sie Drude²⁾ ermittelt hat: Die Nordgrenze der Palmen liegt heute in Nordamerika im Mittel bei etwa 33°, in Eurasien bei etwa 38°, in Südamerika bei 32°, in Afrika 25°, Australien 24°, Neuseeland 42°, Pazifische Inseln 45°. Diese Grenzen entsprechen ungefähr der Jahresisotherme 16° C und auch der Isotherme des kältesten Monats von 8° C.

Die europäische Flora im Frühtertiär bezeugt nach übereinstimmendem Urteil aller Autoren eine höhere Temperatur als die nordamerikanische, was durch die etwas geringere geographische Breite (vgl. die Karte Fig. 14 S. 97) seine Erklärung findet. Auch hier sind nach Gothan „als besonders auffällige Florenbestandteile die Palmen zu erwähnen; im Eozän und Oligozän noch zahlreich vertreten, sind ihre Spuren im Miozän, besonders im jüngeren Miozän, nördlich der Alpen nur noch sehr sporadisch wahrzunehmen“. Nach Geikie erreichte in England die Temperatur im mittleren Eozän einen Höhepunkt. Die damalige Flora der Themsemündung bezeichnet er als „the most tropical in general aspect which has yet been studied in the northern hemisphere“³⁾ und

1) Stephan Richarz, Eine tertiäre Vergletscherung Alaskas und die Polwanderung. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. Mon.-Ber. **74**, 1922, S. 180—190.

2) O. Drude, Die geographische Verbreitung der Palmen. Peterm. Mitt. **24**, 1878, S. 94—106 (mit Karte).

3) Zitiert nach Chamberlin und Salisbury.

vergleicht ihr Klima und ihre Wälder mit denen des Sunda-Archipels und des tropischen Amerika. Nach unserer Karte lag England im Eozän auf etwa 13° Nord. Im Oligozän war auch in England das Klima wieder gemäßigter. Aber nach Steuer¹⁾ waren „Pflanzen des Mittelrangelandes mit Palmen noch im Oberoligozän bis nach Mitteleuropa (Münzenberg in der Wetterau nördlich von Frankfurt a. M.) verbreitet.“ Die Mitteltemperatur der oligozänen Schweiz schätzte Heer immer noch auf $20,5^{\circ}$ C. Die geographische Breite mag damals, als der Äquator bei der Nilmündung lag, etwa 22° Nord betragen haben.

Im Bereich der Ostsee, vielleicht von Skandinavien bis zum Samlande und Mecklenburg, entwickelten sich im Oligozän (als diese Gegenden in etwa 40° Breite lagen) die Bernsteinwälder, über welche Neumayr-Uhlig schreibt: „Der Bernstein ist das fossile Harz mehrerer Nadelbäume, die um die Mitte der alttertiären Zeit das damalige Festland bedeckten. Von diesen Bernsteinbäumen kennt man bisher vier Föhren und eine Fichte, die mit unseren jetzigen Nadelbäumen wenig Ähnlichkeit haben, nur die seltene und erst vor wenigen Jahren entdeckte Ormoriga-Fichte Serbiens und Bosniens [ca. 43° Breite] und die japanische Ajanfichte [ca. 35° Breite] scheinen Ausläufer der Bernsteinfichte *Picea Engleri* zu bilden. Vermutlich war ein großer Teil des nördlichen Europa damals mit Nadelwäldern bestanden, und die Forste von Skandinavien und Finnland haben wohl hauptsächlich jene Harzmassen geliefert, die durch Flüsse ins Meer gelangten und, hier von marinen Sedimenten umhüllt, sich im Laufe langer Zeiträume zu Bernstein fossilisierten.“ Nach J. Walther enthält die Bernsteinflora u. a. *Thuja Kleiniana*, 22 Kiefern und zahlreiche andere Nadelhölzer, 15 Laubbäume, darunter Eichen, Buchen, Kastanien, Ahorn, ferner 4 Palmen. Letztere kommen mit *Bambus* auch noch im Hangenden vor. Zeugen diese Formen von warmem Klima, so macht sich andererseits die Jahresperiode der Temperatur dadurch kenntlich, daß an einem 2 Fuß dicken Baumstamm 100 Jahresringe gezählt werden konnten. Andrée führt folgende Formen an: *Pinites succinifer*, die *Sabal-Palme*, *Cinnamomum*, *Laurus*, *Taxodium*, *Thuja*, *Quercus* (immergrün), *Acer*. Es handelt sich also jedenfalls um eine subtropische Flora.

Von größtem Interesse sind aber die frühtertiären Baumfloren im heutigen Nordpolargebiet, weil hier der Gegensatz gegen das heutige Klima besonders eindrucksvoll ist. Auch historisch kommt diesen Funden die Bedeutung zu, die führenden Männer der Geologie zum ersten Male von der Unabweisbarkeit von Polwanderungen überzeugt zu

1) A. Steuer, Tertiärformation. Handwörterbuch der Naturwissenschaften 9, S. 1077—1097. Jena 1913.

haben. Anfänglich wurden diese Waldfloren von ihrem berühmten Bearbeiter Heer in das Miozän gesetzt, doch betrachtet man sie neuerdings allgemein als frühtertiär. „Man kann ja nicht annehmen, daß zur Miozänzeit, wo sogar schon in Deutschland (Lausitz) Frostspuren nachgewiesen sind, im hohen Norden eine ebensolche Flora unter womöglich noch günstigeren Verhältnissen gelebt habe als in unseren Breiten“ (Gothan). Heer selbst schildert diese Floren mit folgenden Worten¹⁾:

„Wir kennen gegenwärtig aus Island, Grönland, Grinnell-Land, Spitzbergen und Nordkanada 363 miozäne [nach heutiger Auffassung: frühtertiäre] Pflanzenarten. Die nördlichste Fundstelle solcher Pflanzen ist Grinnell-Land bei $81^{\circ} 45'$ nördlicher Breite Es wurden in einem schwarzen Schiefer 30 Pflanzenarten gesammelt, von welchen zehn zu den Nadelhölzern gehören; die Sumpfyypresse (*Taxodium distichum*, das noch jetzt im südlichen Teile der Vereinigten Staaten lebt) war da häufig, und es wurden nicht nur die zierlichen beblätterten Zweige, sondern auch die männlichen Blüten gefunden; die Fichte ist eine zweite noch lebende Pflanzenart, die uns in diesem Polarlande begegnet, und ihr waren zwei Kiefern (*Pinus Feildeniana* und *Pinus polaris*) beigelegt. Eine eigentümliche ausgestorbene Gattung der Familie der Eibenbäume bildet *Feildenia*, welche in drei Arten den höchsten Norden bewohnte. Eine Ulme (*Ulmus borealis*) bildete mit einer Linde, zwei Birken- und zwei Pappelarten den Laubwald, zwei Haselarten mit einem Schneeballe (*Viburnum Nordenskiöldi*) das Buschwerk; in dem See, der sich dort befunden haben muß, lebte eine Seerose (*Nymphaea arctica*), und das Ufer bekleideten Seggen und Schilfrohr. Es tritt uns daher in diesem äußersten Teil eine Pflanzenwelt entgegen, welche am meisten mit derjenigen im nördlichen Teile der gemäßigten Zone übereinstimmt und eine mittlere Jahrestemperatur von wenigstens 8°C verlangt, während diese gegenwärtig dort 20°C unter Null liegt. Am nächsten schließt sich die Flora von Spitzbergen an, welche wir von zahlreichen zwischen $77\frac{1}{2}$ und $78\frac{2}{3}$ nördlicher Breite gelegenen Stellen in 179 Arten kennen. Auch hier dominieren die Nadelhölzer und die Sumpfyypresse, die Fichte und die Feildenien treten uns auch hier entgegen, dazu kommt aber noch eine ganze Zahl von Föhren, Fichten und Tannen, wie ferner mehrere Mammutbäume (*Sequoia*, jetzt in Californien lebend) und Glyptostroben, aber auch Zypressen fehlen nicht, so namentlich zwei zierliche Arten von *Libocedrus* (*Libocedrus Sabineana*, *Libocedrus gracilis*). Unter den Laubbäumen treten uns die Pappeln mit sieben Arten entgegen, von denen zwei über die ganze Westseite Spitzbergens, vom Bellsund bis zur

1) Zitiert nach Neumayr-Uhlig.

King's Bai, verbreitet waren; die Weiden sind selten, ebenso die Erlen, Birken und Buchen. Von größerem Interesse sind zwei großblättrige Eichen-, eine Platanen-, eine Ulmen-, eine Linden-, eine Walnußbaum-, zwei Magnolien- und vier Ahornarten, von denen eine (*Acer arcticum*) in prächtigen Blättern und Früchten gefunden wurde. Drei Schneeball-, mehrere Cornus-, Nyssa-, Weißdorn- und Judendornarten bildeten mit dem Haselstrauche das Buschwerk. Die arktische Seerose, ein Froschlöffelkraut und ein Laichkraut (*Potamogeton Nordenskiöldi*) weisen auf einen Süßwassersee, der wahrscheinlich von einem Torfgrunde umgeben war, welchen zahlreiche Riedgräser (*Cyperus*, *Carex*), Sparganien und Schwertlilien bekleideten. Überblicken wir diese Flora von Spitzbergen, so vermissen wir zwar in derselben alle Formen der heißen Zone, andererseits weicht sie gänzlich von der jetzigen Spitzbergens und überhaupt von der Flora der arktischen Zone ab; sie hat den Charakter der Pflanzenwelt der gemäßigten Zone, wie wir sie heute im nördlicheren Deutschland antreffen, und läßt auf eine mittlere Jahrestemperatur von 9° C schließen.“

„Einen etwas südlicheren Anstrich hat die fossile Flora von Nordgrönland, welche uns von der Westküste bei 70° nördlicher Breite näher bekannt geworden ist. Wir erblicken unter den 169 Arten, welche uns von da zugekommen sind, eine Magnolie mit immergrünen Blättern, während die beiden Spitzberger Arten offenbar fallendes Laub hatten; ferner haben wir in Grönland einen Kastanienbaum, einen Ginkgo, *Diospyrus*, *Sassafras* und lederblättrige *Macelintockien* und *Coculites*. Die Sequoien, Taxodien und Pappelarten waren hier ebenso gemein wie auf Spitzbergen; die Eichen treten uns in sieben Arten entgegen und hatten zum Teil große, prächtige Blätter, ebenso die Platanen und die Weinreben. Es ist dies eine Flora, die ein Klima andeutet, wie wir es gegenwärtig in der Umgebung des Genfer Sees, z. B. bei Montreux, mit 10½° C Jahrestemperatur treffen.“

Inzwischen ist nach Böggild¹⁾ die Anzahl der auf der Insel Disko in Westgrönland gefundenen Pflanzen auf 282 gestiegen, darunter befinden sich 19 Farne, 28 Coniferen und 200 Dicotyledonen. Die drei gewöhnlichsten Formen sind: *Sequoia Langsdorffii*, *Taxodium distichum* und *Populus arctica*.

Nach unserer Eozänkarte hatte Grinnell-Land eine geographische Breite von etwa 42°, Spitzbergen etwa 40° und Disko etwa 30°. Man muß aber beachten, daß diese Zahlen der extremen Lage des Äquators entsprechen und also Minimalwerte darstellen. Im Oligozän sind die Breiten dieser Gegenden durchgängig etwa 15° höher.

Aus den weiten Räumen Asiens können wir bisher nur wenige Beiträge zur Klimafrage auf Grund der fossilen Flora liefern. Nathorst

1) O. B. Böggild, Grönland. Handb. d. Reg. Geol. IV, 2 a, 1917.

kam bei einer Untersuchung der fossilen Flora Japans¹⁾ zu dem Resultat, daß die dortige „vorpliozäne“ Tertiärflora ein Klima voraussetzt, das etwas kühler ist als das heutige. Nach unseren Karten war die geographische Breite Japans etwa: im Eozän 45°, im Miozän 43°, an der Grenze von Pliozän und Quartär 20° (heute 35°). Meist wird die Äußerung Nathorst's wohl auf das Miozän bezogen, man sieht aber, daß sie ebensogut auch noch auf das Frühtertiär paßt.

Die fossile Tertiärflora von Java, Borneo und Sumatra ist durch v. Ettinghausen untersucht worden mit dem Ergebnis, daß das ganze Tertiär hindurch dort das gleiche tropische Regenklimate herrscht haben muß wie heute. Irmischer meint: „Aus dieser relativen Klimakonstanz, die diese Verhältnisse für Hinterindien bedeuten, erklärt sich auch die Unmöglichkeit, eine nähere Zeitbestimmung für diese Funde innerhalb der Tertiärperiode durchzuführen.“

Die Tertiärfloren Südamerikas sind für unsere Untersuchung von allergrößter Bedeutung. Irmischer hat sie soeben zusammenfassend behandelt.²⁾ Die meisten und wichtigsten dieser Floren, nämlich diejenigen von Honda, Loja, Tumbes, Ouricanga, Coronel und der Seymour-Insel sind zwar offenbar spättertiär und sollen weiter unten besprochen werden. Frühtertiär dagegen scheinen die Floren vom Panamakanal und von Punta Arenas, sowie die fossilen Hölzer der Puna de Atacama zu sein.

Die Flora vom Panamakanal wird von Berry, dem sich Irmischer anschließt, für oligozän oder höchstens frühmiozän gehalten. Sie besteht aus 17 Arten, die auf äquatorialen Regenwald schließen lassen und sämtlich zu Gattungen gehören, die noch heute dort oder im tropischen Südamerika heimisch sind. Aus unseren Karten ist zu entnehmen, daß der Äquator gerade im Oligozän oder höchstens Frühmiozän die Gegend des Panamakanals passierte.

Die fossilen Hölzer, die W. Penck in der Puna de Atacama fand, zeigen dagegen sämtlich deutliche Jahresringe und scheinen deshalb außerhalb der Tropen gewachsen zu sein. Ein Pityoxylon glich sehr einem solchen aus dem mittleren Tertiär des Yellowstoneparkes in Nordamerika (Oligozän etwa 36°, Miozän 42°) und gab Anlaß, die Zeit ins mittlere Tertiär zu setzen. Irmischer meint: höchstens Miozän. Die Puna de Atacama lag im Miozän auf 20°, im Oligozän noch auf etwa 32°. Oligozän würde also besser passen als miozän.

Einem noch kühleren Klima scheint die Flora von Punta Arenas

1) A. G. Nathorst, Zur fossilen Flora Japans. Paläont. Abh. von Dames u. Kayser, Bd. IV, S. 48 ff. Berlin 1888.

2) E. Irmischer, Pflanzenverbreitung und Entwicklung der Kontinente. Studien zur genetischen Pflanzengeographie. Mitt. a. d. Inst. f. allg. Botanik in Hamburg, 235 Seiten, 1922.

an der Magellanstraße, insbesondere ihr unterer Teil, die *Fagus*-Stufe, zu entsprechen. Sie enthält die Reste zahlreicher *Fagus*- und *Nothofagus*-Arten, von denen zwei immergrün, alle übrigen aber blattabwerfend sind. Die meisten sind mit heutigen südamerikanischen Arten verwandt, z. B. ist *Nothofagus magellanica* fast identisch mit der heutigen *Nothofagus obliqua*, die aber erst 12° nördlicher vorkommt. In der fossilen Flora kommen auch *Myrtaceen* vor, deren heutige Grenze gleichfalls nördlicher liegt. (Auch die in der höheren „*Araucarien*-Stufe“ zu findenden Pflanzen kommen heute nur weit nördlicher vor.) Zwei *Nothofagen* weisen auch Verwandtschaft mit Tasmanien auf. Und fünf *Nothofagus*-Arten sind als ausgestorben zu betrachten, ein Beweis für ein nicht ganz junges Alter dieser Flora. *Dusén* setzt diese Flora ins Oligozän, die darüber liegende, aber durch zwei marine Horizonte von ihr getrennte *Araucarien*-Stufe in das frühere Miozän, und hebt hervor, daß die beiden Floren eine Wärmezunahme in der Zwischenzeit bezeugen. Diese Wärmezunahme paßt ausgezeichnet zu unseren Annahmen, denn Punta Arenas lag nach unseren Karten im Oligozän auf etwa 59°, im Miozän auf 55° Südbreite, wobei zu berücksichtigen ist, daß das Polarklima damals milder war als heute.

In Afrika ist von besonderer Wichtigkeit die frühtertiäre Flora Ägyptens. *Blankenhorn* schreibt zunächst über die eozäne Flora: „*Engelhardt* konnte nicht weniger als acht meist neue Arten *Ficus*, zwei *Cinnamomum*, zwei *Pterocarpus* und je eine von *Artocarpidium*, *Litsaea*, *Tetranthera*, *Maesa*, *Securidaca*, *Juglans*, *Melastomites*, *Eucalyptus* und *Cassia* bestimmen. Die Lebensbedingungen dieser Flora sind die des indomalayischen Waldgebiets mit einer jährlichen Regenmenge von ca. 2000 mm bei tropischer Wärme.“ Dazu gesellen sich im Oligozän zahlreiche Hölzer, die zwischen Kairo, Sues und dem Bittersee zu finden sind, nämlich *Araucarioxylon*, *Palmoxylen*, *Nicolia*, *Caesalpinium*, *Laurinoxylon*, *Acacioxylon*, *Capparidoxylon*, *Dombeyoxylon*, *Ficoxylon*. „Genannte Baumarten haben die engsten Beziehungen zu heutigen des indisch-australischen Monsungebiets. Sie weisen auf ein Klima tropischer feuchter Urwälder an den (oberen) Ufern des sie verfließenden Urnil hin.“ Noch im Frühmiozän finden sich *Palmoxylen*, *Nicolia*, *Caesalpinium*, *Ficoxylon*. Im Mittelmiozän dagegen entstanden bereits wieder ausgedehnte Gipslager. Daß auch die mit dieser Flora vereinigte Fauna den Schluß auf den Durchgang der äquatorialen Regenzone bestätigt, wird weiter unten gezeigt werden.

Die eozäne Flora Südostaustraliens (Neusüdwales) zeigt nach *v. Ettinghausen* einen temperiert-subtropischen Charakter; im Miozän treten in der Zusammensetzung die Vertreter warmen Klimas etwas mehr zurück. Nach unseren Karten lag Neusüdwales im Eozän auf etwa 30°, im Miozän auf etwa 46° Breite.

Auch die eozäne Flora der Nordinsel Neuseelands war nach demselben Autor gemischt aus gemäßigten und subtropischen Formen. Ihre geographische Breite war nach unserer Karte 45°.

Schließlich seien noch die auf Kerguelen gefundenen Hölzer erwähnt, die alle den beiden Arten *Cupressinoxylon antarcticum* und *Dadoxylon kerguelense* zugesprochen werden. Nach *Irmischer* neigt man zu der Annahme, sie seien frühtertiär. Nach unseren Karten würde miozän besser passen, da die Inseln im Frühtertiär vielleicht zu nahe am Pole lagen, um Baumwuchs zu tragen.

5. Die Tierwelt. In Nordamerika lebten in der früheren Tertiärzeit große pflanzenfressende Säugetiere, wie z. B. in Wyoming der 13 Fuß lange *Dinoceras* oder das 14 Fuß lange und 10 Fuß hohe *Titanotherium*, dessen Gestalt etwa die Mitte zwischen *Rhinozeros* und Elefant hält, ferner die Vorfahren des Pferdes, der Tapir, das *Rhinozeros* u. a., und von diesen wieder lebten große Raubtiere wie *Patriofelis*. Aber den Klimacharakter dieser Fauna zu bestimmen, ist nicht leicht. Wir können nur so viel feststellen, daß sich kein Widerspruch mit unserer Annahme zeigt, nach welcher die Vereinigten Staaten während des Eozäns im wesentlichen in der nördlichen Trockenzone lagen und im Oligozän und Miozän in die gemäßigten Breiten gelangten.

Etwas besser zu deuten ist die frühtertiäre Meeresfauna Nordamerikas. Für die tropische Warmwasserzone sind dabei neben den Riffkorallen für diese Zeit namentlich die Nummuliten kennzeichnend, die eine erstaunlich kurze Existenzzeit im Eozän hatten und deshalb für scharfe Zeitvergleiche besonders wichtig sind. *Neumayr-Uhlig* sowohl wie *v. Zittel* geben an, daß in ganz Westindien im Frühtertiär reicher Korallenriffbau herrschte; *L. Waagen* bemerkt, daß Riffkorallen und Nummuliten in Florida, Mexiko und Westindien vorkommen. Merkwürdigerweise nennt er auch Chile, was sonst nirgends genannt wird und nach unserer Karte auch kaum in Frage kommen dürfte. *Chamberlin* und *Salisbury* geben an, daß im Oligozän die Nummuliten in der Gegend des Panamakanals besonders üppig gediehen, also gerade dort, wo wir den Äquator annehmen. Wesentlich kühler war das Wasser, in dem die eozäne Marinfafa Alaskas lebte. Von tropisch kann hier keine Rede mehr sein. *Dall* nennt sie „subtropisch“ und macht darauf aufmerksam, daß sie in den folgenden Abschnitten wesentlich kälter, im Miozän rein boreal wird.

In Europa bezeugt im Frühtertiär auch die Fauna ein noch heißeres Klima als in Nordamerika. Nach *Steuer* herrschte „in ganz Mitteleuropa tropisches bis subtropisches Klima. Das lehren sowohl die Conchylien- und Wirbeltierfaunen mit Affen, Mastodonten, Krokodilen, großen Schildkröten usw., wie die Floren mit Palmen, Myrten und anderen immergrünen Gewächsen.“ Im Oligozän machte sich jedoch

„in Nordeutschland in den Meeren schon wieder nordischer Einfluß durch das Zurückweichen der Faunen der wärmeren Meere geltend“. Im Eozän Englands sind nach J. Walther die straußähnlichen Laufvögel *Dasornis* und *Megalornis* „als echte Steppenbewohner von Interesse“. England näherte sich nach unserer Karte im Eozän bis auf 15° dem Äquator; im Oligozän lag es schon auf 30° . Nach Semper besteht in den marinen Eozänschichten Belgiens ein Drittel, in denen von Paris die Hälfte der Arten aus tropischen Formen, und es werden dort ungewöhnlich große Conchylien und üppige Nummuliten gefunden. „Die marine Tierwelt des südlichen Eozändistrikts unterscheidet sich, abgesehen von der außerordentlichen Menge der Nummuliten, noch durch eine Reihe anderer Merkmale von der Nordeuropas. Unter den Mollusken fällt die durchschnittlich bedeutendere Größe der südlichen Formen auf. Dazu kommt der außerordentliche Reichtum an See-Igeln, endlich das Auftreten von Riffkorallen, die stellenweise in der südlichen Region massenhaft vorkommen, im Norden aber fehlen oder nur in kümmerlichen Spuren vorhanden sind“ (Neumayr-Uhlig). Korallenriffe wuchsen im Eozän z. B. am ligurischen Apennin in Norditalien (Arlt), und im Oligozän am Nord- und Südrande sowohl der Alpen wie der Pyrenäen (v. Zittel, Neumayr-Uhlig). Eozäne Nummuliten aber sind bekannt aus den Pyrenäen, Frankreich, den Apenninen, Karpathen, Griechenland, der Türkei, der Krim. Semper¹⁾ hat versucht, nach der indischen und atlantischen Verwandtschaft der eozänen Fauna des damaligen Mittelmeeres die Stromrichtung zu bestimmen, und gelangte zu dem interessanten Ergebnis, daß im Eozän der Strom von Osten gekommen, also durch Passat verursacht sei, während sich in späteren Zeiten durch die Zunahme der atlantischen Beziehungen eine Stromrichtung aus Westen und damit der Eintritt des Mittelmeeres in die nördliche Westwindzone feststellen läßt. Er kommt auf diese Weise auf eine eozäne Polverlegung um 20 bis 30° , bezogen auf Europa, was wegen der inzwischen eingetretenen Verkürzung des Alpengebietes gleichbedeutend ist mit 30 bis 40° , bezogen auf Afrika. Wie man sieht, weicht dieser Wert von dem unseren (45°) nicht in unvereinbarer Weise ab.

Die Warmwasserzone läßt sich nach Osten weiterverfolgen. Frühtertiäre Korallenriffe finden sich in Arabien. „Nach Osten setzt sich das breite Gebiet der Nummuliten-Schichten durch ganz Südeuropa, den Kaukasus, Kleinasien, Syrien, Arabien und weiterhin bis in die Ketten des Karakorum und Himalaja fort, es breitet sich im nördlichen

1) Semper, Das paläothermale Problem, speziell die klimatischen Verhältnisse des Eozän in Europa und im Polargebiet. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. **48**, 1896, S. 261.

Teile von Vorderindien bis in den Golf von Bengalen aus und läßt sich von da über Java und Sumatra bis Borneo und nach den Philippinen verfolgen“ (Neumayr-Uhlig). Chamberlin und Salisbury nennen auch Persien, Belutschistan, China und sogar Japan, Arldt auch Neukaledonien und die Neuen Hebriden. „Gegen Norden schließen sich an dieses zentrale Mittelmeer einige Ausläufer an, die buchtenartig in das feste Land eingegriffen zu haben scheinen, denen aber, ihrer nördlicheren Lage entsprechend, die massenhaften Nummuliten der südlichen Entwicklung fehlen. Hierher gehören die eozänen Schichten in Südrußland und die fossilreichen Ablagerungen Zentralasiens, die nach den Forschungen von Muschketow und Romanowsky in den Pamir und im Tienschan sehr verbreitet zu sein scheinen“ (Neumayr-Uhlig).

In Südamerika sind von den argentinischen Geologen frühtertiäre Säugetiere gefunden worden, namentlich *Pyrotherium*, *Notostylops* und *Leontinia*. Nach Wilckens sind diese Schichten eozän und oligozän. Diese Fauna scheint eine frühtertiäre Überschwemmung mit Inlandeis auszuschließen, wenn sie auch anscheinend nicht so reich ist wie diejenige im Spättertiär und Frühquartär. Was die Meeresfauna betrifft, so gehen nach Arldt die eozänen Nummuliten an der Westküste bis Ecuador (auf unserer Karte 30° Südbreite) nach Süden. Nach Neumayr-Uhlig finden sich in Chile auf heute 35° Südbreite unter den frühtertiären und miozänen Meeresfossilien keine, die auf größere Wärme als die heutige schließen lassen. Auf unserer Eozänkarte liegt diese Gegend auf 55°, auf der Miozänkarte wie heute auf 35° Breite, während die Breite im Spättertiär wesentlich geringer wird.

In Afrika ist vor allem die frühtertiäre Fauna Ägyptens bemerkenswert. Im Oligozän lebte hier eine reiche Tierwelt von Proboscidiern, Hyracoiden, usw. Es finden sich nach Blaukenhorn dort Knochenlager, aus denen man die Reste von Krokodilen, Schildkröten und zahlreichen Säugetieren, darunter drei Affen, hat feststellen können. Darüber liegen Schichten, die für frühmiozän angesprochen werden; „Knochen von riesigen Anthracotheriden, Rhinocerotiden und anderen Säugetieren liegen hier neben Platten von fossilen Krokodilen und Schildkröten“. Diese Fauna bestätigt das aus der fossilen Flora und den Schieferkohlen abgeleitete Ergebnis, daß im nördlichen Ägypten der Durchgang der äquatorialen Regenzone im Oligozän stattfand.

Auch die frühtertiäre Meeresfauna Ägyptens stimmt hiermit überein. Denn *Nummulites gizehensis*, dessen zahllose Gehäuse das Material der Bausteine für die Pyramiden gebildet haben, erreichte eine ungewöhnliche Größe: Durchmesser von 5 bis 6 cm sind sehr häufig, und gelegentlich kommt sogar das Doppelte vor (Neumayr-Uhlig). Nach Arldt gehen die eozänen Nummuliten an der West-

küste Afrikas bis zum Senegal (damals 17° S.) nach Süden, an der Ostküste aber sollen sie erstaunlicherweise bis Madagaskar und Mozambique reichen. Diese Gegend lag im Eozän auf etwa 60° Südbreite. Es muß allerdings daran erinnert werden, daß auch schon in der Kreide zu bemerken war, daß sich die Formen des äquatorialen Mittelmeeres hier, wenn auch verkrüppelt, auffallend weit nach dem Pol hin verbreitet hatten, so daß man wohl hier eine besonders starke Abweichung von der rein zonalen Anordnung annehmen darf. Dennoch möchten wir Zweifel wagen, ob die Nummuliten auf Madagaskar und in Mozambique nach ihrer Massenhaftigkeit und Größe denjenigen der Äquatorzone gleichgestellt werden können. Übrigens war die geographische Breite hier im Frühtertiär schnell im Abnehmen. Schon im Oligozän, wo auch sonst noch Nachzügler des Nummulitenheeres gefunden werden, darf man die Breite zu 50° schätzen.

— Die Gesamtheit der frühtertiären Klimazeugen führt zu einer Lage des Nordpols im Eozän bei 45° Nord, 160° West, und einer entsprechenden Lage des Südpols bei 45° Süd, 20° Ost, wie in Fig. 14 dargestellt.

B. Das Spätertertiär (Miozän und Pliozän)

1. Eis. Im Miozän finden wir zum ersten Male seit dem Kambrium wieder Eisspuren aus dem nördlichen Polargebiet, und zwar einerseits in Form von Grundmoränen und Tilliten auf Alaska, und andererseits in noch heute erhaltenen Eisresten auf Alaska, in Nordostsibirien und auf den Neusibirischen Inseln (vgl. Fig. 16 S. 118). Das Miozän war eben die erste Zeit seit dem Kambrium, in welcher sich die Nordpolarzone wieder auf kontinentales Gebiet verlegte.

Die Angaben über die miozänen Tillite entnehmen wir einem Referat von Stephan Richarz über die klimatischen Verhältnisse Alaskas.¹⁾ Er erwähnt zuerst, daß nach Dalls Untersuchungen die miozäne Meeresfauna von Alaska einem viel kälteren Klima entspricht, als im Eozän, und im Pliozän sogar bis zum Staate Washington hinab borealen Charakter hat, um im Quartär wieder wärmer zu werden. „In voller Übereinstimmung mit diesen biologischen Argumenten für die Pollage steht die Entdeckung von zweifellos glazialen Ablagerungen durch Capps, die sicher bedeutend älter sind als die noch frischen Überreste einer Vergletscherung, die später von den Hochgebirgen Alaskas ausging. Capps studierte das Gebiet des oberen White River, der gespeist wird vom Russell-Gletscher (nördlich vom St. Elias), und fand dort ein gut aufgeschlossenes altglaziales Profil. Nicht verfestigte

1) Stephan Richarz, Eine tertiäre Vergletscherung Alaskas und die Polwanderung. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Mon.-Ber. 74, 1922, S 180—190.

Gerölle mit wenigen weichen Tonschiefern und etwas Sandstein treten in häufiger Wechsellagerung auf mit Geschiebemergeln, die durch ihr ganzes Aussehen und durch zahlreiche geschrammte Geschiebe zweifellos auf glazialen Ursprung hinweisen. Sie sind verfestigt, so daß sie bei Verwitterung der Gesamtmasse in Streifenform stehen bleiben. Capps nennt sie deshalb Tillite. Das studierte Profil hat eine Mächtigkeit von fast 1000 m, vereinzelte Funde an anderen Stellen weisen jedoch auf eine noch größere Mächtigkeit der Gesamtablagerungen hin. Die Schichten fallen 55 bis 60° nach Osten. 10 km weiter in dieser Richtung findet man dieselben Tillite in horizontaler Lage.“

„Nach Capps sind diese Bildungen ‚viel älter als die Moränen, welche beim letzten Vorschub des Eises der Gebirgsgletscher zurückgeblieben Es ist kein positiver Beweis vorhanden, daß diese Ablagerungen quartär sind. Sie mögen älter sein, aber der Verfasser ist geneigt, sie der großen Vergletscherungsperiode im Pleistozän zuzuschreiben‘. Stellen wir sie ins Jungtertiär, Obermiozän oder Unterpliozän, so paßt diese Vergletscherung gut in die Vorstellungen, die wir uns nach den Fossilien vom jungtertiären Klima Alaskas machten.“

„Diese Annahme findet eine gute Stütze in der so bedeutenden Aufrichtung der Glazialschichten. Zwar ist das Alter der letzten Gebirgsfaltung in jenen Gegenden noch nicht genau festgestellt. Doch beobachtete Schrader pliozäne Ablagerungen mit borealer Fauna (nach Dall) in horizontaler Lage, und das Plioizän der Coast Range liegt diskordant auf dem Miozän, welches letzteres sehr stark gestört ist, so daß die Faltung zwischen Miozän und Plioizän stattfinden mußte . . . [Es folgen noch mehrere weitere Belege dafür.] Junge Hebungen sind in Alaska zweifellos nachgewiesen, da man am St. Elias junge marine Ablagerungen 1500 m hoch fand, die wahrscheinlich dem jüngsten Plioizän angehören. Faltungen aber aus so später Zeit sind unbekannt.“

„Aus all dem geht mit großer Wahrscheinlichkeit hervor, daß die glazialen Ablagerungen im oberen White River mit einem Schichtfallen bis 60° schon am Ende des Miozän vorhanden waren und aufgerichtet wurden.“

„In derselben Richtung weisen ältere Beobachtungen, welche Spurr an der Ostküste der Nushagak Bay (Bristol Bay, Alaska) machte. Er fand dort Gerölle, grobe Sande und Tone, gefaltet und anderweitig gestört, mit Geschieben von sehr mannigfaltiger Herkunft, unter denen sich manche geschrammte befanden. Dall bestimmte aus diesen Ablagerungen Fossilien, die auf Miozän hinweisen. Über diesen alten Glazialablagerungen liegen dann diskordant geschichtete Tone und Gerölle, ebenfalls glazialen Ursprungs Es ist zu hoffen, daß bei weiterer Durchforschung Alaskas mehrere derartige Profile bekannt werden, besonders wenn man einmal die bisher fast selbstverständliche

Voraussetzung aufgibt, daß alle Glazialerscheinungen diluvial sein müssen.“ Als Ergänzung zu diesen Ausführungen diene noch die Bemerkung L. Waagens, daß auch nach Russell die Hauptfaltung des Eliasgebirges erst nach der Vereisung des Landes stattfand, da deren Ablagerungen mitgefaltet wurden.

Wir sind aber, wie schon erwähnt, der Ansicht, daß auch die merkwürdigen Inlandeisreste, das fossile „Steineis“ von Alaska und Nordostsibirien tertiären Alters sind. Es mag überraschen, daß dies Eis seit der Miozänzeit nicht geschmolzen sein sollte; im gegenwärtigen Zustande ist es da, wo wir es kennen, in ziemlich schneller Zerstörung. Allein die Bloßlegung, durch welche die Zerstörung eingeleitet wird, stammt wohl allgemein aus recht neuer Zeit. Die Neusibirischen Inseln müssen nach Toll und Bunge noch zur Mammutzeit unter sich und mit dem Festlande zusammengehangen haben und wurden erst später vom Meere zerrissen. Wo das Eis aber mit einer meterdicken Erdschicht bedeckt ist, vermag ihm die Sommerwärme nichts mehr anzuhaben, und wenn nur die Jahresmitteltemperatur weit genug unter Null liegt, um bei der vorhandenen geothermischen Tiefenstufe die Nullgrad-Isothermenfläche unterhalb der Basis des Eises zu halten, so verhält sich das Eis, worin alle Kenner der Frage übereinstimmen, wie jede andere Felsart und ist unbegrenzt haltbar. Bei einer Jahresmitteltemperatur von -17° kann daher eine genügend stark bedeckte Eismasse von mehreren Hundert Metern Mächtigkeit erhalten bleiben, ohne daß weder von oben noch von unten Verluste durch Abschmelzung eintreten. Das schützende Material, mit dem diese Eismassen rechtzeitig bedeckt wurden, kann wohl zum allergrößten Teil nur aus inneren Moränenschichten stammen, wenn auch der Windtransport hier und da vielleicht etwas mitgewirkt haben mag. Nach den Erfahrungen, die man am Rande des grönländischen Inlandeises, des Vatna-Jökel und des Malaspina-Gletschers gemacht hat, sind die randlichen Partien des Eises an manchen Stellen durchsetzt mit horizontalen Moränenschichten, die mit dickeren oder dünneren Schichten reinen Gletschereises wechsellagern. Diese internen Moränenschichten sind vermutlich in den zentralen Regionen, über welchen das Eis größere Mächtigkeit hatte, vom Boden aufgenommen und auf die unteren Randpartien, zum Teil wohl auch schräg aufwärts, hinaufgeschoben worden. Bei der Abschmelzung des Eises häuft sich das Material dieser inneren Moränenschichten an der Oberfläche an und bildet schließlich eine schützende Decke, welche imstande ist, die darunterliegenden Eisschichten der Abschmelzung zu entziehen.¹⁾

1) Auch von dem quartären Inlandeise Südfinnlands scheinen nach neueren Beobachtungen noch vereinzelte Reste unter einer schützenden Decke von Moränen oder Schottern erhalten zu sein, was besonders beachtenswert deshalb ist, weil hier die

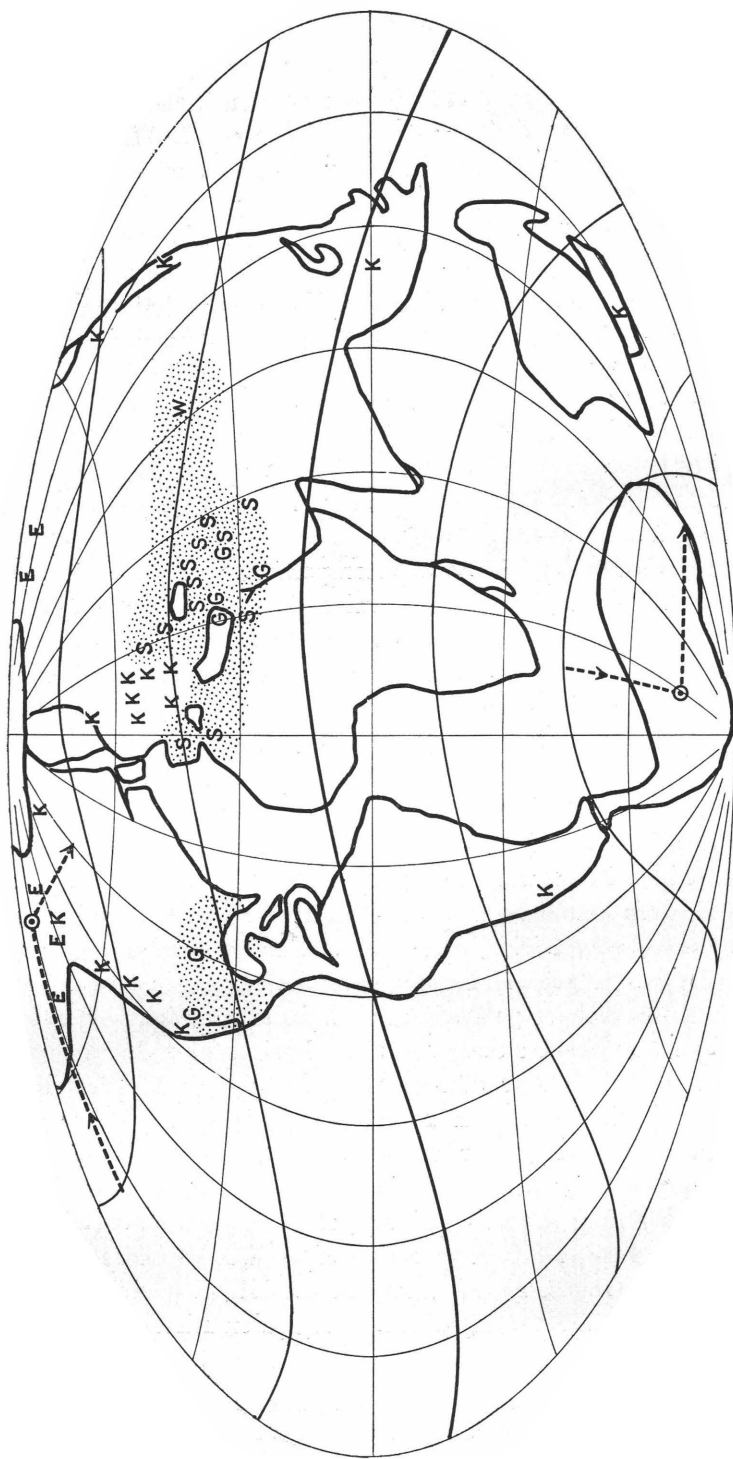


Fig. 15. Eis, Moore und Wüsten im Miozän
(E Eis, K Kohle, S Salz, G Gips, W Wüstensandstein, punktierte Räume: Trockengebiete)

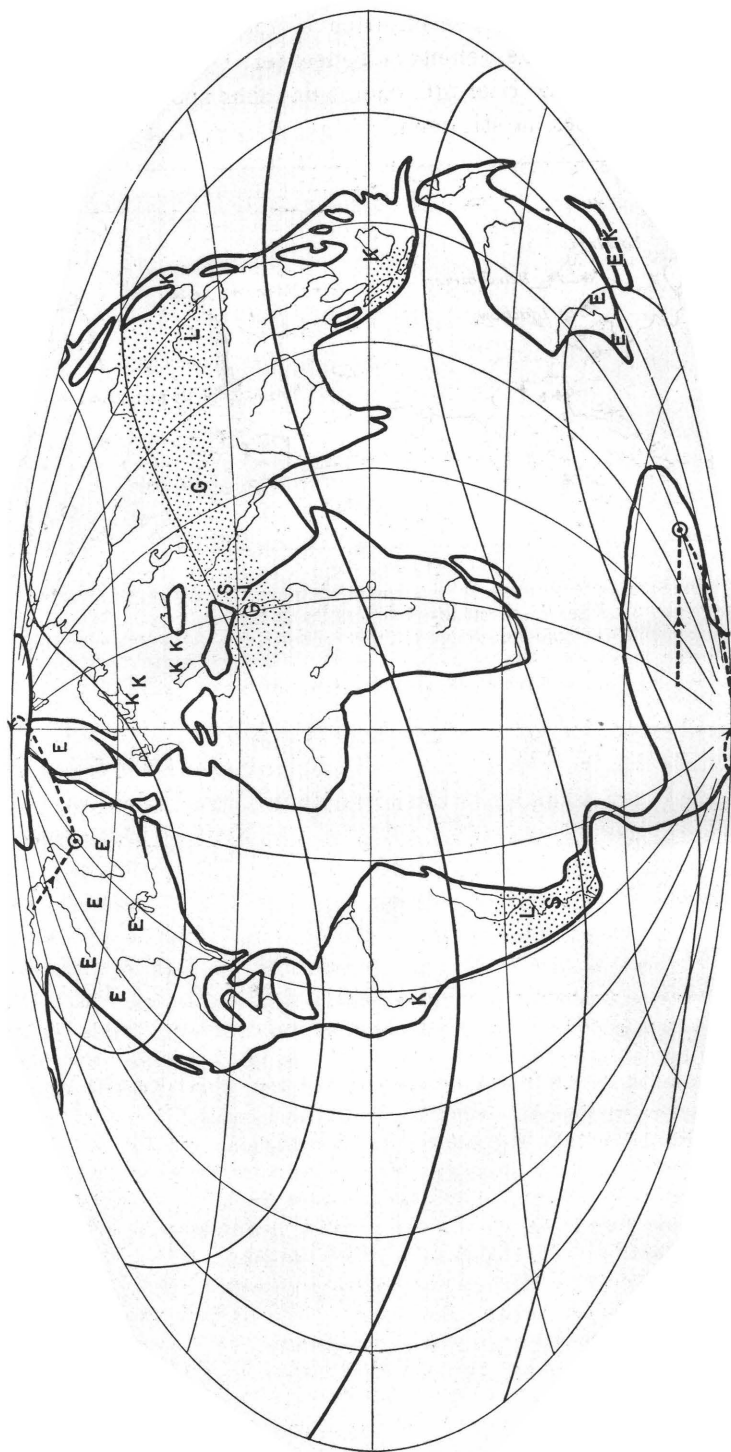


Fig. 19. Eis, Moore und Wüsten im Pliozän und Früh-Quartär
(E Eis, K Kohle, S Salz, G Gips, L Löß; punktierte Räume: Trockengebiete)

Aus dem Gesagten geht hervor, daß von einer ehemaligen Inland-eiskappe nur sehr kleine Teile erhalten bleiben können, und daß wohl auf dem größten Teil des ehemals bedeckten Gebietes keine Eisreste mehr zu erwarten sind. Hiermit scheint das sehr sporadische Auftreten des fossilen Steineises zu stimmen.

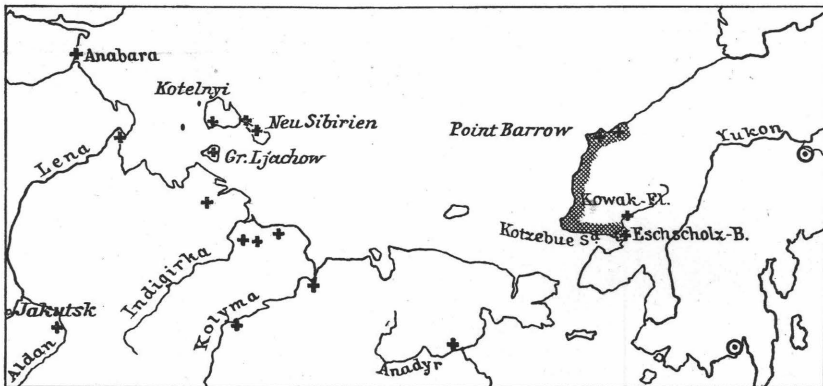


Fig. 16. Fundorte des fossilen Steineises
(Die einzelnen Orte sind durch Kreuze bezeichnet, die zusammenhängende Fundstrecke zwischen Eschscholtz-Bay und Point Barrow durch Schraffur, die miozänen Tillite durch Kreise)

Am frühesten bekannt, nämlich durch Kotzebue und Chamisso, wurde das Steineis an der Eschscholtz-Bai auf Alaska, welches später von Dall eingehender beschrieben ist.¹⁾ Diese Eisbildung reicht,

Jahresmitteltemperatur jetzt so hoch ist, daß ein wenn auch geringes Abschmelzen unausgesetzt stattfinden muß. J. Keränen (Über den Bodenfrost in Finnland. Mitt. d. Met. Zentralanst. d. finn. Staates, Helsinki 1923, S. 35) schreibt darüber:

„Leiwiskä (Fossiles Eis in einem fluvioglazialen Hügel unweit von Åbo. Zeitschr. f. Gletscherk. 8, 1914, S. 209—225. Finnisch in den Verh. d. Finn. Ak. der Wiss. 1914) hat etwa anderthalb Kilometer nordöstlich von Turku (Åbo) in einer Kiesgrube rund 22 m unterhalb der Oberfläche eines fluvioglazialen Hügels eine mächtige, Steine enthaltende Eisschicht von etwa 45 m Länge und 3 m Dicke näher studiert. Die Grube ist kürzlich in der Weise entstanden, daß dem Hügel Kies für den Eisenbahnbau entnommen worden ist. Beim Kiestransport haben die Arbeiter schon fünf Jahre vor der im Jahre 1913 stattgefundenen Untersuchung von Leiwiskä diese Eisschicht angetroffen, und mit dem Kies ist auch von der Eisschicht Material weggenommen worden, z. B. im Jahre 1913 etwa 16—20 m breit . . . In der Nähe der Oberfläche war eine Tonschicht, die das Eis vor dem Regenwasser geschützt hat, da das Wasser größtenteils die Abhänge des Hügels entlang auf der Tonschicht abfließen muß . . . Im Jahre 1922 ist eine andere gleichartige Eisschicht in Suojärvi beim Eisenbahnbau gefunden worden, aber davon haben wir noch nicht nähere Nachrichten.“ — Die Jahresmitteltemperatur dieser Gegend ist +4°, die Seehöhe der Fundorte ist nicht erwähnt, kann aber nur gering sein.

1) A. Penck, Die Eismassen der Eschscholtz-Bai. Deutsche Geogr. Blätter IV, S. 174—189. Bremen 1881. — Hann, Handb. d. Klimatol. III, S. 650. — E. Sueß, Antlitz der Erde II, 616. — Kreichgauer, Die Äquatorfrage in der Geologie, S. 340. Steyl 1902.

wohl mit Unterbrechungen, an der Nordküste Alaskas ostwärts bis 149° westlicher Länge, und an der Westküste bis zum Kotzebue-Sund nach Süden, wo sie in der genannten Eschscholtz-Bai und am Kowak-Flusse gefunden wird (vgl. Fig. 16). E. Sueß beschreibt diese fossilen Inlandeisreste bei Point Barrow wie folgt: „Uraltes Eis, welches die Merkmale einer selbständigen Felsart annimmt, reicht mit Unterbrechungen nördlich bis Point Barrow ($71\frac{1}{4}^{\circ}$ nördlicher Breite, 204° östlicher Länge), östlich bis Return Reef, wo die Eislage etwa 6 Fuß über dem Meere beginnt, und südlich bis Icy Cape ($70\frac{1}{2}^{\circ}$ N, 198° O) und in einzelnen Vorkommnissen bis in die Kotzebue-Bucht (zum Polarkreis) herab. Es ist nicht gefrorener Boden, sondern in der Tat Eis, doch nicht blaugrün wie Gletschereis, sondern unrein, öfters von geschichtetem Aussehen, wohl auch gelblich, wie von Torfwasser.“

Aus Sibirien ist das fossile Steineis namentlich durch die Beschreibung von Baron E. v. Toll bekannt geworden, der auch interessante Abbildungen veröffentlichte.¹⁾ Er untersuchte namentlich die Vorkommen auf den Neusibirischen Inseln, wo es auf der südlichsten von ihnen, der Großen Ljachow-Insel, sowie auf der Insel Neusibirien und Kotelnj vorkommt. An der Ostseite der letzteren bildet es den Boden des Blagoweschtschenski-Sundes. Die Kornstruktur mit Luftblasen beweist nach Toll, daß es aus Schnee entstandenes Gletschereis ist.

Auf dem Festlande finden sich entsprechende Erscheinungen im äußersten Nordosten nördlich der Mündung des Anadyr, wo sie von Baron G. Maydell untersucht wurden. Derselbe Forscher beschrieb auch die Vorkommen nahe der sibirischen Nordküste auf etwa 152° und 153° östlicher Länge, etwa 100 km landeinwärts. Baron Wrangell hatte schon früher etwas östlich davon, nahe der Küste auf 156° östlicher Länge, und auf 161° , 200 km südlich der Mündung der Kolyma, am Bolschoj Anjui mehrere solche Vorkommen gefunden. Bunge untersuchte ein anderes Vorkommen am Ostrande des Lena-Deltas, unmittelbar am Meere, das schon 1806 von Adams als erstes dieser Art entdeckt worden war. Toll untersuchte 1893 ein weiteres Beispiel an der Küste in der Nähe des Anabara-Busens, wo er unter dem Eise eine Moräne mit gekritztem Geschiebe fand.

Auf dem Festlande wurde ferner südlich der Neusibirischen Inseln

1) Die russische Polarfahrt der „Sarja“ 1900—1902, aus den hinterlassenen Tagebüchern von Baron Eduard von Toll, herausgeg. von Baronin Emmy von Toll. Berlin 1909. — Ferner verschiedene Abhandlungen (in deutscher Sprache) von E. von Toll in Mém. Acad. I St. Pbg.; VII sér. T. 37, Nr. 5; T. 42, Nr. 13; VIII sér., T. 9, Nr. 1. — Ferner in russischer Sprache: Toll, die fossilen Gletscher der Neusibirischen Inseln, ihr Verhältnis zu den Mammutleichen und zur Eiszeit; auf Grund der Arbeiten zweier Expeditionen der Akademie der Wiss. 1885—86 und 1893 (1897 als Bd. 32, Nr. 1 der „Sapiski“ der K. Russ. Geogr. Ges. erschienen).

am Bor-Uräch östlich von Ustjansk bei der Ausgrabung eines Mammuts unter Wechselschichten von Eis und Lehm 14 m dickes reines Eis gefunden, das nach unserer Ansicht gleicher Entstehung sein muß, obwohl es Toll für Flußeis, sogenanntes Aufeis, hält. Östlich von Jakutsk bei Amginsk hatte schon M i d d e n d o r f f in einem Bergwerk

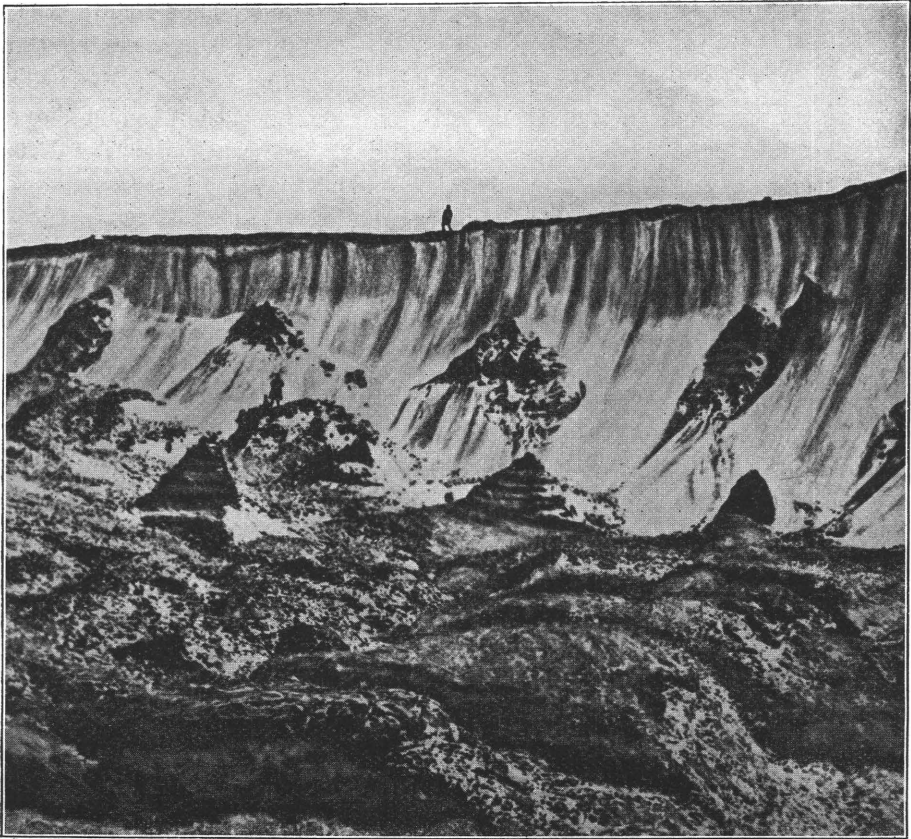


Fig. 17. Schmelzender Rand des Steineises auf der Insel Gr.-Ljachow östlich von Wanjkin Stan. Im Vordergrund Erdkegel

8 Fuß unter der Oberfläche reines Eis von 3 bis 12 Fuß Dicke gefunden; auch dies kann nach unserer Ansicht keine andere Entstehung gehabt haben als durch Inlandeis. Das von Herz und Pfizenmayer 1901 im Gebiet der mittleren Kolyma ausgegrabene Mammut lag gleichfalls in einer Grube in derartigem Steineis, offenbar einer alten Gletscherspalte, in die es hineingestürzt ist; große Massen gefrorenen Blutes zeugten von schweren Verletzungen, die es beim Sturz erlitten.¹⁾

1) Für die von F. Nansen (Sibirien ein Zukunftsland, S. 333. Leipzig 1914) geäußerte Vermutung, daß solche unterirdischen Eisschichten durch Sublimation ent-

Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß dieses Steineis die Reste einer großen Inlandeiskappe darstellt, die ganz Nordostsibirien und Alaska bedeckte.

Fig. 17 haben wir aus einer Reihe von ähnlichen Photographien ausgewählt, die Toll von den Küsten der Großen Ljachow-Insel in den „Sapiski“ beibringt. Den Vordergrund nehmen die durch abgestürzte Massen der Deckschicht von Erde und Torf vor weiterem Schmelzen geschützten Eishügel ein, auf deren einem ein Mann steht.

Fig. 18 gibt aus derselben Quelle eine Zeichnung von Baron G. Maydell wieder, die er 1870 von den schon erwähnten Eisklippen am Schandron zwischen Indigirka und Alaseja, 100 km vom Meere entworfen hat. Sie zeigt besonders deutlich das Abschmelzen dieser jetzt

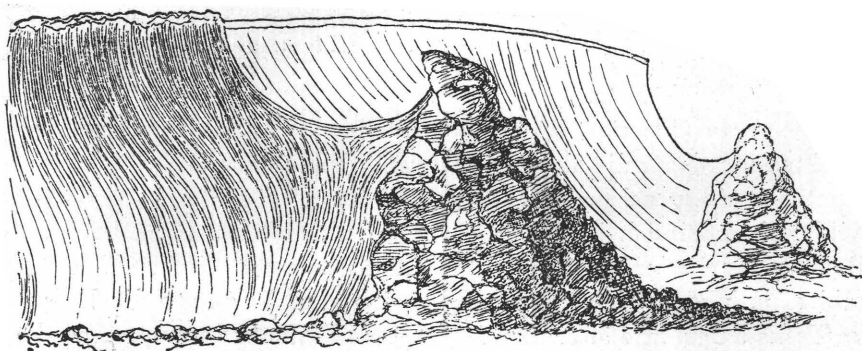


Fig. 18. Schmelzender Rand des Steineises zwischen Indigirka und Alaseja.
Zwei Erdkegel durch schmale Eisgrate mit der Eismasse verbunden

bloßliegenden Eisschichten. Die beiden Schuttkegel sind offenbar am Eisrande entstanden, der dann so weit von ihnen zurückgewichen ist, daß er nur durch zwei scharfe Kämme mit ihnen verbunden ist.

Die natürlichen Aufschlüsse des Steineises haben meist mehr oder weniger diese Form, wenn auch oft die Wand nicht senkrecht ist. Die Eiswand kann 10 bis 30 m hoch sein. Das Eis enthält Luftblasen wie jedes Gletschereis und ist vielfach mit Moränenschichten durchzogen. In der schon ausgeschmolzenen Deckschicht finden sich auch gekritzte Geschiebe, ebenso wie in der darunterliegenden Moränenschicht.

Das miozäne Alter dieser Eismassen läßt sich direkt nicht beweisen. In der Deckschicht finden sich auf den Neusibirischen Inseln neben den Resten typisch quartärer Tiere auch hochstämmige Erlen und Birken, weit nördlich der heutigen Baumgrenze. Das Quartär

standen sein könnten, läßt sich wohl kaum eine hinreichende physikalische Begründung geben. Für die am besten bekannten Vorkommen auf den Neusibirischen Inseln und den benachbarten Festlandsküsten, sowie auf Alaska erscheint durchaus nur die Deutung als Reste eines Inlandeises möglich

war also hier eine warme Zeit, und das Eis muß älter sein. Außerhalb des Eises liegen Tertiärschichten mit großen Holzansammlungen, teilweise noch mit aufrechtstehenden Stämmen, die wie alle tertiären Waldfluren der Nordpolargebiete von Schmalhausen als miozän bezeichnet wurden, aber sicherlich eozän sind. *Sequoia Langsdorffii*, deren Früchte sich in Menge finden, ist für Eozän ebenso charakteristisch wie für Miozän. Ist diese Deutung richtig, so erscheint das Steineis also eingeschlossen zwischen Eozän und Quartär. Nach unseren Karten lagen diese Gegenden im Miozän dem Nordpol am nächsten, um sich dann wieder zu entfernen und am Schlusse des Pliozäns oder Beginn des Quartärs ihren größten Polabstand zu erreichen. Daß sie eine Zeit größerer Wärme als heute durchgemacht haben, bezeugt in der Tat nicht nur das Vorkommen hochstämmiger Bäume jenseits der heutigen Baumgrenze, sondern auch der Umstand, daß das Steineis nirgends mehr die Mächtigkeit hat, die es nach den heutigen Jahresmitteltemperaturen haben könnte.

Auch im Pliozän lassen sich Eisspuren nachweisen, und zwar möchten wir dafür die ältesten Eisspuren Kanadas und der Vereinigten Staaten in Anspruch nehmen (vgl. Fig. 19 auf S. 117). Auch Grönland wird wahrscheinlich im Pliozän bereits Inlandeis getragen haben. Die Beweise für diesen tertiären Anteil der nordamerikanischen Eiszeit sind zahlreich. Wie L. Waagen bemerkt, sind nach Leconte die Eisspuren im Kaskadengebirge älter als die jüngsten Faltenbewegungen, an denen sie teilgenommen haben. Diese Faltung hält man aber für spättertiär. Ferner rückte die Vereisung von Westen nach Osten vor. Während im Osten die vom Eise abgeschliffenen Felsen und die Moränen noch ganz frisch aussehen, kostete es in Columbien Mühe, das Inlandeis sicher nachzuweisen, und es sind bisher dort nur kurze Stücke der Endmoräne gefunden worden. Der Vergleich der Reihenfolge der europäischen und amerikanischen Eiszeiten zeigt, wie später eingehend zu begründen ist, daß die ältesten amerikanischen Vereisungen vor der ersten europäischen stattgefunden haben müssen. Ein Vergleich der Faunen führt zu demselben Ergebnis. Man hat in Europa wie in Nordamerika die Tierwelt des „Quartärs“ in 3 Abschnitte zu teilen versucht, die als früh-, mittel- und spätquartär einen Begriff von dem Faunenwechsel geben sollen. Wie diese Faunen sich über die verschiedenen Interglazialzeiten, namentlich die fünf amerikanischen, verteilen, vermögen wir nicht anzugeben. Aber es ist sehr bezeichnend, daß nur die spätesten Abschnitte zueinander passen, und der älteste amerikanische Abschnitt lauter Formen enthält, die in Europa noch für tertiär gelten. E. Kayser kennzeichnet den Inhalt dieser Faunen folgendermaßen:

Nordamerika

Europa

1. Mylodon-Camelus-Fauna:
Besonders kennzeichnend sind
„tertiäre Nachzügler“. *Machaerodus*,
Mylodonten, *Lamas*, *Kamele*,
Mastodonten, der riesige *Elephas*
imperator, *Equus Scotti*.

2. *Megalonyx*-Fauna: Riesen-
faultiere (*Megalonyx*, *Mylodon*),
Elephas Columbi, *Mastodon*, ver-
schiedene Pferde (*Equus pectina-*
tus usw.), aber noch keine ark-
tischen und keine Tundrenformen.

3. *Ovibos*-*Rangifer*-Fauna:
Moschusochse, *Rentier*, *Mammut*,
Lemming, *Mastodon*, *Pferde*.

1. Antiquus-Zeit: *Elephas an-*
tiquus (auch noch in 2), *Hippo-*
potamus, *Rhinoceros etruscus*, *Ma-*
chaerodus, *Equus Stenomus*, *Tro-*
gontherium.

2. Primigenius-Zeit: *Elephas*
primigenius (*Mammut*), *Rhinoce-*
ros antiquitatis, *Ursus spelaeus*,
Equus caballus fossilis, *Hyaena*
spelaea, *Megaceros giganteus*, *Bos*
primigenius, *Bison priscus*.

3. Rentier-Zeit: *Rangifer*,
tarandus, *Pferd*, anfangs auch
noch *Mammut*, wollhaariges *Rhi-*
noceros, *Höhlenbär*.

Mastodon, in Europa schon zu Beginn des Quartärs ausgestorben, ist in Nordamerika noch in allen drei Faunen vorhanden. Das *Mammut*, das Leitfossil der mittleren europäischen Fauna, tritt in Nordamerika erst in der 3. Fauna auf. Was sollte aber dieses Tier, das große Räume beherrschte und an Kälte angepaßt war, veranlaßt haben, Amerika so lange zu meiden? Es ist viel wahrscheinlicher, daß die Nichtübereinstimmung der älteren Quartärfaunen durch einen Zeitunterschied verursacht ist. Nur die dritten Faunen können gleichzeitig gelebt haben. Unter den amerikanischen fossilen Pferdearten findet sich auch das dreizehige *Hipparion*, das in Europa, Asien und Afrika seit dem mittleren Spättertiär ausgestorben erscheint. Ein Teil der ältesten nordamerikanischen Fauna stammt aus Südamerika und muß also über die Landenge von Panama gewandert sein, die sich bereits im Eozän über das Meer erhob. Die ersten Auswanderer von Nord werden in der Tat in diese Zeit gesetzt, die ersten von Süd aber finden wir in den nordamerikanischen Glazialschichten.

Im pliozänen Crag an der Ostküste von England hat man Anzeichen für vorherrschenden Ostwind gefunden; es ist wohl nicht ausgeschlossen, daß dieser Ostwind mit der Antizyklone in Verbindung zu

bringen ist, die über dem Inlandeis des damals benachbarten Nordamerika gelegen haben muß.

Diese Gründe für ein tertiäres Alter der älteren nordamerikanischen Eisspuren sind, soweit bekannt, bisher nur von sehr vereinzelt Autoren, wie L. Waagen und Kreichgauer, betont worden, während die Mehrzahl der Forscher noch heute sämtliche Glazialerscheinungen in das Quartär setzt, wie uns scheint, sehr mit Unrecht.

— In Südamerika gibt es keine tertiäre Vereisung, das Spättertiär ist hier vielmehr eine Wärmeperiode.

Nach P. Marshall soll die einst stärkere Vergletscherung der Neuseeländischen Gebirge nach dem Urteil einiger Autoren schon am Schluß der Tertiärzeit eingesetzt haben. Marshall hält diese Ansicht allerdings nicht für ausreichend begründet. Nach unseren Annahmen müßte das Frühquartär die kälteste Zeit für Australien und Neuseeland gewesen sein.

2. Kohle. In Nordamerika finden sich an zahlreichen Stellen spättertiäre Kohlen, meist Lignite. So auf Alaska am Yukon, auf den arktischen Inseln und in British-Columbien. Auch die Vereinigten Staaten haben nach Blackwelder spättertiäre Kohle an verschiedenen Punkten der westlichen Staaten, und Frech gibt „wahrscheinlich miozäne“ Lignite in den nördlichen Rocky Mountains und der kalifornischen Küstenkette an.

Schon früher genannt waren die von Bögild bzw. O. Nordenskjöld nur als „tertiär“ bezeichneten Kohlen von West- und Ostgrönland, sowie Spitzbergen. An letzterem Orte sind gerade die tertiären Kohlen diejenigen, welche ausgebeutet werden. Man ist geneigt, sie als gleichaltrig mit den tertiären Kohlen Islands zu betrachten, die nach Pjeturss wahrscheinlich miozänen Alters sind, so daß man vielleicht gut tut, alle diese Kohlenbildungen einstweilen als spät- oder höchstens mitteltertiär zu bezeichnen, in welcher Zeit sie auch nach den übrigen Klimazeugnissen besser motiviert erscheinen als etwa im Eozän, wo Grönland unter etwa 30° Breite lag.

In Europa, wo die spättertiären Kohlen als Braunkohlen ausgebildet sind, finden wir ganz Deutschland mit ihnen bedeckt. So sind Mioänkohlen bekannt aus Ost- und Westpreußen, Pommern, Mecklenburg, der Mark (Arlt), Posen (im „Posener Ton“), Oberschlesien, Sachsen, Thüringen, Hessen (Walther), in der Wetterau und am Vogelsberg (Arlt) und am Niederrhein, wo in der Bonn-Kölner Rheinbucht die miozäne Kohlenformation über 180 m Mächtigkeit erreicht. Und auch außerhalb Deutschlands findet sich miozäne Kohle in Böhmen, Niederösterreich (L. Waagen), bei Wien (Arlt), in den Ostalpen (Heritsch), und auch in der italienischen Provinz Toscana (Arlt), und in Bosnien (Schubert).

Aus Dalmatien, Kroatien und der Herzegowina wird nur von „spättertiären“ Kohlen berichtet (Schubert).

Als pliozän dagegen finden wir angegeben Kohlen in der Lausitz, wo Frostspuren an Buchenblättern nachweisbar sind (Neumayr-Uhlig), in Posen, an der Fulda und Werra (Arlt), bei Aschaffenburg im Spessart, wo ein 12 m mächtiges Flöz im Tagebau abgebaut wird, bei Düren und Linnich, wo Flöze von 3 bis 25 m Dicke erbohrt sind (Walther), ferner auch in Bosnien und Bulgarien (Frech).

Natürlich kann diese Aufzählung keinen Anspruch auf nur annähernde Vollständigkeit erheben. Gerade über die tertiären Braunkohlenvorkommen wird in den Lehrbüchern stets nur sehr unvollständig berichtet.

Daß die angeblich miozänen, teilweise als frühmiozän bezeichneten Kohlen in Kleinasien und Nordpersien wahrscheinlich in das Frühtertiär zu stellen sind, ist schon weiter oben besprochen worden, so daß wir diese Vorkommen hier übergehen können.

Gleichfalls schon erwähnt sind die nur als „tertiär“ bezeichneten Kohlen im übrigen Asien, nämlich am Jenissei-Strom ohne nähere Ortsangabe, in der Amurprovinz, in Nordsachalin, im Südussurigebiet, in der Mandschurei, in Südchina und auf den Philippinen. Bei diesen Vorkommen bleibt es meist ungewiß, ob sie zum Früh- oder Spättertiär zu rechnen sind; nur für die Kohlen von Sachalin gibt Kukuk miozänes Alter an. Für Japan wird ausdrücklich Kohlenbildung sowohl miozänen wie pliozänen Alters angegeben, und auch auf den Sunda-Inseln haben wir nach Angabe holländischer Geologen auch im Spättertiär Kohlenbildung. Volz erwähnt hier insbesondere frühpliozäne Kohlen auf Sumatra.

Südamerika hat nach Stappenbeck miozäne Braunkohle bei Arauco nahe Conception in Südchile und pliozäne Braunkohle in Peru.

In Australien hat es nach Frech „tertiäre“ Braunkohle ohne nähere Zeitangabe gegeben.

Neuseeland hat sowohl miozäne wie pliozäne Kohle.

3. Salz, Gips, Wüstensandstein. In Nordamerika scheinen sich die Gipsbildungen in Kalifornien und Louisiana noch in das Miozän hinein fortzusetzen, dann aber verschwinden die Anzeichen der Trockenzone, die nach Süden gerückt ist. Buschmans Angabe von quartären Salzlagern in Louisiana, die man bei neueren Autoren nicht mehr antrifft, ist offenbar verkehrt, da Salzbildung so nahe bei Inlandeis unmöglich erscheint.

Auf europäischem Boden finden wir die Trockenzone zunächst in Spanien, dessen Salzformation, wie schon früher erwähnt, von Douvillé als oligo-miozän bezeichnet wird. Sie ist vor allem im Ebrobecken vertreten, wo sie Gips, Steinsalz und Kalisalze enthält. Beson-

ders handelt es sich dabei um den „berühmten Salzberg von Cardona in Katalonien, der eine steile, etwa 95 m hoch aus Nummulitenschichten frei aufragende Salzmasse bildet und schon seit Jahrhunderten abgebaut wird“ (Neumayr-Uhlig). A. Penck¹⁾, der diese Salzformation als miozän bezeichnet, weist darauf hin, daß die klimatischen Verhältnisse damals denen glichen, die heute 12° südlicher herrschen, und macht darauf aufmerksam, daß Heer auf Grund der fossilen Flora in der Schweiz dasselbe fand. „Der Parallelismus der an zwei so weit voneinander entfernten Orten für das Klima der Miozänepoche gewonnenen Ergebnisse ist völlig; während man aber aus der Flora des mitteleuropäischen Miozäns lediglich auf höhere Temperatur schloß, muß man aus der Entwicklung der gleichaltrigen Ablagerungen in Spanien auf die in niedrigeren Breiten herrschende Trockenheit des Klimas schließen. Nicht bloß die Isothermen lagen in der Miozänepoche in Europa nördlicher, sondern auch das gesamte Windsystem, welches die Trockenheit an den Westküsten unter den Wendekreisen verursachte, war um einen entsprechenden Betrag polwärts verschoben. Die Passate, welche heute etwa bei den Kanarien ihre Nordgrenze haben, müssen damals in der Breite des Golfes von Biscaya gewurzelt haben.“ Auch nach unserer Miozänkarte lag Spanien damals dem Äquator etwa 12° näher als heute. Im südlichen Spanien (Andalusien) soll nach L. Waagen übrigens auch pliozänes Salz und Gips vorhanden sein, was ein Südwärtsrücken der Trockenzone andeutet.

Weiter östlich finden wir nach André Salz und Gips sowohl im Miozän wie im Plioizän Siziliens.

Noch weiter östlich finden wir die galizisch-rumänische Salzformation, die frühmiozänen, also fast noch frühtertiären Alters ist. In Galizien ist nach Steuer „das Miozän ähnlich wie im Wiener Becken entwickelt. Den untersten Schichten gehören die Gips- und Salzablagerungen, auch mit etwas Kalisalz, von Wieliczka und Kalusz an.“ Eine anschauliche Beschreibung dieser berühmten Salzlager gibt Neumayr-Uhlig:

„Der Nordrand der Alpen und Karpathen wird von einem fast kontinuierlichen schmalen Bande von Miozänablagerungen, meist schieferigen und sandigen Tonen, begleitet, die sich bis weit nach Rumänien hinein verfolgen lassen. Von den Karpathen, die wie die Alpen zur Miozänzeit bereits ein gehobenes Gebirge darstellten, war auch der südliche Innenrand vom Miozänmeere bespült, und es bildeten sich auch da ausgedehnte Salzlager. Zwar im ober- und niederösterreichischen, mährischen und schlesischen Anteil der Miozänzone kam es nicht zu

1) A. Penck, Studien über das Klima Spaniens während der jüngeren Tertiärperiode und der Diluvialperiode. Zeitschr. der Ges. für Erdk. zu Berlin 29, 1894, Seite 109—141.

ausgedehnten Salzablagerungen; aber einzelne Solen und Jodquellen und zahlreiche Gipsvorkommnisse deuten darauf hin, daß hier wenigstens ähnliche, die Dissoziation des Meerwassers begünstigende Verhältnisse geherrscht haben wie weiter östlich in Galizien, in Siebenbürgen und im östlichen Ungarn, wo es eine Reihe großer Salzlager gibt.“

„Das bekannteste ist wohl das von Wieliczka bei Krakau, das sicher seit dem 11. Jahrhundert, wahrscheinlich schon früher, regelmäßig abgebaut worden ist. Unter einer wenig mächtigen Decke von Dammerde und Diluvialbildungen folgt der miozäne bläuliche, ungeschichtete Tegel, der schon bei 20 m Tiefe eine leichte Imprägnation mit Salz erkennen läßt. Mit zunehmender Tiefe wächst auch der Salzgehalt, und in dem mit Salzbrocken angereicherten Salztone treten zahlreiche stockförmige, bald kubische, bald langgestreckte, grobkristallinische Salzkörper auf, die die verschiedensten Größen bis zu einem Inhalt von mehreren tausend Kubikmetern aufweisen und ihrer grünlichgrauen Färbung wegen den Namen Grünsalzkörper erhalten haben Kaum enthält ein zweites Salzlager so zahlreiche Versteinerungen wie das von Wieliczka, das dadurch schlagend seine Entstehung aus dem Meere erweist. Häufig sind wohl nur die mikroskopischen Schälchen von Foraminiferen; doch sind auch Mollusken, Krustazeen, Bryozoen und eine Einzelkoralle nachgewiesen worden. Nicht selten stößt man auf Reste von Landpflanzen, die von den benachbarten Küstengegenden eingeschwemmt worden sind“

„Wenden wir uns von Wieliczka nach Osten, so tritt uns im benachbarten Bochnia das nächste Salzvorkommen entgegen In Ostgalizien und in der Bukowina sind großartigere Salzlager selten; dagegen ist hier eine Unzahl (über 200) ergiebiger Solen über die ganze Miozänzone verstreut. Nur eins unter den ostgalizischen Salzlagern kann eine erhöhte Aufmerksamkeit beanspruchen, das von Kalusz, das neben Steinsalz mächtige Lagen und Linsen von Sylvin (Chlorkalium) und Kainit enthält“

„Auf der Südseite des Karpathenbogens nehmen in erster Linie die siebenbürgischen Salzlager durch ihre Geschichte, ihre Größe und ihr geologisches Verhalten die Aufmerksamkeit in Anspruch. Ein förmlicher Ring von einzelnen Salzvorkommnissen, der nur auf der Südseite erhebliche Unterbrechungen erleidet, umzieht den Innenrand des siebenbürgischen Beckens Mit dem Salze sind auch hier, wie allenthalben, Gips und Anhydrit verbunden. Als Begrenzung der Salzstöcke treten Salztone auf, die hier häufig Trachyttuffe enthalten, von den vulkanischen Eruptionen her, die zur Miozänzeit in Siebenbürgen wie in Ungarn eine Rolle gespielt haben Ähnliche Verhältnisse wie die Salinen Siebenbürgens bieten auch die Salzlager Oberungarns, namentlich die im Komitat Marmaros gelegenen, dar.“

Ihre zeitliche und räumliche Fortsetzung findet diese frühmiozäne galizisch-rumänische Salzformation in derjenigen von Kleinasien und Nordpersien, welche spätmiozänen Alters ist. Über die kleinasiatischen Salzlager schreibt Krüger¹⁾: „Die anatolischen Lager scheinen durchweg dem fossilereen Obermiozän anzugehören; sie sind meist von Ton-schichten durchsetzt und gehen unter stark durchgipsten Tonen und Letten oft in Salztone über. Das Liegende bildet im allgemeinen Rot-sandstein und Gipsmergel. Die Lager sind häufig stark gestört, . . . Die wichtigsten Salztonlager sind im Halysbogen aufgeschlossen und stehen im engsten genetischen . . . Zusammenhang mit den armenischen bei Erserum und Ssöörd, sowie auch mit den transkaukasischen und persisch-mesopotamischen.“ Auch Philippson bezeichnet die Gips- und Salzformation in Kleinasien und auf Cypern als spätmiozän, desgleichen Stahl, Kaehne u. a. diejenige Persiens. Der letztere Autor betont, daß die fossilere Salzformation hier über dem marinen Miozän liegt.²⁾ Buschmans Angabe, der die „große galizisch-persische“ Salzformation als einheitlich frühmiozän bezeichnet, ist also ungenau. L. Waagen will andererseits die Salzformation Armeniens und Persiens in das Pliozän setzen, was namentlich für das südlichere Persien nicht schlecht passen würde. Aber wie dem auch sei, man erkennt jedenfalls eine Verlegung der Salzbildung nach Süden, gemäß der Wanderung des Äquators.

Von den einzelnen Vorkommen sei noch folgendes erwähnt:

Wenn wir bei Buschman lesen: „Nach Fürer gehören einige Steinsalzvorkommen Kleinasiens und Armeniens dem Eozän an“, so werden wir kaum fehlgehen in der Annahme, daß die Zeitangabe verkehrt ist. Es muß Miozän heißen; im Eozän lag der Äquator gerade über diesem Gebiet und es herrschte allenthalben Braunkohlenbildung. Und das gleiche Mißtrauen verdient auch Philippsons Angabe von gipsführenden Mergeln aus dem Oligozän Cyperns. Dies sind aber die einzigen Zeitangaben, die wir korrigieren möchten. In Kleinasien wird von Philippson besonders die Provinz Kilikien als salzführend im Miozän genannt, Blanckenhorn erwähnt Gips an der Orontes-Mündung südlich Alexandrette, ferner Steinsalz in Russisch-Armenien im Araxestal und im Olital, teilweise 150 m mächtig. Von Persien sagt Buschman: „Allenthalben am Südrande des im 5465 m hohen Vulkan Demawend gipfelnden Elburs-(Albors-)Gebirges ist die miozäne Salzformation verbreitet; auch das Vorgebirge des Elburs, das Hügelgebiet der sogenannten Kaspischen Tore, ist . . . zum größten Teile aus Gesteinen

1) Karl Krüger, Vorkommen, Gewinnung und Absatz des Kochsalzes im türkisch-arabischen Vorderasien. Diss. Hamburg 1920.

2) K. Kaehne, Beitr. zur physischen Geographie des Urmija-Beckens. Zeitschrift der Ges. für Erdk. zu Berlin 1923, S. 104—132.

der Salzformation zusammengesetzt. Die Sidarpässe auf der Straße von Teheran südöstlich nach Kischlak sind nackte Steinsalzberge.“ Das Steinsalz wird dort als Baustein verwendet. Es gibt auch einen Gebirgspass, der beiderseits mit Steinsalzfeldern eingefasst ist. In Nordpersien sollen sich namentlich auch noch in der Umgebung des Urmia-Sees tertiäre Salzlager finden, vermutlich gleichen Alters. Nach Kaehne enthalten hier auch noch die lößartigen pliozänen Ablagerungen vielfach Gipseinlagerungen. Ebenso sollen die Inseln im Persischen Golf Salz und Gips bergen, das angeblich über tertiären Schichten liegt, also vermutlich spättertiär, wenn nicht quartär, ist.

In Mesopotamien findet sich nach Blanckenhorn als Fortsetzung dieser Salzformation überall Gips, an der persischen Grenze untergeordnet auch noch Steinsalz. Buschman erwähnt auch Salzquellen im nördlichen Mesopotamien, die in der Tertiärformation entspringen.

Noch am Roten Meere findet man nach Blanckenhorn Gips, dessen Alter als spättertiär bezeichnet wird, also auch noch jünger als miozän sein kann. Weiter nach Südosten reichen aber anscheinend die spättertiären Zeugnisse für Trockenklima nicht, denn in Vorderindien finden wir die Fauna der äquatorialen Regenzone. Über die Fortsetzung der Salzformation in Ägypten wird weiter unten gesprochen werden.

Für Zentralasien gibt Leuchs eine Zusammenfassung, nach welcher das Klima schon im Spättertiär wieder feuchter geworden wäre als Vorbereitung des Quartärs, in dem die Gebirge vergletschert waren. Aber die Angaben sind sehr allgemein gehalten, so daß sich vielleicht kein Widerspruch mit unseren Annahmen konstruieren läßt, nach denen das ganze Tertiär hindurch das Klima trocken sein mußte und zu Anfang des Quartärs gerade besonders heiß und trocken war, während die Feuchtigkeitzunahme erst im Laufe des Quartärs erfolgte.

Für die Richtigkeit dieser Annahme scheint besonders der chinesische Löß zu sprechen, dessen unterster, rotgefärbter Teil in das Frühquartär gesetzt wird und zur Voraussetzung hat, daß westlich davon, in Zentralasien, eine heiße Wüste lag.

Eine besondere Bestätigung erfährt die in der Karte (Fig. 19 S. 117) dargestellte Orientierung der Klimagürtel durch die Angabe von Volz, daß im spätesten Pliozän auf Sumatra Trockenklima geherrscht hat.¹⁾ Es war dies die einzige Unterbrechung seit langer Zeit, die das äquatoriale Regenklima hier erfuhr. „Es braucht allerdings kein Wüsten-

¹⁾ W. Volz, Nord-Sumatra, Bd. II, Die Gajoländer. Berlin 1912, und derselbe: Jungpliozänes Trockenklima auf Sumatra und die Landverbindung mit dem asiatischen Kontinent, Gaea. Stuttgart 1909, Heft 7.

klima gewesen zu sein, es genügt ein Klima mit langen, ausgesprochenen Trockenzeiten, mit geringen Niederschlägen, welche auf kurze Zeiträume sich konzentrierten.“ Volz kommt nämlich zu dem Schluß, daß im Spätpliozän die Oberfläche Sumatras infolge einer enormen mechanischen Gesteinsverwitterung sich in eine Fastebene verwandelte, die dann erst im Laufe des Quartärs durch die hier neu entstehenden Flüsse eingeschnitten wurde.

„Unter dem Einfluß der überaus starken Verwitterung in Trockengebieten zerfällt das Gestein in Schutt, der Schutt geht zu Tale, und so bleibt die Höhe ständig dem Einfluß intensivster Verwitterung ausgesetzt, so daß auf diese Weise schließlich eine Einebnung des hügeligen Geländes erfolgen kann, zumal die fast durchgehends weichen Gesteine, wie die Beobachtung heutigen Tages noch lehrt, unter dem Einfluß der Sonnenbestrahlung überaus leicht verwittern Das feuchte Quartär ist aber eine Zeit vorwiegend chemischer Zersetzung, also Bunterdebildung, der gegenüber die physikalische Verwitterung fast gar nicht in Betracht kommt. Es würde überaus schwer sein, bei einem dem heutigen Zustande ähnlichen oberpliozänen Klima die Entstehung dieser Schuttmassen zu erklären, während ein Trockenklima sie geradezu fordert.“ Nach unserer Karte (Fig. 19 S. 117) hatte Sumatra im Spätpliozän eine geographische Breite von etwa 20°.

In Südamerika, das fast antipodisch zu China lag, haben wir wie dort eine ausgedehnte Lößformation, deren unterer Teil auch hier im Gegensatz zum gelben oberen rote Farbe besitzt und dadurch seine Herkunft durch Windtransport aus der heißen Wüste verrät. Hier wird der untere Teil aber schon in das Pliozän gesetzt (Keidel, Gerth u. a.). Walther glaubt insbesondere das pliozäne Alter mit Hilfe mariner Zwischenschichten erweisen zu können. Nach Gerth¹⁾ und Wilckens²⁾ seien hier die Tertiär- und Quartärschichten von Argentinien angegeben:

Quartär: Patagonische Geröllformation; im Norden jüngerer, gelber Pampaslöß mit Säugetieren.

Plio-än: Rio Negro-Sandstein; im Norden älterer, roter Pampaslöß mit Säugetieren, an der atlantischen Küste die marine Parana-Stufe.

Mio-än: Mittleres und oberes Mio-än = Santa Cruz-Stufe mit Säugetieren. Unter- es Mio-än = marine patagonische Molasse.

Oligo-än: Colpedon-Stufe.

Eo-än: Pyrotherium-Notostylops-Schichten.

1) Gerth, Die Fortschritte der geologischen Forschung in Argentinien und einigen Nachbarstaaten während des Weltkrieges. Geol. Rundsch. 1921, S. 74—87.

2) Wilckens, Die Meeresablagerungen der Kreide- und Tertiärformation in Patagonien. N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. 21, 1905.

Kreide: Oberste Kreide = marine San Jorge-Stufe; Oberkreide = Guaranitische Sandsteine mit Dinosaurier-Resten.

Darunter: „Areniscas abigarradas“ (buntsandsteinartig).

Auf die reiche Säugetierfauna, die sich in den spättertiären Schichten Argentiniens findet, werden wir weiter unten zurückkommen.

In Nordafrika begegnen wir noch der Fortsetzung der miozänen Salzformation Südeuropas und Kleinasiens. Bei Fes in Marokko liegen Steinsalzlager, deren Alter Buschman als mitteltertiär angibt, und die sich daher räumlich und zeitlich an die spanischen anschließen. Die Salzformation scheint sich auch in Afrika weiter nach Osten zu erstrecken, denn nach Buschman werden auch die Salzsümpfe südlich des Tell-Atlas teilweise aus tertiären Salzschiechten gespeist, und auch L. Waagen berichtet von tertiärem Gips in Algerien; in Tunesien soll nach Buschman wenigstens noch eine Solquelle aus Tertiärschichten entspringen. Freilich werden in diesen drei Fällen Unterteile des Tertiärs genannt, die mit unseren Ergebnissen schlecht vereinbar sind, nämlich „oligozän“, „frühtertiär“ und „spätes Eozän“, aber man wird kaum fehlgehen in der Annahme, daß diese Zeitbestimmungen in miozän umzuändern sind.

Auch in Ägypten macht sich im Spättertiär nach dem Durchgang der äquatorialen Regenzone wieder die Trockenzone breit. Stromer von Reichenbach konnte schon aus der braunen Gesteinskruste spättertiärer Ablagerungen auf Wüstenklima in dem damaligen Ägypten schließen. Nach Blanckenhorn treten vom frühen Miozän ab auch wieder ausgedehnte Gipsablagerungen auf: „Eine große Bedeutung gewinnt der Gips im Miozän. An zahlreichen Plätzen zu beiden Seiten des Suësgolfs und Roten Meeres sind die der Oberfläche genäherten Kalke der Kreide und des Eozäns in Gips umgewandelt, vermutlich durch Einwirkung von Schwefelwasserstoff, der im Grunde des transgredierenden flachen Miozänmeeres infolge Verwesung organischer Reste in großer Masse erzeugt wurde. Daran schlossen sich noch weitere Absätze von Gips, Salz und Gipsmergeln beim Eintrocknen derselben Meeresbucht. Diese Vorgänge vollzogen sich in der Zeit der großen untermiozänen galizisch-persischen Salz- und Gipsformation [richtiger: Galizien früh-, Persien spätmiozän] oder des österreichischen Schliers. Als Decke folgte dann das fossilführende Obermiozän oder an dessen Stelle diluviale Küstenbildungen und Korallenriffe. Derartige Gipsmassen breiteten sich aus: am Sinai zwischen Wâdi Fîrân und Gharandel hinter der Marcha-Ebene, dann am Ostfuß des Gebel Geneffe im Südwesten der gleichnamigen Eisenbahnstation, weiter längs der Küste des Roten Meeres vom 28. Breitengrad bis Halaib unter 24° 13' N., besonders am Gebel Sêt, Râs Gamsa, in der Umgebung von Qosêr, am Bir Ranga und Râs Benas.“

Ein Bohrloch am Gebel Sêt, das bis 1140 m Tiefe herabgeführt wurde, ergab von oben nach unten: 100 m Sand, 200 m Kalk, 210 m Gips (mit 22 m starker Kalklage), 242 m Gipsmergel (mit 13 m Gips), 215 m Gips, 20 m Steinsalz, 55 m Gips, 5 m Sandstein, 25 m Gips. Nach unseren Karten wäre die günstigste Zeit für Salzbildung in Ägypten das Pliozän und die Folgezeit bis zur Gegenwart. Hiermit stimmt die Beobachtung von Beadnell, nach welcher am Schluß des Pliozäns das Eindampfen der brackischen Wässer im Osten des Faijûm stattfand, wobei sich die dortigen, mit Schottern verknüpften Gipse auf dem breiten Rücken absetzten, der das Faijûm vom Niltal trennt. Auch im Quartär wurden hier noch Gips und am Toten Meer Salz abgesetzt.

4. Die Pflanzenwelt

In Nordamerika trat nach Chamberlin und Salisbury im Spättertiär insofern eine Veränderung in der Pflanzenwelt ein, als die tropischen und subtropischen Formen schnell zurücktraten, so daß die Flora gegen Schluß des Tertiärs der heutigen sehr ähnlich war, und zwar nicht nur in ihrem Klimacharakter, sondern auch in ihrer Zusammensetzung. Natürlich ist aber bei diesem Urteil die übliche Voraussetzung gemacht, daß die Eiszeit ganz ins Quartär gehört. Nimmt man wie wir bereits eine pliozäne Vereisung an, so verschiebt sich die Zeitskala, und wir erhalten am Schluß des Tertiärs in Nordamerika bereits eine Polarflora. Der größte Teil von Nordamerika befand sich schon im Miozän in der nördlichen Regenzone; im Yellowstone-Park sind Reste eines versteinerten Waldes aus der Miozänzeit erhalten.

Die früher in das Miozän gesetzten Baumfloren im heutigen Polargebiet haben wir bereits im Frühtertiär besprochen.

Auch in Europa näherte sich der Klimacharakter der Flora schnell dem gegenwärtigen, denn „das Klima Europas war zu Beginn des Pliozäns wohl noch etwas wärmer, gegen Ende aber wenig anders als das heutige“ (Steuer). Die Zusammensetzung der europäischen Flora wurde ähnlich der damaligen und heutigen von Nordamerika, während die heutige europäische Flora durch die hier weit verheerenderen Wirkungen der Eiszeit eine andere geworden ist. Im Miozän kamen bei Öningen am Bodensee noch Palmen und andere subtropische Pflanzen vor, so daß Heer aus der Zusammensetzung der 1500 Arten zählenden fossilen Flora auf eine mittlere Jahrestemperatur von 18° schloß. Im Pliozän aber sind nach Walther diese Vertreter wärmerer Zonen bis auf wenige Nachzügler verschwunden, und „im allgemeinen war Deutschland von großen Wäldern bedeckt, in denen Eichen, Buchen und Ahorn vorherrschten, während Erlen, Pappeln und Weiden in den feuchten Niederungen standen“. In den zahlreichen Torfmooren

wuchsen Sumpfyypressen (*Taxodium*), so daß diese Moore sehr den heutigen virginischen Swamps in Nordamerika glichen. Es sind in den Braunkohlengruben meterdicke Stämme mit über 600 Jahresringen gefunden worden; andere Riesen, deren Jahresringe nicht gezählt werden konnten, hatten 4 m Durchmesser. Nach Gothan wurden schon im Miozän bei Zschipkau in der Lausitz Frostspuren an Blättern festgestellt, im Pliozän auch bei Frankfurt a. M., wodurch das Vorkommen von Frostnächten bewiesen wird.

In Persien hat das Becken des Urmia-Sees im Pliozän einen erheblich größeren See enthalten als heute. Stahl meint: „Das Ufergebiet dieses Sees muß eine fast tropische Vegetation gehabt haben, da hier fossilen Funden zufolge eine reiche Säugetierfauna lebte.“¹⁾ Indessen darf man hier, worauf schon das Wörtchen „fast“ hinweist, nicht an die äquatoriale Regenzone denken. Denn Kaehne beschreibt diese Funde mit den Worten: „An erster Stelle sind hier die fossilen Reste einer reichen, wahrscheinlich pliozänen Säugetier-Steppen-Fauna zu nennen, die in einer gipsdurchsetzten, von Pohlig als fluvio-lakustrin bezeichneten lößartigen Ablagerung im östlichen Winkel der Maragha-Ebene gefunden werden.“²⁾ Hiernach dürfte am Urmia-See zur Zeit jener Ablagerungen ein Steppenklima geherrscht haben, was mit der von uns angenommenen Breite von 30° im Pliozän nicht im Widerspruch steht. Auf die Zusammensetzung der Fauna kommen wir später zurück.

An der Ostküste Asiens haben wir im Spättertiär die Skala aller Wärmezonen, auf den Sunda-Inseln nach dem Zeugnis der holländischen Geologen die Flora der äquatorialen Regenzone (ausgenommen im Spätpliozän, wo dort nach Volz Trockenklima herrschte); in Japan bezeugt die „vorpliozäne“ Flora ein Klima, das etwas kühler war als das heutige (Lage im Miozän auf 42 bis 47° gegen 35 bis 40° heute). Im Pliozän aber rückte der Äquator viel näher als heute, worauf wir bei Besprechung der Meeresfauna zurückkommen werden. Und nach Chamberlin und Salisbury bezeugt die Flora von Kamschatka (ebenso wie Alaska) gleichfalls tiefere Temperaturen als heute. Ob allerdings die Zeitsetzung (miozän) zutrifft, bedarf wohl mit Hinblick auf die Vereisungsfrage einer nochmaligen Prüfung.

Von entscheidender Wichtigkeit für die spättertiäre und selbst noch die quartäre Orientierung der Klimagürtel sind aber die spättertiären Floren Südamerikas und der Westantarktis, denn die hier vorliegenden Tatsachen gehören zu den stärksten Gründen für eine

1) A. F. Stahl, Persien Handb. d. Reg. Geol. V, 6, 1911.

2) K. Kaehne, Beitr. zur physischen Geographie des Urmia-Beckens. Zeitschrift der Ges. für Erdk. zu Berlin 1923, S. 120.

quartäre Verlegung der Pole. Wir folgen wieder der Besprechung von Irmscher.

Zunächst ist zu nennen die spättertiäre Flora von Columbien, die namentlich bei Honda, aber auch im Cauca-Tal gefunden wurde, sowie die gleichaltrige und praktisch identische Flora von Tumbes im nord-westlichen Peru (vgl. Fig. 20). Diese Floren haben den Charakter des tropischen Regenwaldes in der Tiefebene. Mittlere und große Blattformen walten vor, Holzgewächse, Palmen, Lianen und Epiphyten sind zahlreich. Das Alter setzt Berry in das frühe Miozän, wo nach unseren



Fig. 20. Fundorte spättertiärer Floren in Südamerika

unseren Karten in der Tat der Äquator gerade über dieser Gegend lag; Irmscher möchte sie später setzen, etwa an die Grenze von Pliozän und Quartär, doch würde dies nach unserer Karte nicht so gut passen, wenn es auch nicht ausgeschlossen ist. Die Arten sind den heutigen des tropischen Amerika sehr ähnlich, teilweise mit ihnen identisch.

Mitten zwischen diesen Fundstellen wuchs die Flora von Loja in Ecuador. Sie wird, wofür auch die Seehöhe von mehr als 2000 m ihres Fundortes spricht, von Irmscher für tropischen Bergwald erklärt. Sie unterscheidet sich von den früheren Floren durch ihre Zusammensetzung, indem die Lauraceen und Palmen selten, die Leguminosen und Myrtaceen zahlreich sind, während es bei jenen umgekehrt ist. Auch diese Flora bezeichnet Berry als frühmiozän, was zu unseren Karten gut paßt,

während Irmscher sie ins Frühquartär setzen möchte.

Unsicherer ist die klimatische Deutung der Flora von Ouricanga im nördlichen Teil des brasilianischen Staates Bahia. Es handelt sich aber jedenfalls um eine tropische bis subtropische Flora, die der heutigen dort sehr nahe steht. Sie enthält 2 Farne, 3 Gymnospermen, 2 Monocotylen; den Rest bilden Dicotylen, unter denen auch 4 Quercusarten und Cinnamomum genannt werden. Wegen Fehlens von Abbildungen hält aber Irmscher die Bestimmungen nicht für gesichert. Das Alter dieser Flora wird übereinstimmend von v. Ettinghausen, Bonnet und Irmscher zu pliozän angenommen. Man überzeugt sich leicht nach unseren Karten, daß im Pliozän der Äquator über dieser Gegend lag.

Im mittleren Teile des Kontinents treffen wir weiter die berühmte

fossile Flora von Potosi in Bolivien, die in einer Seehöhe von über 4000 m gefunden wurde. Auch hier weist Irmischer ebenso wie bei der Loja-Flora nach, daß es sich um einen tropischen Bergwald handelt; der damals in etwa 2000 m Höhe gewachsen sein mag und infolgedessen bereits mit subtropischen Formen durchsetzt ist. Die Kleinblättrigkeit aller Formen ist auffallend. Am meisten treten die Leguminosen in den Vordergrund mit 20 Gattungen und 42 Arten. Cassia, die oft in trockenen Grassteppen eingestreut vorkommt, ist mit 10 Arten vertreten. Am häufigsten finden sich *Myrica banksioides* und *Calliandra obliqua*. Auch diese Flora wird übereinstimmend von Berry, Steinmann und Irmischer für pliozän erklärt. 54 von den im ganzen gefundenen 82 Arten stimmen mit heutigen überein. Abgesehen von der Hebung um 2000 m, die hiernach seit dem Pliozän bei Potosi eingetreten sein muß, müssen wir also schließen, daß auch dieser Teil des südamerikanischen Kontinents im Pliozän in der äquatorialen Regenzone lag. Nach der Karte (Fig. 10 S. 117) ist dies ohne weiteres verständlich.

Je weiter wir nun nach Süden kommen, um so wichtiger werden die Funde. Zunächst gilt dies für die Flora von Coronel nahe Concepcion in Mittelechile, die erstaunlicherweise immer noch dem tropischen Regenwald in der Tiefebene entspricht. Die Flora ist großblättrig, enthält Bäume, Sträucher, Schlinggewächse, und ist nahe verwandt mit der heutigen von Mittelamerika und Brasilien, namentlich derjenigen längs den Flüssen. Auch mit den fossilen Floren von Honda, Loja und Tumbez besteht starke Verwandtschaft. Unter den im ganzen 101 Arten finden sich 4 Farne, 3 Gymnospermen (1 Cycas, 1 Sequoia, 1 Ephedra), 1 Monocotyle, nämlich die Sabal-Palme, und 65 Dicotylengattungen. Über das Alter dieser Coronel-Flora gehen die Ansichten sehr auseinander. Engelhard und auch Reiche wollen sie in das frühe Tertiär setzen, Berry teils in das frühere, teils in das spätere Tertiär (frühes Miozän). Man erkennt das Bestreben, diese „heiße“ Flora möglichst von der „Eiszeit“ zu entfernen. Irmischer dagegen fordert wegen der engen Verwandtschaft mit der heutigen südamerikanischen Tropenflora ein viel jüngerer Alter und nimmt sogar Quartär an. Aus unserer Darstellung geht hervor, daß der Schluß des Tertiärs oder der Beginn des Quartärs die wärmste Zeit in dieser Gegend gewesen sein muß; Concepcion näherte sich damals bis auf etwa 15° dem Äquator, wodurch der Wärmecharakter der Flora erklärt wird. Und gegen die Zeitsetzung werden sich wohl kaum zwingende Hinderungsgründe ergeben. — Aber gehen wir noch weiter nach Süden!

Bei Punta Arenas an der Magellanstraße wurde, wie schon im Frühtertiär erwähnt, eine Flora in 2 Stufen gefunden, deren untere, die Fagus-Stufe, dem dort kühlen Frühtertiär angehört. Die jüngere so-

genannte Araucarien-Stufe mit *Araucaria Nathorsti*, aber ohne jede Spur von Buchen, entspricht einem wesentlich wärmeren, wohl subtropischen Klima, im scharfen Gegensatz zum heutigen. Dusén setzt sie ins Miozän, Irmischer in das Quartär. Die wärmste Zeit war auch hier etwa die Grenze zwischen Tertiär und Quartär, wo die Magellanstraße auf etwa 30° Südbreite lag.

Nach Gothan waren auch die Falklandsinseln „im Präglazial offenbar reich bewaldet, u. a. mit Koniferen südamerikanischer Verwandtschaft, während sie jetzt waldlos sind“. Auch sie erreichten am Ende der Tertiärzeit ihre niedrigste Breite von etwa 30°.

Am wichtigsten von allen aber ist die fossile Flora der Seymour-Insel des antarktischen Grahamlandes. Hier bietet sich das Bild eines noch rascheren und jüngeren Klimawechsels als der, den Heer an Hand der nordpolaren Tertiärfloren nachwies. Denn diese, jetzt unter Eis begrabene Fundstätte birgt die Reste einer Flora, deren Arten in der Mehrzahl subtropisch sind und dabei offenbar den jüngsten geologischen Zeiten angehören. Von den im ganzen 87 gefundenen Arten werden 20 als temperiert und von patagonischer und südehilenischer Verwandtschaft bezeichnet, dagegen nicht weniger als 50 als subtropisch und von südbrasilischer Verwandtschaft. Unter den temperierten Arten befinden sich auch 2 *Fagus* und 2 *Nothofagus*, unter den subtropischen 1 *Araucaria*, 18 *Pecopteris*, 10 *Sphenopteris*, 2 *Taeniopteris*, 2 *Leguminosites*, dazu 2 *Carpolithes* und 26 *Phyllites*. Alle Verwandtschaften weisen nach Südamerika; als einzige Ausnahme hat *Knightia* ihre Verwandten in Australien. Als Anzeichen für junges Alter macht Irmischer geltend, daß die meisten Gattungen mit heutigen identisch sind, und daß auch die Arten mit heute lebenden nahe verwandt sind. Ausgestorbene Typen, wie sie z. B. in der *Fagus*-Stufe von Punta Arenas zu finden sind, gibt es hier nicht. Die Zeitfrage läßt Dusén in Wirklichkeit offen. Er möchte sie — aber anscheinend nur wegen der hohen Wärme — für älter als die *Fagus*-Stufe erklären, hat aber andererseits wegen der nahen Verwandtschaft mit der rezenten Flora Bedenken, sie als frühtertiär zu bezeichnen. Wir müssen uns Irmischer's Gedankengang anschließen, wenn er aus dem wärmeren Klima-charakter der Araucarien-Stufe gegenüber der *Fagus*-Stufe den Schluß zieht, daß das Klima im Laufe des Tertiärs hier nicht, wie Dusén als selbstverständlich voraussetzt, kälter, sondern umgekehrt wärmer wird. Irmischer erklärt deshalb die Seymour-Flora für quartär; wir begnügen uns schon mit dem Schluß des Tertiärs, wo die Seymour-Insel ihre niedrigste Breite von etwa 45° erreichte.

Wir betonen noch einmal die Wichtigkeit dieses einwandfreien Klimazeugnisses. Niemand, der diese jugendliche Flora der Seymour-Insel erklären will, kommt um eine bedeutende Verlegung des Nord-

pols nach Nordamerika im Spättertiär und Frühquartär herum, und damit ist nach unserer Ansicht auch die Frage der Pollage in der Eiszeit bereits grundsätzlich entschieden.

— In Ägypten bildet das Spättertiär den Übergang von der äquatorialen Regenzone zur nördlichen Trockenzone, was sich auch in der fossilen Flora zeigt: im frühen Miozän noch tropischer Urwald, aber vom mittleren Miozän ab hören wieder alle Anzeichen von Leben auf, und Gipsablagerungen zeugen vom Platzgreifen des Wüstenklimas.

In Südostaustralien fand v. E t t i n g h a u s e n eine miozäne Flora, die nur noch 34 % warme Typen enthält, gegen 52 % in einer ebendort gefundenen eozänen. Im Miozän lag Südostaustralien auf etwa 46, im Eozän auf etwa 30° Breite.

Von der neuseeländischen Flora geben Chamberlin und Salisbury an, sie sei im Miozän ebenso wie die Fauna von „tropischem Aussehen“ gewesen, und es werden als Beleg dafür Palmenfrüchte angeführt. Neuseeland erstreckte sich nach unseren Karten im Eozän von 15 bis 30°, im Miozän lag es immer noch zwischen 30 und 45°, was wohl dem Tatbestand genügend gerecht wird.

5. Die Tierwelt

Die spättertiäre Landfauna Nordamerikas bezeugt die fortschreitende Abkühlung. Im übrigen hängt die Beurteilung ihres Klimacharakters wesentlich davon ab, ob man die ältesten Vereisungen, wie wir, noch in das Tertiär setzt oder nicht. Im ersteren Fall kann aus der Übersicht S. 123 auch die für den Schluß des Tertiärs gültige Fauna entnommen werden.

Die Meeresfauna ist deshalb wohl wichtiger, und besonders diejenige von Alaska. Stephan Richarz schreibt, nachdem er auf die Wärmeperiode im Frühtertiär hingewiesen hat:¹⁾

„Anders ist es im Miozän. Dall beschreibt marine Fossilien dieser Periode aus Alaska, die dem Miozän von Astoria (Oregon) und von Mittel- und Südkalifornien entsprechen. Sie beweisen ein viel kälteres Klima, als im Alttertiär in denselben Gebieten herrschte . . . Alaska lag damals dem Nordpol bedeutend näher als die übrigen genannten Länder. Damit stimmt dann gut überein das kältere Klima im Miozän bis hinunter nach Kalifornien und jenseits des pazifischen Ozeans in Japan.“

„Noch merkwürdiger sind andere Feststellungen Dalls. Die

1) Stephan Richarz, Eine tertiäre Vergletscherung Alaskas und die Polwanderung. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Mon.-Ber. 74, 1922, 180—190.

pliozäne marine Fauna von Californien, Oregon und Yakutat Bay in Alaska weist auf noch kälteres Wasser hin und hat borealen Charakter bis in die Shoalwater Bay in Washington, während es im Pleistozän wieder wärmer war. Die Verbesserung des Klimas konnte schon im Pliozän begonnen haben, da Dall aus der marinen Fauna am Norton Sound (Alaska) auf ein gemäßigtes Klima schließt. Doch stellen andere diese Ablagerungen, die Dall nach ihrer Fauna für pliozän hält, aus stratigraphischen Gründen ins Pleistozän. Jedenfalls steht so viel fest, daß auf ein wärmeres Klima im Alttertiär ein kälteres im Miozän folgte, das dann im jüngsten Tertiär oder im ältesten Pleistozän wieder gemäßigter wurde. Das aber stimmt ausgezeichnet mit der hypothetischen Lage des Nordpales in der Nähe von Alaska während des mittleren Tertiärs und seiner größeren Entfernung am Ende des Tertiärs und im Quartär“

Interessant ist auch das Ergebnis, zu welchem Linstow¹⁾ bei Vergleichung der miozänen Meeresfauna von Maryland im Osten der Union mit derjenigen von Hemmoor nordwestlich von Hamburg kommt, nämlich „daß die Fauna von Chesapeake in einem wesentlich kühleren Klima gelebt haben muß als die von Hemmoor“ Nach der damaligen (wie auch der heutigen) geographischen Breite wäre eher das umgekehrte zu erwarten. Aber man darf wohl annehmen, daß die Isothermen auch im Miozän in dieser Gegend im selben Sinne von den Parallelkreisen abwichen wie heute, wozu namentlich die allmählich von Nordwesten vordringende Eisüberschwemmung beitragen mußte.

In Europa lebte im Miozän u. a. der Affe *Dryopithecus* in Frankreich in der Haute-Garonne, in Württemberg und bei Mainz, und in Griechenland gab es Antilopen. Noch im Pliozän finden sich Affen in der Umgebung von Montpellier in Südfrankreich, in Italien und bei Pikermi in Griechenland, an letzterem Orte zusammen mit Huftieren und Raubtieren. Weiter ist von der europäischen Fauna wenig zu sagen. Es ist bisher nicht möglich, die Zone warmen Meereswassers in der früheren Weise auch im Spättertiär über die Erde zu verfolgen, da wegen der schnellen Polwanderung hierzu sehr genaue Aufnahmen nötig wären, die wohl noch kaum vorhanden, jedenfalls nirgends zusammengestellt sind. Von dem Korallengürtel wird nur allgemein gesagt, daß er sich im Spättertiär von Europa nach Süden auf seine heutige Lage zu bewegte.

Schon früher war die größere Ausdehnung des Urmia-Sees in Persien erwähnt, die nach Stahl und Kaehne in das Pliozän zu setzen ist. Die zugehörige Fauna besteht aus *Hipparion*, *Rhinoceros*,

1) O. v. Linstow, Die Verbreitung der tertiären und diluvialen Meere in Deutschland. Abhandl. d. Pr. Geol. Landesanst. N. F. H. 87, S. 103. Berlin 1922.

Elephas oder Mastodon, Tragoceros, Cervus, Hyaena, ferner Antilopen, Schweine, Schafe, Dachs, Orycteropus (Erdferkel), Manis (Schuppentier).

Während diese Fauna, entsprechend der Breitenlage von etwa 30°, kaum für die äquatoriale Regenzone spricht, ist dies offensichtlich der Fall mit der Siwalik-Fauna, die auf den Siwalik-Hügeln vor dem Südfuß des Himalaja gefunden ist. Sie ist sehr reichhaltig und enthält zahlreiche Affen, auch eine riesige Landschildkröte von über 4 m Länge (Colossochelys). Ihr Alter ist spättertiär. Wie unsere Karten zeigen, lag der Äquator im ganzen Spättertiär über dieser Gegend.

Stephan Richarz erwähnt, daß in Japan marine Mollusken quartären Alters gefunden sind, die heute erst 15° südlicher an den Küsten der Philippinen gefunden werden. Wir erwähnen diese Angabe bereits hier beim Spättertiär, weil nach unseren Karten die wärmste Zeit für Japan gerade die Grenze zwischen Tertiär und Quartär ist, wo Japan auf etwa 15 bis 20° lag, gegen 35 bis 40° heute.

Im Sunda-Archipel hat es nach den Angaben holländischer Geologen auch im Spättertiär Rifffkorallen gegeben.

In Südamerika haben wir entsprechend der reichen, tropischen Flora auch eine besonders reiche Entwicklung der Tierwelt. Das pflanzenfressende Riesenfaultier Megatherium, welches bei sehr plumphem Körperbau die Größe eines Elefanten besaß, konnte wohl nur bei reichlichem Pflanzenwuchs genügend Futter finden. Ähnliches gilt für das etwas kleinere Mylodon. Das Riesengürteltier Glyptodon erreichte 2 m Länge, Doedicurus 4 m, die Huftiere Toxodon und Typotherium erreichten etwa Nashorngröße. Besonders die erstgenannten müssen Waldtiere gewesen sein. Wenn ihre Reste heute im Löß gefunden werden, so zeugt dies wohl nur von der besseren Erhaltung durch diesen, aber schwerlich von ihrer Natur als Steppentiere. Diese ganze Fauna, die oft als quartär bezeichnet wird, gehört ebenso wie der Löß, in den sie eingebettet ist, teils in das Pliozän, teils in das Frühquartär und bestätigt jedenfalls das Zeugnis der Pflanzenwelt von der damaligen größeren Wärme.

Von der südamerikanischen Meeresfauna ist nur die schon früher erwähnte Bemerkung Neumayr-Uhligs zu nennen, daß in Chile auf heute 35° Südbreite unter den frühtertiären und auch noch miozänen Fossilien sich keine befinden, die auf höhere Wärme als heute schließen lassen. In der Tat war im Miozän die geographische Breite dieselbe wie heute. Im Pliozän aber muß es viel wärmer geworden sein.

Vielleicht sind auch die von Lemoine erwähnten Korallenriffbauten Madagaskars ins Pliozän zu setzen. Sie sind jünger als das Aquitanien (älteres Miozän), aber vor der Entstehung des heutigen Fluß-

systems der Insel gebildet worden. Die geographische Breite Madagaskars wird ihr Minimum allerdings wohl erst nach Beginn des Quartärs erreicht haben.

— Die Gesamtheit der spättertiären Klimazeugen führt für das Miozän zu einer Lage des Nordpols bei 75° Nord, 150° West, und einer entsprechenden Lage des Südpols bei 75° Süd, 30° Ost, und andererseits für das Spätpliozän und Frühquartär zu einer Lage des Nordpols bei 70° Nord, 60° West, und einer entsprechenden Lage des Südpols bei 70° Süd, 120° Ost.

Kapitel V

Die Klimate in den vorkarbonischen Zeiten

Für die Zeit vor dem Karbon fehlt uns die Kartengrundlage, die zur Diskussion des jeweiligen Klimasystems unerlässlich ist. Wollten wir folgerichtig handeln, so müßten wir also diese Zeiten einstweilen überhaupt von der Behandlung ausschließen. Wenn wir sie trotzdem in Kürze besprechen, so geschieht es, weil es auch bereits von Interesse ist zu sehen, daß dieselben Klimazeugen, die uns bisher geleitet haben, auch schon in diesen ältesten Zeiten in ganz ähnlicher Weise entstanden wie später. Wir finden Salzformationen im Silur und Kambrium, Inlandeisspuren im Algonkium usw. Auch kann man im Devon und Silur immerhin noch auf die Karbonkarte zurückgreifen, wenn man auch dabei im Auge behalten muß, daß sie immer unrichtiger wird, je weiter wir in der Erdgeschichte zurückgehen. Aber wir glauben außerdem, daß sich gerade an diese Klimazeugen der ältesten Zeiten noch ein ganz besonderes Interesse knüpft, und daß sie in der künftigen Entwicklung der Paläogeographie eine sehr wichtige Rolle spielen werden. Denn der Gedanke liegt sehr nahe, daß es einmal möglich sein wird, die bisher unmögliche Rekonstruktion der Erdoberfläche für diese alten Zeiten gerade auf Grund der Klimazeugen vorzunehmen. Gegenwärtig sind allerdings die Altersbestimmungen gerade dieser Ablagerungen hierzu noch nicht detailliert genug, und die Ablagerungen selbst auf den meisten Kontinenten auch noch zu wenig erforscht, als daß ein solcher Versuch angängig wäre. Wir beschränken uns deshalb auf eine Besprechung der einzelnen Klimazeugnisse in der bisherigen Weise.

A. Devon

Devonische Eisspuren sind in Südafrika nachgewiesen, also an gleicher Stelle oder doch in unmittelbarer Nachbarschaft der karbonischen Eisspuren des Südpols. Schon hierdurch ist die Orientierung der devonischen Klimazonen in den großen Zügen gegeben; sie kann nicht grundsätzlich von der der karbonischen abgewichen haben. Nach

Cloos¹⁾ handelt es sich um zwei Fundstellen, an denen gekritzte Gerölle in feinkörniger Matrix eingebettet vorkommen, so daß an der glazialen Entstehung kein Zweifel sein kann. Die Eisbildung umfaßte 600 qkm und wird in das Frühdevon gesetzt. Die auf S. 31 nach Rogers und du Toit angegebene Schichtenfolge zeigt, daß die Glazialschichten die Basis der Tafelbergserie bilden, die im oberen Teil mitteldevonische Meeresfossilien enthält. Die frühdevonische Zeit ist deshalb von Wichtigkeit, weil sie den Schluß nahelegt, daß auch schon im Spätsilur der Südpol nicht sehr weit von Südafrika entfernt gelegen haben wird. Weitere devonische Eisspuren sind nicht bekannt.

Die wenigen Kohlenbildungen aus dem Devon haben wir bereits im Abschnitt „Karbon und Perm“ erwähnt. Sie sind schnell aufgezählt: Nach Blackwelder finden sich devonische Kohlen an mehreren Stellen Nordamerikas, namentlich im Staat Maine im äußersten Nordosten der Vereinigten Staaten; ferner nach Frech in Deutschland bei Neunkirchen in der Eifel, und nach Neumayr-Uhlig auch an einigen Orten in Frankreich und Spanien. Leuchs erwähnt devonische Kohlen am Nordfuß der Alaikette am Oberlauf des Syr Darja, und Neumayr-Uhlig solche in China. Alle diese Vorkommen scheinen der äquatorialen Regenzone des Devons zu entsprechen. Spätdevonisch sind weiter noch Kohlen auf der Bären-Insel, also nördlich der Old-Red-Wüste; diese Kohlenbildung setzt sich in das Frühkarbon fort und bildet damit den Anschluß an die Karbonzeit.

Besonders auffallend ist die devonische Wüstenbildung des Old-Red, die in Nordamerika von New York bis Neufundland, ferner in West-, Nordwest- und Ostgrönland, auf Spitzbergen und in Nordeuropa vorkommt und zu beweisen scheint, daß dies heute so zerrissene Kontinentalgebiet damals noch lückenlos zusammenhing und eine große Wüste, J. Walthers „rotes Nordland“, bildete (Fig. 21). Wenn auch Walther davor warnt, alle dickbankigen Sandsteine ohne weiteres als Erzeugnisse der trockenen Wüste zu betrachten, weil in der Vorzeit, als es noch keine Blütenpflanzen gab, vermutlich auch feuchtere Gebiete pflanzenleer sein konnten, so geht doch in unserem Falle die Trockenheit schon daraus hervor, daß das Old-Red sowohl in Nordamerika wie im Baltikum auch Salz und Gips enthält.²⁾

In England und Irland erreicht das Old-Red eine Mächtigkeit von 3000 m, in Schottland, wo die kaledonischen Faltungsprozesse an der Grenze von Silur und Devon große Schuttmengen lieferten, gar 5000 m.

In der spärlichen Fauna finden sich Lungenfische (*Ceratodus*) und Lungenschnecken, die imstande waren, eine vorübergehende Austrock-

1) H. Cloos, Geologische Beobachtungen in Südafrika, III. Die vorkarbonischen Glazialbildungen des Kaplandes. Geol. Rundsch. 6, Heft 7/8, 1916.

2) Dacqué, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie, S. 408. Jena 1915.

nung der Flüsse zu überstehen. „Wir kommen so zu der Vorstellung, daß das nordische Festland schon im Oberkambrium, dann wiederum im Obersilur, weiterhin durch die ganze Dauer der Devonperiode bis in die Unterkarbonzeit ein heißes Wüstenklima besaß, dessen Trocken-

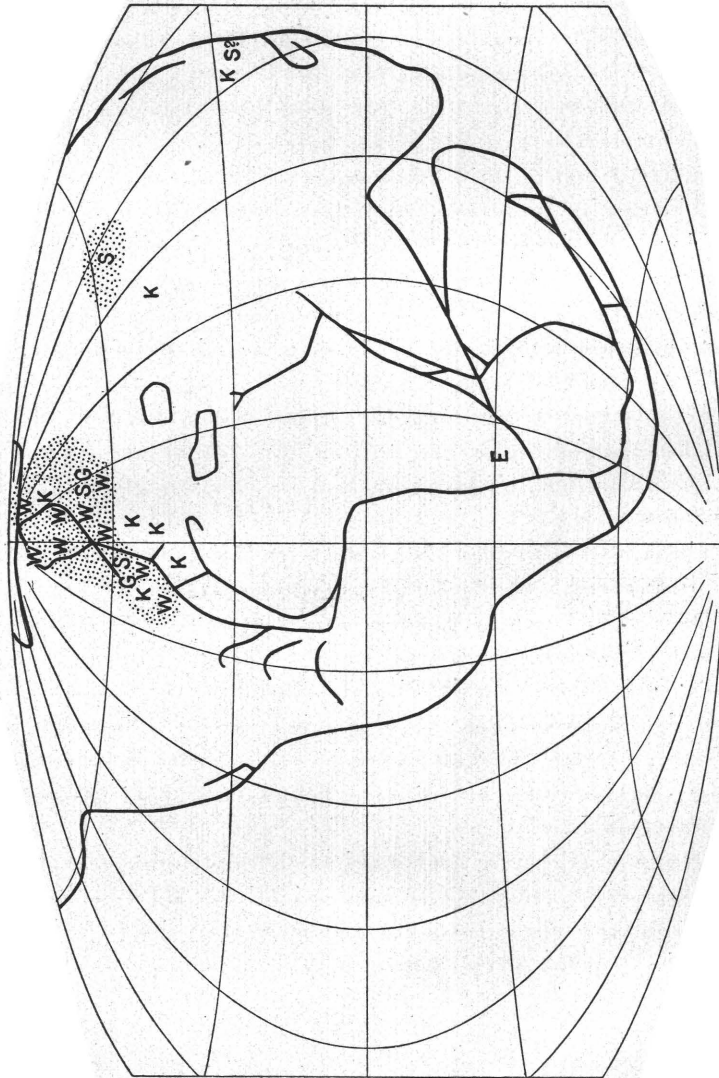


Fig. 21. Eis, Moore und Wüsten der Devonzeit, eingetragen in die Erdkarte für Spätkarbon.
(E Eis, K Kohle, S Salz, G Gips, W Wüstensandstein, punktierte Räume: Trockengebiete)

perioden nur selten von gewitterreichen Niederschlägen unterbrochen wurden. Dann entfernte der stürmische Wasserguß die rote, sandige Erde von den verwitterten Gehängen der Berge und bisweilen waren seine Fluten kräftig genug, um metergroße Blöcke abzureißen und, mit kleineren Felsentrümmern vereint, nach dem Fuße der Berge zu tragen,

so daß man in den Grampiansbergen und in Nordschottland noch jetzt die gewaltigen Felsblöcke in die Konglomerate eingestreut sieht. Man hat früher geglaubt, daß beim Transport dieser Massen Gletschereis eine Rolle gespielt habe, und auf gekritzte Geschiebe hingewiesen, die man darin fand. Allein es zeigte sich bei genauerer Untersuchung, daß sie von vordevonischen Felsen stammten, die von Bruchspalten durchzogen sind, auf denen sich deutliche Gleitharnische finden.“ (Walther.) Die Südgrenze dieses Old-Red-Gebietes geht in Europa durch England und das Baltikum. In der Eifel dagegen zeugt die devonische Kohle bereits von der äquatorialen Regenzone.

Im südlichen Sibirien, im Gouvernement Irkutsk und bei der Stadt Minussinsk, heute 13° nördlich (und bedeutend östlich) der devonischen Kohlen vom oberen Syr Darja, kommen Solquellen vor, deren Salzführung nach Buschman auf devonische Ablagerungen zurückgeht. Es ist dasselbe Gebiet, welches später im Perm Kohlen bildete. Der devonische Äquator muß also in Asien merklich südlicher gelegen haben als der permische. Nach Neumayr-Uhlig enthalten ferner auch die devonischen Ablagerungen Chinas Salzbildungen. Leider fehlen hier die Angaben über das zeitliche und räumliche Verhältnis zu den schon erwähnten devonischen Kohlen, für die gleichfalls nur „China“ angegeben wird.

Korallenriffe wurden im Devon in Europa etwa von England bis Südfrankreich gebildet, und in Nordamerika von New York bis Ohio. Die bei einzelnen Autoren anzutreffende Bemerkung, daß auch noch auf Ellesmereland (78° Breite) devonische Riffkorallen gefunden seien, geben wir mit Vorbehalt wieder; Einzelkorallen, wie sie heute in den norwegischen Fjorden leben, wären allerdings auch dort zu erklären, ebenso wie sie ja auch aus den devonischen, dicht über den Glazialablagerungen liegenden Schichten Südafrikas bekannt sind, während Riffe hier fehlen.

— Tragen wir alle diese devonischen Klimazeugnisse in unsere Karbonkarte ein, so ist jedenfalls so viel ersichtlich, daß die devonische Äquatorlage von der karbonischen in dem Sinne abwich, daß der Äquator auf den europäischen Meridianen etwas südlicher lag als im Karbon. (Vgl. Karte Fig. 21.)

B. Silur

Im Silur wird die Orientierung auf der immer weniger stimmenden Karbonkarte bereits schwieriger, aber es gibt doch, wie gezeigt werden wird, manche Stellen, die uns unmittelbar den Anschluß an die Position der devonischen Klimagürtel liefern.

Ob Eisbildungen aus der Silurzeit erhalten sind, ist unsicher. In Frage kommen dafür nach Cloos die früh- oder vorpaläozoischen

Eisbildungen in Südafrika, die etwa 25 000 qkm einnehmen, aber die Zeit ist noch nicht näher bestimmt. „Rogers denkt an Silur oder Cambrium; auch Algonkium würde noch in Betracht kommen.“

Dagegen sind silurische Kohlenbildungen an mehreren Stellen in Europa nachgewiesen. „Gewisse silurische Schiefer in Deutschland und England, die wegen ihres Reichtums an Schwefelkies zur Darstellung von Eisenvitriol und Alaun verwendet und danach Alaunschiefer genannt werden, enthalten reichliche Beimengungen kohlgiger Stoffe, die aber doch nicht beträchtlich genug sind, die Verwertung der Alaunschiefer als Brennmaterial zu gestatten. Schwache, unbauwürdige Kohlen- und Anthrazitflöze kennt man im Bereich silurischer Graptolithenschiefer in Portugal und in der Grafschaft Cork im Obersilur von Irland, im Silur der Insel Man usw.“ Nach F. Rinne sind auch in Böhmen silurische Anthrazite vorhanden.¹⁾ Herrmann hält diese „nur stellenweise verwertbaren geringmächtigen Anthrazitflöze“ wegen ihrer Lage zwischen marinen Schichten für Umwandlungsprodukte zusammengehäuften Seetangs.²⁾ Wenn diese Deutung richtig sein sollte, können derartige „Algenkohlen“ natürlich nichts mehr über den Regen aussagen und verlieren wohl einstweilen jede klimatologische Bedeutung. Wir haben aber große Bedenken gegen diese Deutung; denn wo entstehen heute Torflager auf solche Weise? Nach Herrmann finden sich schon im Silur Böhmens *Lepidodendron* und in dem des Harzes *Stigmara* und *Sphenopteridium*, was die Existenz einer Landflora ähnlich der karbonischen schon im Silur beweist; dann liegt es aber doch auch nahe, anzunehmen, daß auch die silurischen Kohlen ebenso wie die karbonischen aus Süßwasser-Flachmooren entstanden. Doch müssen wir diese Frage den Fachleuten überlassen. Jedenfalls würden die genannten Kohlenvorkommen sich ohne Schwierigkeit als Erzeugnisse der äquatorialen Regenzone des Silurs erklären lassen, da noch viele andere Anzeichen für tropisches Klima in Europa sprechen.

Verhältnismäßig am besten ist im Silur die nördliche Trockenzone zu verfolgen. In Europa nimmt sie etwa das Old-Red-Gebiet ein, wie schon aus den Angaben im Devon hervorgeht. Kreichgauer erwähnt insbesondere auch rote silurische Sandsteine vom Nordwestende der Baffinsbai. Aus dem Frühsilur stammen nach Neumayr-Uhlig auch die Solen in der Umgebung von Petersburg. Jedenfalls liegt dies nordeuropäische Trockengebiet nördlich der erwähnten Kohlen. In Nordamerika aber bildete sich im Spätsilur eine weit ausgedehnte Salzformation als Fortsetzung des europäischen Trockengebietes. In dieser

1) F. Rinne, *Gesteinskunde*. 6./7. Aufl. Leipzig 1921.

2) F. Herrmann, Artikel „Silurformation“, *Handwörterb. d. Naturwiss.* 9, S. 18—31. Jena 1913.

Zeit wurde nach Herrmann und Buschman Steinsalz und Gips in den Vereinigten Staaten abgelagert in New York, Pennsylvanien, Ohio, Virginia, Michigan, und auf kanadischem Gebiet in Ontario und Nord-Manitoba. In Ontario sind bis zu 12 m mächtige Steinsalzbänke erbohrt worden. Der Staat New York hat namentlich Solquellen, von denen Neumayr-Uhlig besonders die von Salina und Syracuse hervorheben. Diese Salzformation ist überall rot gefärbt, und Daqué betont, daß sich diese Rotfärbung erst innerhalb der Silurablagerungen einstellt, wodurch eine Erwärmung gegenüber den älteren Zeiten angezeigt wird. Die geographische Breite war hier offenbar im Abnehmen. Endlich sehen wir als Fortsetzung dieser Trockenzone nach Osten noch eine zweite, freilich frühsilurische Salzwüste in Südsibirien, nach L. Waagen im Angara-Lande nordwestlich des Baikal-Sees. Kreichgauer erwähnt auch rote silurische Sandsteine im Norden des Baikal-Sees. Durch dieses zusammenhängende Trockengebiet, welches nur der nördlichen Trockenzone entsprechen kann, ist die Orientierung der Klimagürtel in den großen Zügen auch für die Silurzeit gegeben. Berücksichtigen müssen wir freilich, daß das westliche Ende, in Nordamerika, später entstand als das östliche und dabei in Verlagerung nach Norden begriffen war. Im Frühsilur, als Südsibirien Salz bildete, mag es über Mittelamerika gelegen haben. — Die südliche Trockenzone ist im Silur noch nicht bekannt.

Die Verbreitung der silurischen Korallen steht mit dieser Orientierung der Klimagürtel anscheinend in guter Übereinstimmung. „Offenbar bauten sie schon damals Riffe, die in den wesentlichsten Punkten jenen entsprechen, die heute die Küsten der tropischen Meere umsäumen. Ziemlich vereinzelt im Untersilur (Nordamerika), gewinnen die Korallenriffe in der oberen Hälfte der Formation ganz gewaltig an Bedeutung: in den russischen Ostseeprovinzen, auf Gotland, in Norwegen, in Nordamerika und in verschiedenen anderen Gegenden treffen wir auf ihre Reste“ (Neumayr-Uhlig). Besonders üppige Riffbildung herrschte in Mitteleuropa, also etwa im Bereich der silurischen Kohlenvorkommen. „Gotland zeigt uns vielleicht das schönste Korallenriff der paläozoischen Periode.“ Aus über 1000 Arten besteht die Fauna des Gotländer Kalkes, der in Schweden überall die Hauptmasse des Silurs ausmacht. Im spätsilurischen Orthocerenkalk sind hier nach Herrmann besonders große Orthoceren aus der Untergattung *Endoceras* vorhanden, die auch auf warmes Wasser hindeuten. In England entspricht dem Gotländer Kalk der Wenlock-Kalk, der nach Neumayr-Uhlig stellenweise „massenhafte Anhäufungen von Korallen, ja wirkliche Riffbildungen“, daneben aber auch viele Kalkalgen (*Girvanella*) enthält. Das oberste Silur wird hier schon sandig wie das Old-Red und enthält 2 m lange Riesenkruster, die wohl auch auf tropisches

Klima hindeuten. Und endlich finden sich auch in den Alpen die Korallen wieder; „stellenweise, wie am Findenigkofel, sind auch Rifffkalke ausgebildet“ (Herrmann).

Ebenso unzweifelhaft scheint die Riffnatur der Korallen in Nordamerika zu sein. Der Niagarakalk ist hier das Äquivalent des Wenlock- und Gotländer Kalkes. Nach E. Kayser liegt über ihm die rote Salz- und Gipsformation, die schon besprochen wurde.

Nun sind silurische Korallen noch in vielen anderen Gegenden gefunden worden; Neumayr-Uhlig gibt an: North-Devon im nordamerikanischen Polararchipel, L. Waagen: Nordamerika von Grinnell-Land bis nach Arkansas, auf Novaja Semlja, den Neusibirischen Inseln, Nordsibirien im Olenek- und Chatangagebiet und „bis hinab nach Australien“. Aber wir dürfen wohl mit Recht bezweifeln, daß es sich hier um echte Riffbildungen mit jener üppigen Kalkabsonderung handelt, die für die warmen Tropengewässer charakteristisch ist. In einem Falle können wir hierfür bereits den Beweis liefern: Gregory hat gezeigt, daß die in das Britische Museum gelangten Silur-Korallen von Grinnell-Land durchweg verkümmerten Wuchs zeigen.¹⁾ Es dürfte sich hier um Einzelkorallen ohne riffbildende Kalkabsonderung handeln, wie sie heute z. B. in den kühlen Wassern der norwegischen Fjorde gedeihen.

Neumayr-Uhlig betont auch den sonstigen Faunenunterschied, der im Silur zwischen Nord- und Südeuropa bemerkbar ist, und möchte ihn für klimatisch bedingt halten. „Es bleibt . . . die Möglichkeit übrig, daß die Vorkommnisse in England, Skandinavien, Rußland, China und Nordamerika einer zusammenhängenden Nordzone, die in Chile und dem südlichen Australien einem antarktischen Verbreitungsgebiet angehören, während die in Böhmen, den Alpen, Sardinien, Frankreich, Spanien und Portugal als die nördlichsten einer äquatorialen Zone gelten müßten.“

Der äquatoriale Warmwassergürtel scheint auch durch die Graptolithen des Silurs bezeichnet zu sein, denn diese kommen nach Zittel vor in: Bolivien, in Nordamerika in Virginia, Iowa, Wisconsin, Tennessee, Ohio, New York, Neufundland, Canada, ferner in Europa in Spanien, Sardinien, Frankreich, Irland, England, Schweden, Norwegen, Deutschland, Kärnten, Polen, den baltischen Provinzen, am Ural; weiter wird merkwürdigerweise auch Australien genannt, was ganz herausfällt. Dagegen sollen die Graptolithen im Himalaja fehlen. Bei der immerhin auffallenden Übereinstimmung mit der damaligen Tropenzone möchten wir bezweifeln, daß die Zurückführung dieser Ablagerungen lediglich auf größere Meerestiefe unabhängig von der Temperatur, wie

1) Nach Dacqué, a. a. O., S. 406.

sie von manchen Autoren vertreten wird, haltbar ist. Es erscheint viel wahrscheinlicher, daß auch die Graptolithen, wenn sie vielleicht auch an etwas größere Meerestiefe gebunden waren, sich in ihrer Hauptentwicklung auf die damaligen Tropen beschränkten.

— Im ganzen läßt sich also auch im Silur die Lage der verschiedenen Klimazonen in großen Zügen noch leidlich verfolgen.

C. Kambrium

Im Kambrium läßt uns nun die Bezugnahme auf das System der Klimagürtel ganz im Stich, aber offenbar nur, weil es vorläufig unmöglich ist anzugeben, wie die Erdteile damals zueinander lagen. Wir haben nicht den geringsten Grund, daran zu zweifeln, daß sich in Wirklichkeit auch damals zwei Trockenzonen beiderseits der äquatorialen Regenzone befanden, und daß die Polargegenden mehr oder weniger vereist waren. Aber diese Klimazonen erscheinen so deformiert und durcheinandergeschoben, daß wir bei manchen dieser Zeugnisse im Zweifel sind, ob sie zur südlichen oder nördlichen Halbkugel gezählt werden müssen.

Durch Reusch sind kambrische Eisspuren im Varangerfjord im nördlichen Norwegen bekannt geworden, die später namentlich von Strahan genauer beschrieben wurden. „Über echten präkambrischen kristallinen Gesteinen liegt die quarzitische, schieferige und konglomeratführende Gaisa-Formation, deren unterer Teil glaziale Trümmer in einem dunkeln Geschiebelehm führt, in dessen Liegendem Gletscherschrammen nachgewiesen sind. Die Formation ist altkambrisch“ (Dacqué). Diese Spuren werden jedenfalls von allen für echt glazial gehalten, wenn auch Frech das Alter als zweifelhaft bezeichnet und einige Autoren sie in das Algonkium setzen wollen.

Andere Eisspuren, die gleichfalls allgemein für echt gehalten werden, finden sich nach Willis am Yangtse in China. Sie werden von E. Kayser als frühkambrisch bezeichnet und liegen unter Schichten mit kambrischen Versteinerungen. „Die glazialen Ablagerungen selbst bestehen ebenfalls aus einem Geschiebelehm und -ton mit typischen geschrammten und polierten Gesteinen; darüber folgt ein aus dem Glazialmaterial aufgearbeitetes, eine marine Ingression andeutendes Konglomerat, woraus hervorzugehen scheint, daß diese Glazialperiode den Schluß der algonkischen Zeit bedeutet, weil überall in China das Kambrium transgressiv auf algonkischer Abrasionsfläche liegt“ (Dacqué).

Unsicher dagegen ist die glaziale Natur der in Südastralien bis Adelaide gefundenen Eisspuren, angeblich gleichfalls frühkambrischen Alters. Dacqué und E. Kayser nehmen sie für echt glazial und

lassen nur das Alter noch unzureichend bestimmt, nach Frech¹⁾ aber handelt es sich „um geschrammte Gerölle, deren Politur auf Gebirgsdruck zurückgeführt wird (Basedow) und deren Altersbestimmung ebenfalls ganz zweifelhaft ist, sie gehören nach Noetling zur Dyas“.

Als sehr fraglich sind auch noch angebliche Glazialfunde in der indischen Salt Range und auch südlich davon auf der indischen Halbinsel zu erwähnen. Namentlich ist auch hier die Altersbestimmung nicht sicher; nach Dacqués Darstellung sind sie wohl schon dem Algonkium zuzuzählen. Leider wird nicht angegeben, in welchem Zeitverhältnis diese Glazialfunde zu der ja auch ins Kambrium gesetzten Salzformation der Salt Range stehen, mit der sie sich doch klimatisch gar nicht vertragen. Solange dieser Widerspruch nicht gelöst ist, lassen sich die kambrischen Glazialzeugnisse von Indien kaum verwerten.

Schließlich sei erwähnt, daß auch die ältesten Glazialspuren von Südafrika nach Cloos ebensogut kambrischen wie silurischen oder algonkischen Alters sein können. Wenn wir das frühkambrische Alter der chinesischen Eisspuren als richtig voraussetzen, so würden die südafrikanischen Spuren auch bei starker Verschiebung der ostasiatischen Küstengebiete immerhin recht weit entfernt von ihnen liegen, so daß wir es vorziehen würden, diese afrikanischen Spuren in wesentlich jüngere Zeiten, nämlich in das Silur zu setzen, wo sie sich dann an die frühdevonischen Eisspuren des Kaplandes gut anschließen.

Von kambrischen Kohlen ist nichts bekannt. Dagegen lassen sich die Trockengebiete einigermaßen festlegen. Die Solquellen in Ostsibirien entstammen nach Buschman nicht nur dem Untersilur, sondern auch dem Kambrium. Europa und Nordamerika stehen im Kambrium im Zeichen zunehmender Wärme nach der algonkischen Vereisung. Die Eisspuren im Varangerfjord gehören noch dem Frühkambrium an, im Spätkambrium dagegen bilden sich in Schottland und anderen Teilen des späteren Old Red-Gebietes rote Wüstensandsteine. Für Nordamerika ist Willis zu dem gleichen Ergebnis der Klimabesserung im Laufe des Kambriums gekommen. Hier wurde im Spätkambrium der Potsdamsandstein gebildet. Im Silur folgte dann hier die große Salzformation.

Merkwürdigerweise findet sich nun im Kambrium noch ein anderes, durch Salzbildungen sehr auffallendes Trockengebiet in Vorderindien. Neumayr-Uhlig beschreibt es mit den Worten: „Die geologisch ältesten Salzlager finden wir im Kambrium der Salzkette (Salt Range) vom Pandschab in Ostindien. Sie sind mit Gips und rotem Mergel ver-

1) F. Frech, Artikel „Kambrium“ im Handwörterbuch der Naturwiss. 5, 658—665, Jena 1914.

gesellschaftet und werden schon seit uralter Zeit abgebaut. In dem außerordentlich trockenen [heutigen] Wüstenklima der Salzkette erhalten sich einzelne derartige Lager als zu Tage anstehende Felsen; auf einem solchen Salz- und Gipsstock ist die Stadt Amb erbaut.“ Leider kennt man das Liegende des Salzes nicht und weiß nur, daß es älter sein muß als die darüberliegenden kambrischen Schichten. Meist wird es als frühkambrisch bezeichnet, doch ist wohl auch noch größeres Alter möglich. Die Lage dieses Trockengebietes paßt auf unserer Karbonkarte nicht mehr gut zu den übrigen Klimazeugnissen, wie denn auch die gleichzeitigen Eisbildungen in China und in Norwegen, die doch mindestens 120° voneinander entfernt sein sollten, auf dieser Karte eine zu geringe Entfernung besitzen.

Mächtige Kalkbildungen aus kambrischer Zeit finden sich nach Frech in Schonen, Nordschottland und Sardinien, ferner im kanadischen Felsengebirge und in Ostasien (ohne nähere Ortsangabe). Sehr ähnlich verläuft der von Dacqué in einem Kärtchen erläuterte Gürtel der korallenähnlichen Archäocyathen, die sich im westlichen Nordamerika in Nevada, im Osten im südlichen Labrador und New York finden, ferner in Europa in Schottland, Frankreich, Spanien, Sardinien, und auf asiatischem Gebiet am Altai und im indischen Pandschab sowie Nordchina. Weiter werden Südostaustralien, das Weddel-Meer, und fraglich auch Graham-Land und Deutsch-Südwestafrika genannt. Dacqué macht aber selbst darauf aufmerksam, daß diese Angaben nicht gleichwertig in bezug auf Riffbildung sind und auch zeitliche Unterschiede aufweisen. So stellen sich die Archäocyathiden in Schottland erst im Mittelkambrium ein, nachdem die frühkambrische Vereisung des Varangerfjords aufgehört hatte. Auch die chinesischen Funde sollen nach Walcott mittelkambrisch, also jünger als das Eis, sein. Für Australien reproduziert Dacqué eine von Howchin gegebene Schichtenfolge, nach welcher über dem glazialen Tillit zuerst Kieselkalke mit Radiolarien und dann erst Trilobiten- und Archäocyathidenschichten folgen. Auch hier ist also eine Erwärmung im Laufe des Kambriums eingetreten. Dagegen fehlen die Archäocyathiden trotz Vorhandenseins kambrischer Ablagerungen in Südamerika. Daß die Archäocyathiden auch im westlichen Nordamerika nördlich von Nevada und auch auf Alaska fehlen und ebenso auch auf den Neusibirischen Inseln, ist bei der zeitlichen Nähe der algonkischen Vereisung nicht zu verwundern.

Auch die sonstige Meeresfauna des Kambriums zeigt gewisse regionale Unterschiede, in denen man klimatische Einflüsse zu erkennen glaubt. Haug betont den Unterschied zwischen Nord- und Südeuropa. Sao ist z. B. nur im Süden, Microdiscus nur im Norden vertreten. Trotzdem wird meist die europäische Fauna als Einheit betrachtet und mit

der des östlichen Nordamerika zu einer nordatlantischen Provinz vereinigt, welcher eine pazifische Provinz gegenübergestellt wird, die in China, Australien und dem westlichen Nordamerika vertreten ist. Um nur ein Beispiel zu nennen: Paradoxites, den Frech „die häufigste Gattung mittelkambrischer Art des atlantischen Gebiets“ nennt, kommt in Böhmen, Spanien, Sardinien, Massachussetts vor, fehlt dagegen in den Gebieten von Westamerika, Argentinien und in Ostasien.¹⁾ Da in Europa alle Anzeichen, wie die besonders üppige Entwicklung der Archäocyathiden usw., für tropische Wärme sprechen, so liegt die Vermutung nahe, daß die „atlantische“ Fauna die der warmen Zone, die pazifische die der gemäßigten oder kalten Zonen darstellt; aber es ist fraglich, ob diese Unterschiede ausschließlich klimatischer Natur sind.

D. Algonkium

Noch mehr als im Kambrium macht sich natürlich das Fehlen der Kartenunterlage im Algonkium bemerkbar. Glücklicherweise haben wir hier einen besonders guten Ausgangspunkt für die Betrachtung in der anscheinend sehr ausgedehnten algonkischen Vereisung des nördlichen Teiles von Nordamerika. Dacqué schreibt über sie: „In den oberhuronischen Basaltkonglomeraten hat Coleman an zwei 4 Meilen voneinander entfernten Punkten der Silberminenregion nördlich vom Huron-See in Canada abpolierte und gekritzte Geschiebe aus in der Umgebung anstehendem archaischen und unteralgonkischen Gestein entdeckt, die in einem tillitartigen, grauackig-sandigen Gestein eingebettet sind . . . Ganz ähnliche, aber nicht gekritzte, vielleicht also fluviatil-glaziale Konglomerate liegen auf einer Erstreckung von über 700 Meilen in Ontario, vom Temiscaming-See im Osten bis zum Lake of the Woods im Westen, vom Huron-See im Süden bis zum Nordende des Nipigon-Sees auf eine Erstreckung von 250 Meilen, und erreichen eine Mächtigkeit von ca. 300 m. Andere Vorkommen von Konglomeraten in Canada, Minnesota, Michigan und Neufundland sind analog entwickelt und vielleicht als fluviatile Glazialgebilde anzusprechen.“ Dacqué erwähnt ferner, daß nach Gregory auch auf Spitzbergen ein glaziales Konglomerat das Kambrium unterlagert, bezeichnet allerdings auf seiner Glazialkarte diese algonkische Vereisung Spitzbergens als fraglich; und endlich sollen auch an der Lenamündung präkambrische Glazialablagerungen gefunden sein. (Auf der genannten Karte gleichfalls mit Fragezeichen versehen.) „Jedenfalls kann das amerikanische huronische Glazialphänomen nunmehr als allseitig anerkannt gelten, und Schuchert will es sogar noch in früh- und spätalgon-

1) Für die atlantische Fauna sind charakteristisch: Paradoxites, Olemus. Für die pazifische: Die ältesten Asaphiden, Dicelloccephalus, Ceratopyge.

kische Vorkommen gliedern, so daß wir mehrere Vereisungen hätten.“ Die früher erwähnten Eisspuren im Frühkambrium des nördlichen Norwegens stellen sich hiernach als Ausläufer dieser algonkischen Eiszeit Nordamerikas dar. Mit diesem Ausgreifen der nördlichen Polarkappe über weite Gebiete des nordamerikanischen und europäischen Festlandes steht auch die von Haug hervorgehobene Tatsache in Zusammenhang, daß hier im Algonkium die Kalkbildung auffallend zurücktritt, im Gegensatz zum Kambrium und Silur.

Weit getrennt von diesen gesicherten Eisspuren finden sich die schon erwähnten unsicheren in Vorderindien. Hier sind bei Blaini in der Salt Range Glazialspuren gefunden, die von David als kambrisch bezeichnet werden, die aber nach Schuchert möglicherweise als präkambrisch zu betrachten sind. Und ebenso hat Vredenburg weiter südlich auf der indischen Halbinsel Gerölle von glazialer Lagerungsart beschrieben, die möglicherweise vorkambrisch sind. Erinnert sei auch daran, daß auch für die ältesten Eisspuren in Südafrika noch algonkisches Alter in Frage kommt. — Leider sind diese Spuren der südlichen Polarkappe, wie hervorgehoben, noch nicht als gesichert zu betrachten.

Interessanterweise sind auch aus dem Algonkium noch Kohlenbildungen bekannt. Nach E. Kayser, L. Waagen u. a. gibt es in Finnland nördlich des Onega-Sees ein 2 m dickes Kohlenflöz, welches nach Sederholm das älteste bekannte Kohlenlager darstellt. Die als „Schungit“ bezeichnete Kohle brennt nicht mehr und steht in ihrer Beschaffenheit zwischen Anthrazit und Graphit.

Der Wüstensandstein des Old Red-Gebietes wurde nach Daqué schon seit dem Algonkium gebildet. Der algonkische Torridonsandstein des nordwestlichen Schottlands ist nach E. Kayser „eine mehrere tausend Meter mächtig werdende, hauptsächlich aus rötlichen Sandsteinen und Arkosen¹⁾ bestehende, nahezu horizontal gelagerte Bildung.“ J. Walther sagt: „Nordschottland war in algonkischer Zeit ein gebirgiges Festland, dessen steil aufragende Kämme und Felsenacken, durch keine Vegetation geschützt, dem zerstörenden Einfluß der atmosphärischen Kräfte rasch unterlagen. Große Schuttkegel und gewaltige Bergstürze bewegten sich an steilen Böschungen nach den Tälern hinab. Regengüsse breiteten sich in den Senken aus, bildeten vergängliche Trockenseen, an deren Boden geschichtete Tone abgelagert wurden, während der Sturm feine und grobe Sande zu vergänglichen Sandhügeln oder wandernden Dünen aufhäufte.“ Dem schottischen Torridonsandstein entspricht der gleichfalls algonkische rötliche Dalasandstein im zentralen Norwegen. Es kann hiernach kaum

1) „Arkosen bestehen aus Feldspat, Quarz und Glimmer, also den Trümmern von Granit oder Gneis, die in einem meist spärlichen, tonigen, kieseligen oder hämatitischen Bindemittel liegen.“ (Rinne.)

zweifelhaft sein, daß Schottland sich in den ganzen ungeheuren Zeiträumen vom Algonkium bis zum Karbon und noch weiterhin im Bereich der nördlichen Trockenzone befand, wenn es auch die geographische Breite innerhalb dieses Spielraums noch stark wechselte. Immerhin beweist diese Tatsache eine gewisse Stabilität der Pollage auch in den ältesten Zeiten und verbietet die Annahme von Polwanderungen um 180° , wie sie von Kreichgauer angenommen wurden. Auch die algonkische Vereisung Nordamerikas kann wie die quartäre offenbar nur vom Nordpol verursacht worden sein. Im übrigen sind leider die algonkischen Ablagerungen noch zu wenig bekannt, um weitere Schlüsse auf die damaligen Klimate zu gestatten.

Kapitel VI

Polwege und Breitenänderungen in der Erdgeschichte

Aus dem Vorangehenden ergeben sich folgende wahrscheinlichste Lagen des Nord- und Südpols, bezogen auf das heutige Gradnetz Afrikas (Längen von Greenwich):

		Karbon	Perm	Trias	Jura	Kreide	Eozän	Miozän	Beginn d. Quartärs
Nordpol	{ Breite	30° N	35° N	50° N	47° N	47° N	45° N	75° N	70° N
	{ Länge	145° W	115° W	125° W	132° W	140° W	160° W	150° W	60° W
Südpol	{ Breite	30° S	35° S	50° S	47° S	47° S	45° S	75° S	70° S
	{ Länge	35° O	65° O	55° O	48° O	40° O	20° O	30° O	120° O

In Fig. 22 ist diese Bahn der Pole, bezogen auf Afrika, dargestellt. Die übrigen Kontinente sind sowohl in ihrer heutigen Lage wie auch (mit gestrichelten Konturen) in ihrer karbonischen Lage gezeichnet, und zwar sind die Kontinentalschollen ohne Rücksicht auf die Wasserbedeckung ihrer niedrigeren Teile zur Anschauung gebracht.

Die Genauigkeit dieser Positionen der Pole läßt sich naturgemäß schwer zahlenmäßig ermitteln. Unser allgemeiner Eindruck ist der, daß wohl die meisten Positionen mit Fehlern von etwa 2 Großkreisgraden behaftet sind, daß aber nur sehr wenige, vielleicht gar keine, solche von 5° besitzen.

Für einen gegebenen Beobachtungsort lassen sich aus unseren Karten ohne größere Schwierigkeiten die sukzessiven geographischen Breiten entnehmen. Man hat hierdurch ein ausgezeichnetes Mittel, um sich einen Überblick über die Klimafolgen zu verschaffen, denen er im Laufe der Erdgeschichte ausgesetzt gewesen ist. Für die genauere Deutung des Klimas sind dann freilich noch verschiedene andere Faktoren in Betracht zu ziehen, wie die Strenge des Polarklimas u. a. In Fig. 23 haben wir die Änderung der Breitenlage graphisch dargestellt, welche die fünf Orte Leipzig, Tokio, Kairo, Punta Arenas und Hobart im Laufe der Erdgeschichte erfahren haben. Für Leipzig glaubten wir diese Kurve näherungsweise schon bis zum Algonkium geben zu können. Wie man sieht, gehen bei der großen tertiären Polwanderung die

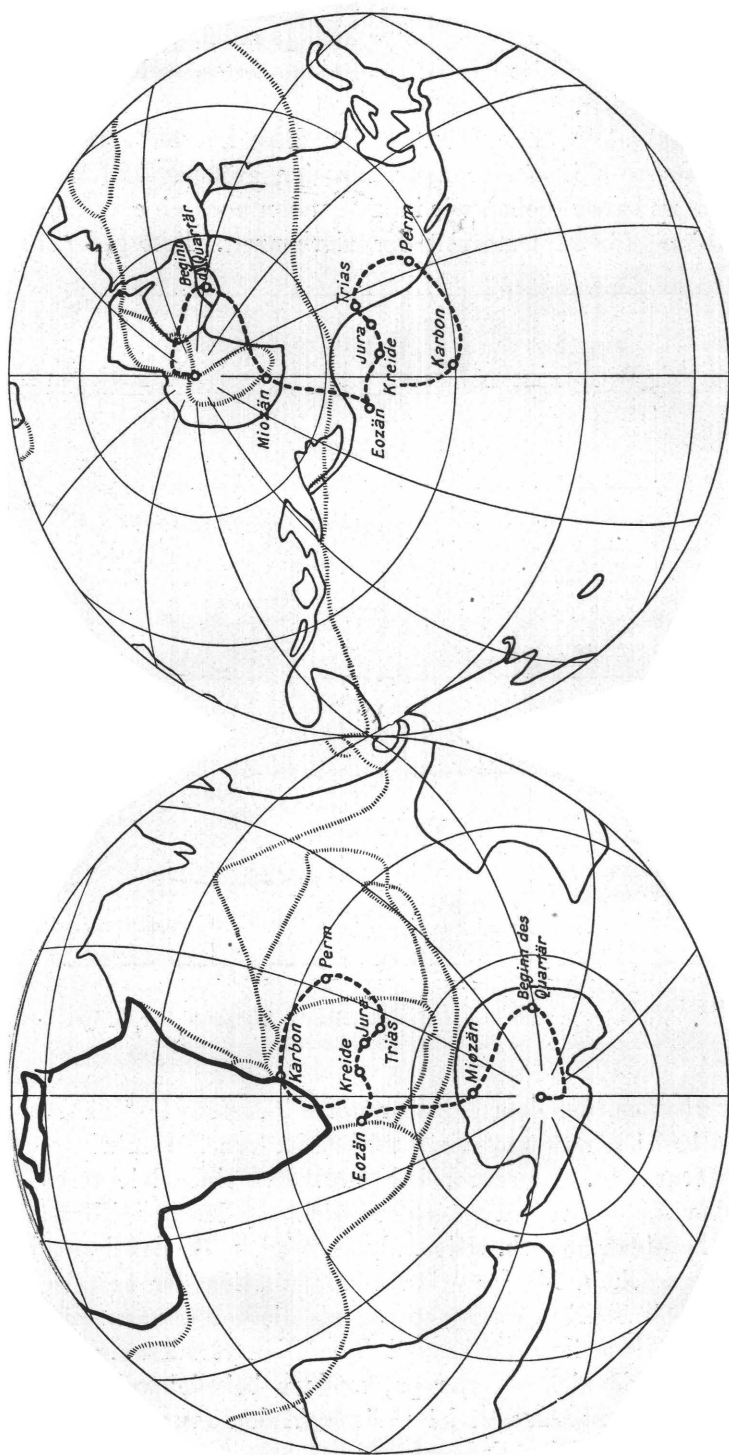


Fig. 22. Polwege, bezogen auf Afrika
Grenzen der Kontinentalblöcke; schattiert im Karbon, fest in der Jetztzeit

Kurven von Leipzig und Punta Arenas ungefähr parallel, und diejenigen von Tokio und Hobart unter sich parallel, den ersteren aber entgegengesetzt. Kairo ist das Beispiel eines Ortes, welcher die Halbkugel gewechselt hat.

Da es wohl nicht ohne Interesse ist, diese kurze Darstellung des Hauptgliedes der Klimaänderungen für eine größere Zahl von Orten auf der Erde zu haben, geben wir im folgenden noch eine Zahlentabelle der Breitenlage für 27 Orte seit der Karbonzeit. Fett gedruckt sind

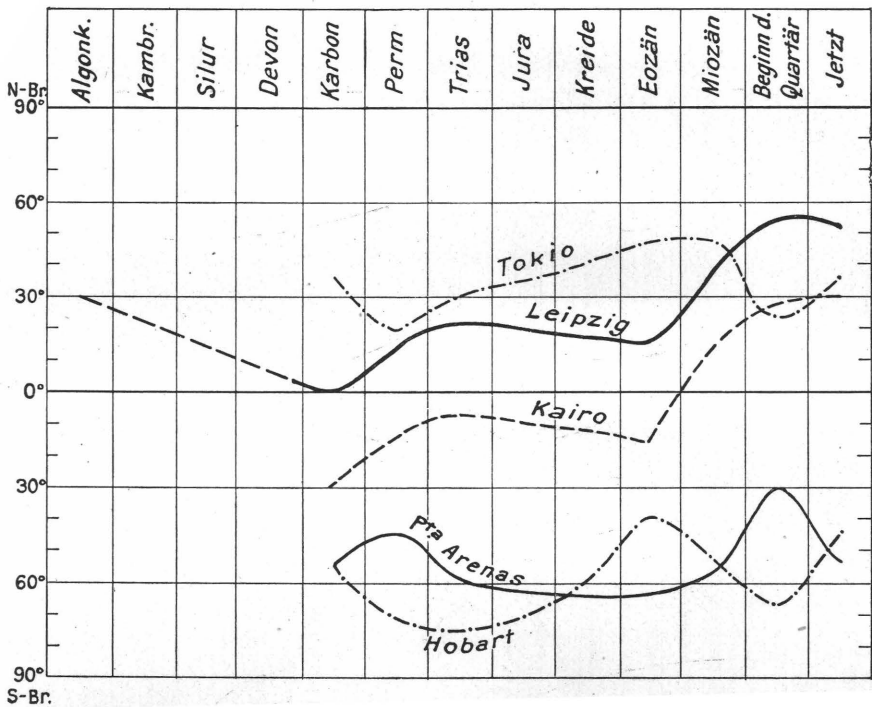


Fig. 23. Änderungen der geographischen Breite im Laufe der Erdgeschichte für 5 ausgewählte Orte

diejenigen Breiten, die dem Äquator um mindestens 20° näher liegen als die heutigen; kursiv und mit * solche, die von ihm mindestens 20° weiter entfernt sind. Hierdurch bekommt man einen leichteren Überblick darüber, wo, wann und in welcher Richtung das vorzeitliche Klima stark vom heutigen abwich. Die Tabelle zeigt z. B., daß besonders in Europa, aber auch in Nordamerika und Nordasien der weitaus größte Teil der Vorzeit erheblich wärmer war als die Gegenwart, während es in Südasien, Südamerika, Afrika und Australien gerade umgekehrt war. Wäre die Geologie nicht in Europa, sondern beispielsweise in Afrika oder Australien entstanden, so hätte sie wohl den Trugschluß einer allgemeinen Abkühlung der Erde vermieden.

Breitenänderung von 27 Orten seit dem Karbon

	Karbon	Perm	Trias	Jura	Kreide	Eozän	Miozän	Beginn d. Quartär	Jetzt
Nordamerika:									
Mt. Elias	50	66	78	75	74	58	78	66	60
S. Francisco	32	58*	52	50	42	32	50	59*	38
New York	0	18	20	18	12	11	38	62*	41
St. Louis	15	32	32	30	29	18	42	66*	39
Mexiko	8	30	22	19	12	10	26	47*	19
Europa:									
Spitzbergen	24	32	42	40	40	38	65	70	79
Leipzig	0	13	20	19	18	15	39	53	51
Madrid	-6	14	16	13	10	0	30	50	40
Asien:									
Neusibirische Inseln	32	35	50	45	52	45	68	60	75
Irkutsk	22	12	28	29	31	37	54	37	52
Tokio	36	19	30	33	40	48	48	24	36
Batavia	-30*	-50*	-40*	-37*	-33*	-8	-13	-26*	-6
Colombo	-82*	-69*	-65*	-69*	-70*	-58*	-24	-18	7
Südamerika:									
Panama	-10	15	6	0	-2	-17	6	31*	9
Arica	-45*	-20	-30	-35	-42*	-45*	-20	5	-18
Rio	-63*	-40	-42*	-45*	-50*	-62*	-24	1	-22
Punta Arenas	-55.	-45	-60	-62	-63	-63	-57	-31	-53
Afrika:									
Kairo	-30	-15	-8	-10	-12	-15[0]	14	27	30
Kamerun	-46*	-29*	-27*	-28*	-32*	-40*	-10	11	4
Kapstadt	-72*	-52	-*	-65*	-70*	-80*	-51	-28	-34
Madagaskar (Mitte) .	-80*	-65*	-60*	-65*	-65*	-61*	-40*	-26	-19
Australien:									
Perth	-78*	-72*	-67*	-70*	-70*	-40	-46	-54*	32
Kap York	-43*	-70*	-60*	-55*	-41*	-15	-28	-40*	-11
Hobart	-55	-71*	-76*	-70*	-60	-40	-55	-69*	-43
Christchurch	-41	-60	-68*	-58	-50	-22	-41	-57	-44
Antarktika:									
Seymour-Inseln . . .	-55	-50	-68	-67	-69	-67	-64	-40	-64
Mt. Erebus	-60	-64	-80	-75	-68	-53	-80	-80	-77

Kapitel VII

Die Klimate des Quartärs

Im Abschnitt über das Spättertiär war bereits gezeigt worden, daß die Pole zu Beginn des Quartärs eine von der heutigen ziemlich abweichende Lage hatten. Andererseits müssen sie am Schluß der Quartärzeit bereits die heutige Lage eingenommen haben. Das Quartär war also die Zeit, in welcher die Pole von der in der Karte Fig. 19 (S. 117) angegebenen Lage in die heutige übergingen. Die Frage der Pollage im Quartär ist damit bereits in den Hauptzügen gelöst, so daß wir nur noch Ergänzungen hierzu zu bringen haben.

Dafür tritt uns hier ein neues Problem entgegen, nämlich die Gliederung des Quartärs in Eis- und Interglazialzeiten. Die Untersuchung und Erklärung dieser relativ kurzperiodischen Klimaschwankungen wird daher den wichtigsten Inhalt dieses Kapitels bilden.

A. Übersicht der Tatsachen.

Nachdem Europa und Nordamerika seit der algonkisch-kambrischen Vereisung während ungeheurer langer Zeiträume tropisches bis subtropisches Klima gehabt hatten, begann für sie gegen Ende der Tertiärzeit ein neues Eiszeitalter, zuerst in Nordamerika, dann auch in Europa, das seinen Höhepunkt im Quartär erreichte. In den Gebirgen senkte sich die Schneegrenze wiederholt um etwa 1200 m, und in den einzelnen Eiszeiten wurden weite Teile beider Festländer unter einem kilometermächtigen Inlandeise begraben, während in den Interglazialzeiten das Eis ganz oder teilweise wegschmolz und eine Flora ähnlich der heutigen in das freigegebene Land einzog. Die größte Ausdehnung dieser Nordatlantischen Vereisung ist auf Fig. 24 dargestellt. Die geologischen Produkte dieser Eisüberschwemmung sind äußerst mannigfaltig und bilden den Gegenstand eines besonderen Zweiges der Geologie, nämlich der Glazialgeologie. Im folgenden werden nur solche herangezogen werden, die ein besonderes klimatisches Interesse haben.

1. Europa. Schon im Anfange des vorigen Jahrhunderts haben Playfair und Schimper, später Venetz, Charpentier und

viele andere erkannt, daß sich in den Alpen zahlreiche Erscheinungen nur durch die Annahme einer einst viel größeren Ausdehnung der Gletscher erklären lassen. Die Alpen waren im Quartär zwar nicht so stark vereist, wie heute Grönland, denn die Grate ragten auch aus dem am stärksten ausgebildeten Eisschilde des mittleren Teils noch

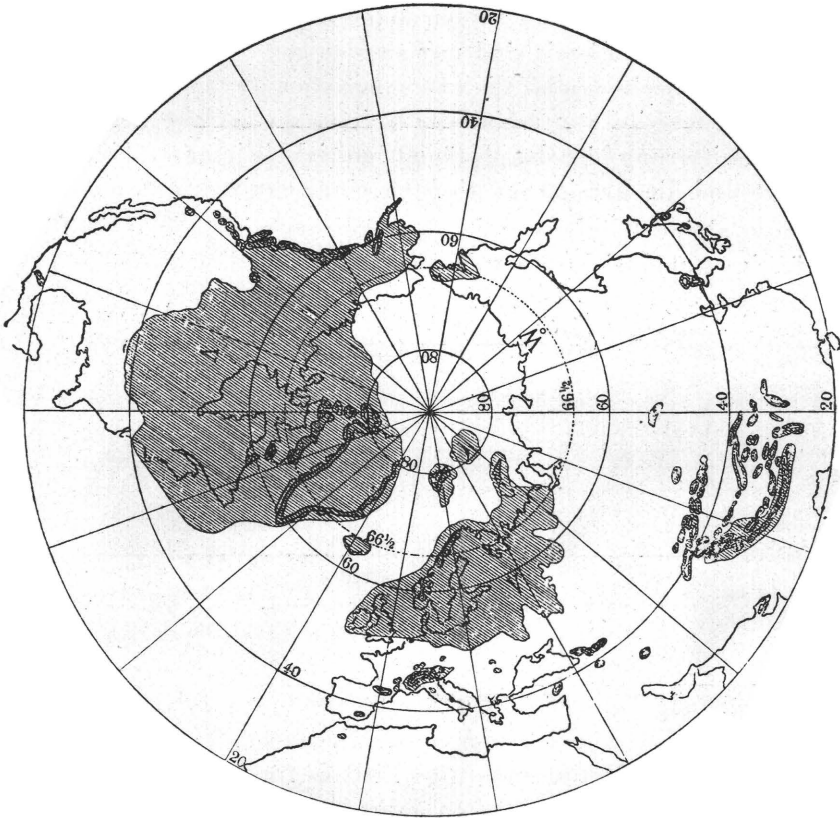


Fig. 24. Ausdehnung der pliozänen und quartären Glazialspuren

um 1000 bis 2500 m heraus. Aber das Netz von Eisströmen, das sie durchzog, überfloß viele der Pässe, und im Norden breiteten sich am Fuß des Gebirges die aus den Tälern herausgeflossenen Eismassen zu ausgedehnten Vorlandgletschern aus. Die Eisscheide lag dabei nördlich der heutigen Wasserscheide.

A. Penck und E. Brückner haben die Spuren dieser quartären Vereisung der Alpen eingehend untersucht und ihr umfangreiches Beobachtungsmaterial in dem dreibändigen Werk: „Die Alpen im Eiszeitalter“ niedergelegt.¹⁾ Hauptsächlich auf Grund der Schotterterrassen

1) Penck und Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter. 3 Bände. Leipzig 1901—1909.

der Flüsse kommen sie zu dem Ergebnis, daß die Vereisung viermalig war, mit drei dazwischenliegenden Interglazialzeiten. Sie bezeichnen die Eiszeiten als Günz-, Mindel-, Riß- und Würm-Eiszeit. Bei letzterer werden noch mehrere Rückzugsstadien unterschieden. Die Moränen der Würm-Eiszeit treten als wenig verwitterte „Jungmoränen“ in Erscheinung. Die größte Ausdehnung hatte das Eis jedoch in den Ostalpen in der Mindel-Eiszeit, in den Westalpen in der Riß-Eiszeit. Die Spuren der ältesten Eiszeit sind nur an wenigen Stellen erhalten. Von den Interglazialzeiten muß diejenige zwischen der Mindel- und Riß-Eiszeit (Mindel-Riß-Interglazialzeit) weitaus die längste gewesen sein, da die Verwitterung hier das Moränenmaterial bis in große Tiefen hinab verändert und die Erosion am tiefsten eingeschnitten hat.

Diese alpine Gliederung des Eiszeitalters wird allgemein für die vollständigste und sicherste gehalten, so daß auch wir sie in diesem

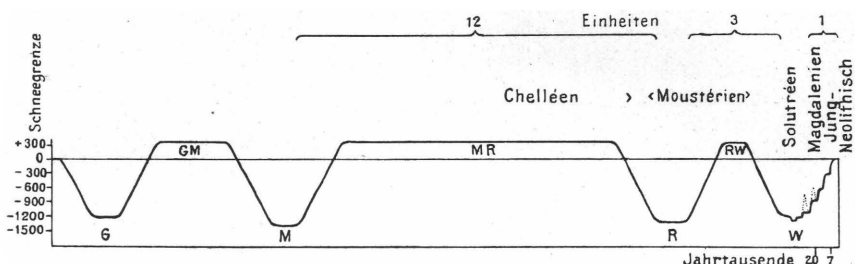
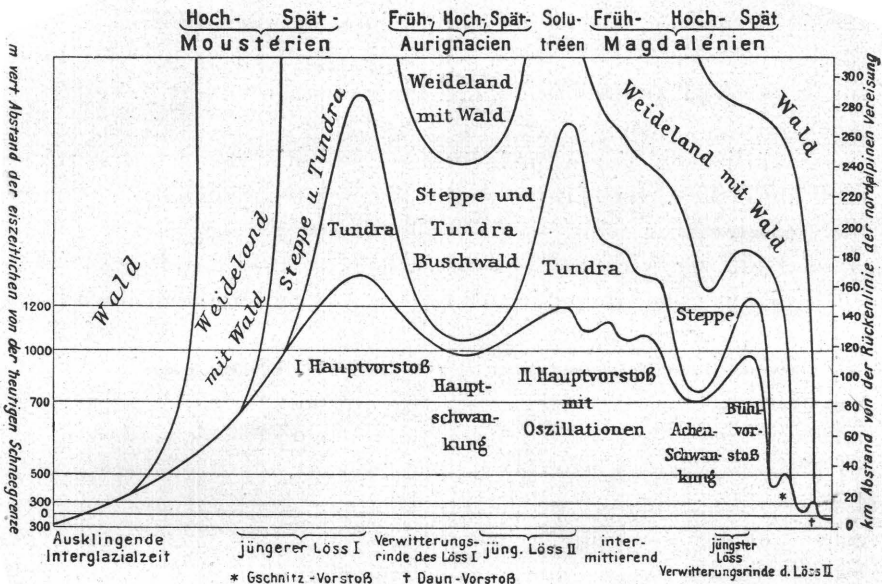


Fig. 25. Verlauf des Eiszeitalters in den Alpen nach A. Penck und E. Brückner
GMRW die vier Eiszeiten, Abszissen die Zeit

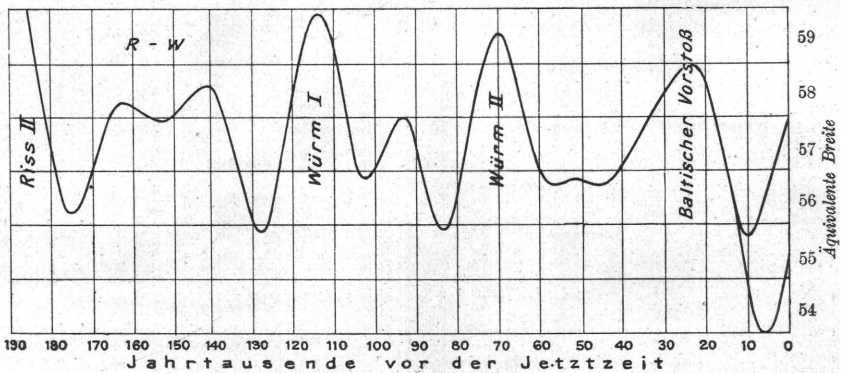
Kapitel zugrunde legen müssen. Über die absolute Zeitdauer sind natürlich nur rohe Schätzungen bisher möglich gewesen. So fand Königsberger nach dem Heliumgehalt des Zirkons für den Beginn des Quartärs das Alter von $\frac{1}{2}$ bis 1 Million Jahren. In dem Schlußband des erwähnten großen Werkes von Penck und Brückner (auf S. 1168) gibt uns Penck die Schätzungen, die sie hauptsächlich auf Grund der Erosion der in den Eiszeiten abgelagerten Flußschotter während der Interglazialzeiten erhalten haben, und zwar in Gestalt der in Fig. 25 nur mit Vertauschung von rechts und links wiedergegebenen „Klimakurve des Eiszeitalters“. Der Maßstab am oberen Rande drückt die Dauer der beiden letzten Interglaziale in Einheiten aus, als welche die Zeitdauer seit der Ablagerung der Bühl-Moränen im Vierwaldstätter See genommen ist, die Penck auf 20 000 Jahre annimmt, wie dies am rechten Rande der Figur angedeutet ist. Die letzte, Riß-Würm-Interglazialzeit schätzt Penck auf 60 000, die vorhergehende, Mindel-Riß-Interglazialzeit aber viermal länger, auf 240 000 Jahre. Über die Dauer der Eiszeiten spricht Penck keine Vermutung aus, in der Figur aber

hat er etwa 660 000 Jahre als die seit Beginn der Günz-Eiszeit verflossene Zeit angenommen.

Als neue Weiterentwicklung geben wir noch in Fig. 26 eine graphische Darstellung des Verlaufs nur der Würm-Eiszeit in Süddeutsch-



A. Verlauf der letzten Eiszeit in Süddeutschland nach Soergel



B. Sonnenstrahlung auf 55° Nordbreite nach Milankovitch

Fig. 26

land nach Soergel¹⁾ (unter Fortlassung der Fundorte). Die Würm-Eiszeit erscheint hiernach gegliedert in 2 Hauptvorstöße, Würm I und Würm II; den nachfolgenden Bühlvorstoß läßt Soergel sehr zurücktreten, sagt aber andererseits auf S. 129 seines Buches: „Die Haupt-

1) W. Soergel, Löss, Eiszeiten und paläolithische Kulturen. Jena 1919.

masse des intramoränen Löß scheint dem Bühlvorstoß anzugehören, womit dieser als eine in hohem Maße selbständige glaziale Einheit, und die ihm vorhergehende Achenschwankung als bedeutendste seit der ‚Hauptschwankung‘ gekennzeichnet wird.“ (Auf die im unteren Teil der Figur zum Vergleich wiedergegebene Strahlungskurve von Milankovitch werden wir im nächsten Abschnitt zurückkommen.) Noch ausgesprochener sind die drei Vorstöße der letzten Eiszeit in der Tabelle von Krenkel unterschieden, die wir weiter unten auf S. 178 wiedergeben.

Natürlich existieren auch Schätzungen, die von den angeführten stark abweichen. So hält de Geer die meisten Zeitangaben für weit überschätzt. Aber seine Methode der Jahreszählung nach Lehmhorizonten, mit der wir uns noch im Abschnitt über das Postglazial beschäftigen werden, ist nur in der letzten Abschmelzperiode verwendbar und versagt in der älteren Zeit. Merkwürdig ist es, daß Pilgrim auf Grund derselben astronomischen Tatsachen, die uns im nächsten Abschnitt zu einer guten Übereinstimmung mit Pencks Schätzungen führen werden, allein die seit Beginn der Mindel-Eiszeit verflossene Zeit auf nicht weniger als 940 000 Jahre berechnet. Es liegt dies an seiner abweichenden, offenbar unrichtigen Deutung des Einflusses jener Tatsachen auf die Vereisung.

Die in den Alpen gewonnenen Anschauungen boten schon frühzeitig Anlaß, die quartäre Überschüttung Nordeuropas bis zum südlichen England, dem Harz und den Karpathen mit ungeheuren Massen von Tonen, Kiesen und Findlingsblöcken nicht mehr einer Flut, Diluvium, sondern der Wirkung des Eises zuzuschreiben. Zunächst nahm man freilich jahrzehntelang an, daß diese Massen in Eisbergen und Eisschollen auf dem Meere verfrachtet seien. Erst Anfang der siebziger Jahre wurde die großartige Auffassung ausgesprochen, und erst 1875, besonders nach einem Vortrag des schwedischen Geologen Torell in Berlin, drang sie durch, daß dieser Transport direkt durch Gletscher, nämlich durch ein ganz Nordeuropa bedeckendes Inlandeis erfolgt sei. Aber noch heute ist es nicht gelungen, restlose Klarheit in die Gliederung des norddeutschen Quartärs und ihre Beziehung zur Gliederung der alpinen Eiszeiten zu bringen, wenn auch der früher sehr lebhaft streit zwischen Mono- und Polyglazialisten jetzt wohl als abgeschlossen gelten darf. Nach der von den norddeutschen Geologen jetzt überwiegend vertretenen Auffassung lassen sich hier zwar nicht vier, aber doch drei Vereisungen feststellen, und dementsprechend auch zwei Interglazialzeiten. Lange Zeit waren sogar nur zwei Eiszeiten bekannt, bis die Grundmoräne einer älteren dritten bei Hamburg erbohrt wurde. Die Ablagerungen dieser ältesten Eiszeit liegen auf älterem Gestein. Im Osten fehlen sie, so daß hier das ältere Interglazial

mit seiner charakteristischen marinen Eemfauna (die ausgestorbene Muschel *Tapes aurea eemiensis* u. a.) zum Präglazial wird.

Gagel faßt die Beweise für eine mehrfache Vereisung in folgenden Worten zusammen:¹⁾

„1. In der Umgebung des baltischen Höhenrückens zeigt das Diluvium die typischen Formen der Glaziallandschaft: frische, schroffe, steil abgeböschte Landschaftsformen mit sehr vielen abflußlosen Vertiefungen, während südlich und westlich davon die Landschaft viel ruhigere, sanftere, unverkennbar stark eingeebnete („greisenhafte“) Formen aufweist und meist völlig abdrainiert ist. Zugleich liegt

„2. ein deutlicher Gegensatz insofern vor, als in dem Gebiete der frischen, schroffen Oberflächenformen die postglaziale Verwitterung im allgemeinen nur Beträge von 0,7 bis 1,8 m Tiefe aufweist, während südlich und westlich außerhalb des Höhenrückens zum Teil ganz auffällig viel tiefer gehende und viel intensivere Verwitterungserscheinungen auftreten, die 10 bis 13, ja bis 27 m Tiefe erreichen und in Mächtigkeit und Intensität der Zersetzung sich nur mit den tief unter dem frischen, jungen Diluvium liegenden, im Zusammenhang mit den Ablagerungen gemäßigter Interglazialfloren auftretenden Verwitterungserscheinungen vergleichen lassen.“

„3. Das Auftreten von Ablagerungen mit Resten einer wärmeliebenden (Fauna und) Flora, die nach unserer heutigen Kenntnis ihrer Lebensbedingungen nicht dicht am Inlandeisrande gelebt haben können, sondern klimatische Bedingungen verlangen, die mindestens so günstig waren wie heutzutage, also aller Wahrscheinlichkeit nach eine ebenso geringe Ausdehnung der Gletscher voraussetzen wie heute.“

„Es hat sich dann bei genauer stratigraphischer Untersuchung dieser Interglazialbildungen (ebenso wie der Verwitterungszonen) herausgestellt, daß diese sich auf zwei Horizonte verteilen, deren tieferer durch die Führung der echten *Paludina diluviana*, . . . sowie von *Dreysensia polymorpha* und *Corbicula fluminalis* in den Süßwasserablagerungen, der sogenannten Eemfauna in den marinen Ablagerungen ausgezeichnet ist, . . . während das jüngere Interglazial durch *Paludina Duboisiana* und *Brasenia purpurea* bezeichnet zu sein scheint . . .“

„Soweit unsere Erfahrungen reichen, liegt dieses jüngere Interglazial von Westpreußen bis Schleswig-Holstein und Hannover über der letzten mächtigen Verwitterungszone und unter den jungen frischen Moränen des baltischen Höhenrückens, bzw. unter Bildungen, die mit diesen jungen frischen Moränen in unmittelbarem, stratigraphisch erweisbarem Zusammenhang stehen . . .“

1) C. Gagel, Die letzte große Phase der diluvialen Vergletscherung Norddeutschlands. Geol. Rundsch. **6**, 55, 1915. — Derselbe, Die Beweise für eine mehrfache Vereisung Norddeutschlands in diluvialer Zeit. Ebendort **4**, 1913.

„4. Dazu kommt als viertes Moment die Verbreitung des norddeutschen Lösses, der sich im wesentlichen außerhalb des Gebietes der jungen, frischen Moränen hält, und nur selten und in ganz gering ausgedehnten, wenig mächtigen Partien¹⁾ auf die äußersten, randlichen Teile des jungen Diluviums übergreift, der Hauptsache nach aber mit einer mächtigen Erosionsdiskordanz auf einem außerordentlich stark denudierten und zerstörten älteren Diluvium liegt, das unter ihm oft

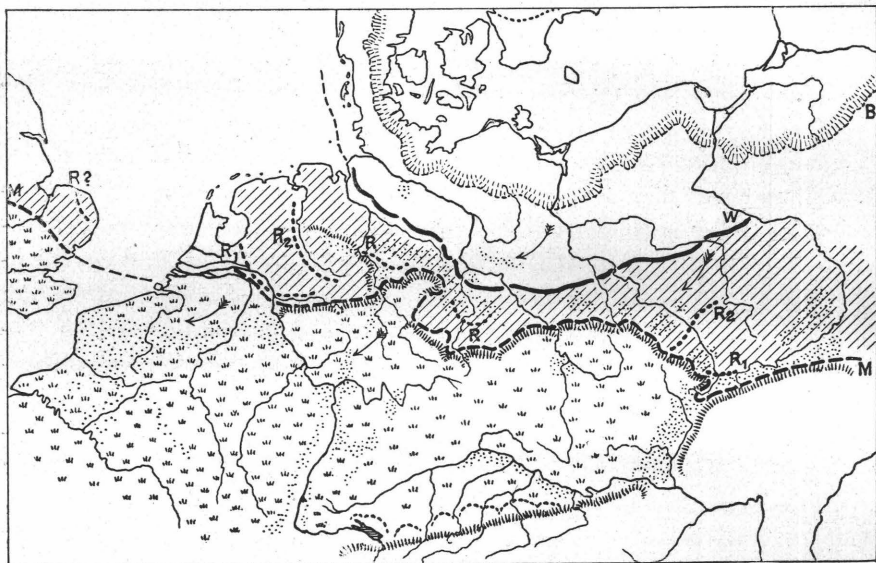


Fig. 27. Ausdehnung der Moränen der Mindel- (M), Riß- (R) und Würm- (W) Eiszeit und des Baltischen Vorstoßes (B) nach Olbricht

Durch Grasland ist das unvereiste Gebiet zwischen den Alpengletschern und dem skandinavischen Inlandeis bezeichnet. Die Lößgebiete sind punktiert. Das Gebirgszeichen deutet die Alpen und die Mittelgebirge an, an denen das nordische Eis sich zeitweise staute. Die dick gestrichelte M-Linie gibt den äußersten Rand des Inlandeises; R die Riß-Moränen, W die Würm-Moränen, B die des Baltischen Vorstoßes. Das Altmoränengebiet mit seiner eisenschüssigen Verwitterung ist schräg schraffiert. Die Pfeile bezeichnen die Richtung der den Löß aufwehenden Eisföhne.

bis auf sehr geringe Reste, bzw. bis auf eine Steinsohle reduziert ist; was beweist, daß zwischen der Ablagerung dieses älteren Diluviums und des oberflächenbildenden Lösses eine sehr lange Zeit der Zerstörung und Abtragung gelegen hat.“

Die Frage, welchen alpinen Eiszeiten die einzelnen Phasen der norddeutschen Vereisung entsprechen, wird von den verschiedenen

1) Die Feinsande des Fläming und vielleicht ein Teil der Flottsande bzw. Flottlehme Nordhannovers sind anscheinend derartiger, wenig mächtiger und stark verwitterter, aber sonst typischer Löß im Gebiet des äußersten jungen Diluviums.

Autoren, wenn überhaupt, verschieden beantwortet. Eine geringere Anzahl von Vereisungen kann hier auf zwei Ursachen beruhen: Entweder war die interglaziale Abschmelzung nicht stark genug, um Norddeutschland vom Eise frei zu machen; oder nicht alle Vorstöße des skandinavischen Eises reichten bis Norddeutschland. In Fig. 27 ist ein neueres Kärtchen von Olbricht (mit Auslassung einiger uns hier nicht interessierender Signaturen) wiedergegeben¹⁾, in welchem die verschiedenen Moränenzüge durch die daneben geschriebenen Buchstaben M R W mit den alpinen Mindel-, Riß- und Würm-Eiszeiten in Parallele gesetzt werden. Die Günz-Eiszeit fehlt, vielleicht weil damals die Eiskappe nicht bis Norddeutschland reichte. Mindel- und Riß-Eiszeit haben auch hier fast gleich große Ausdehnung. Der Würm-Eiszeit ist nicht, wie man nach G a g e l s angeführtem Wortlaut meinen sollte, der baltische Moränenzug, sondern der südlich davon liegende Moränenzug zugeordnet, der von Olbricht gleichfalls wegen seines frischen Aussehens zu den Jungmoränen gerechnet wird. Da Würm II weiter reichte als Würm I, muß dann der baltische Rücken einem dritten Vorstoß entsprechen, der auch schon wiederholt als der „baltische Vorstoß“ oder sogar die „baltische Eiszeit“ bezeichnet worden ist. Mit welchem der alpinen Vorstöße nach Würm II dieser zu identifizieren ist, bleibt einstweilen unsicher, zumal der früher dort für bedeutend gehaltene „Bühlvorstoß“ durch neuere Arbeiten von P e n c k überhaupt zweifelhaft geworden ist. Da diese letzten Vorstöße in den Alpen noch wenig geklärt sind, während in Norddeutschland der baltische Moränenzug sehr hervortritt, werden wir im folgenden für die Zeit nach Würm II in Anlehnung an Krenkel und Olbricht nur mit einem größeren Vorstoß rechnen, den auch wir den „baltischen“ nennen. Er entspricht Krenkels drittem Vorstoß der Würm-Eiszeit in der Tabelle S. 178.

Der Kaiser-Wilhelm-Kanal, der größte Durchschnitt durch die Grundmoränen Norddeutschlands, zeigt nach G a g e l merkwürdigerweise, daß hier „die ganze, zum Teil sehr mächtige Grundmoräne über dem (jüngeren) Interglazial durchaus einheitlich“ ist.²⁾ Wenn es also in diesem Gebiet überhaupt zu Interglazialbildungen zwischen den drei Vorstößen der Würm-Eiszeit gekommen ist, so müssen sie beim nachfolgenden Vorstoß wieder zerstört worden sein. Es muß aber betont werden, daß die Auffassungen der verschiedenen Forscher noch in den meisten Fragen auseinandergehen, so daß man die angeführten Parallelisierungen noch nicht als endgültig feststehend betrachten darf.

1) Olbricht, Die Eiszeit in Deutschland. Naturwiss. Wochenschr. 1922, S. 377.

2) G a g e l in Geol. Rundsch. 6, 72, 1915; noch nachdrücklicher in Monatsber. der Deutsch. Geol. Ges. 63, 7, 1911.

Auf Grund englischer Beobachtungen unterscheidet Geikie¹⁾ für Europa 6 Eiszeiten, die wahrscheinlich mit denen von Penck und Brückner in folgender Weise zu identifizieren sind: Scanian = Günz; Saxonian = Mindel; Polandian = Riß; die dann folgenden Mecklenburgian, Lower Turbarian und Upper Turbarian dürften den drei in Krenkels Tabelle (S. 178) angegebenen Vorstößen der Würm-Eiszeit entsprechen.

In Skandinavien, nahe dem Herd der Vergletscherung, ist natürlich die Gliederung in Eis- und Interglazialzeiten noch mehr verwischt als in Norddeutschland, zumal diese Länder Ausräumungsgebiet waren. Dennoch sind dort Funde gemacht, die wenigstens für die Existenz einer eisfreien Interglazialzeit auch dort sprechen. Bei Hernösand und Bollnäs sind moränenbedeckte Ablagerungen der Zerstörung durch das Eis entgangen, deren reicher Fossilinhalt auf ein „temperiert boreales Klima“ hindeutet.²⁾ Nach ihrer Lagerung könnten sie freilich auch präglazial sein, aber der Fossilinhalt spricht für ein späteres, also interglaziales Alter. Dasselbe gilt für die Funde von Mammutzähnen in Schonen, bei Upsala, im zentralen Norwegen (hoch im Gebirge!) und in Finnland, sowie von Knochen des Moschusochsen bei Gothenburg. Das Inlandeis muß demnach wenigstens in einer der Interglazialzeiten auch in Skandinavien so gut wie ganz verschwunden gewesen sein.

Auch für die Halbinsel Kola und die Küste des Weißen Meeres wurde durch Ramsay eine Interglazialzeit festgestellt. Vermutlich handelt es sich hier wie auch in Skandinavien um die lange Mindel-Riß-Interglazialzeit, in der die Bedingungen für eine völlige Beseitigung des Inlandeises wohl am günstigsten waren.

Für die Frage der Polbewegung im Quartär ist es von besonderem Interesse, daß die in den verschiedenen Eiszeiten in Nordeuropa ausgebildeten Eiskappen sich anscheinend allmählich etwas nach Osten verlegt haben. Nach G a g e l wissen wir bestimmt, „daß die jüngste oberdiluviale Vereisung [Würm] . . . den Westen (jenseits Aller und Weser) nicht mehr überschritten, dagegen im Osten besonders mächtige Ablagerungen hinterlassen hat“; und andererseits scheint die älteste Vereisung gerade vorzugsweise den Westen betroffen zu haben und im Osten zu fehlen, denn „wir haben . . . eine höchst charakteristische und unverkennbare marine Fauna einmal im Nordwesten [an der Eem in Geldern, am Kaiser-Wilhelm-Kanal, bei Tondern usw.] als sicheres Interglazial auf mächtigem Glazialdiluvium auflagernd und einmal im äußersten Osten bzw. Südosten [insbesondere zwischen Thorn, Inowrazlaw und Bromberg] in einem Gebiet, wo anscheinend das älteste Glazial-

1) James Geikie, *The Great Ice Age*. London 1894. — Auch in *Journ. of Geol.* 3, S. 241.

2) A. G. Högbom, *Fennoskandia*. Handb. d. Reg. Geol. IV, 3, Heidelberg 1913.

diluvium fehlt, auf Tertiär liegend“. Geikies Ahnung, es fehle der „untere Blocklehm“ des Westens im Osten und der „obere Blocklehm“ des Ostens im Westen, würde hiernach im wesentlichen recht behalten, wenn sie auch in dieser Form von den deutschen Geologen meist abgelehnt wird.

Auch in dem nicht vom Eise bedeckten Gebiet Europas bildeten sich im Quartär Ablagerungen, die von unmittelbarem klimatischem Interesse sind. Zwischen den Alpen und dem Rande des nordischen Eises blieb auch zur Zeit der größten Vereisung ein eisfreier oder nur mit lokalen Gebirgsgletschern besetzter Raum. Über das Klima dieser Gebiete werden wir u. a. durch die Blockfelder unterrichtet. Harrassowitz¹⁾ hat gezeigt, daß deren Bildung Eisboden in der Tiefe voraussetzt und damit eine Jahrestemperatur unterhalb etwa -2° an Orten, wo sie jetzt 6 bis 7° beträgt, was einer Temperaturerniedrigung um mindestens 8° entspricht. Zugleich aber setzt das Erdfließen, dem die Blockfelder ihren Ursprung verdanken, Schneearmut, also ein wenigstens im Winter ziemlich trockenes Klima voraus. Hierauf werden wir noch zurückkommen.

Ein weiteres wichtiges Klimazeugnis aus diesen Gebieten, das zugleich auch weitere Beiträge zur Gliederung der Quartärzeit liefert, ist der schon oben erwähnte Löß. Durch zahlreiche petrographische Untersuchungen ist nachgewiesen worden, daß der europäische Löß aus dem Feinmaterial der Moränen und ihrer Auswaschprodukte entstanden ist. Er besteht aus dem feinerriebenen, unverwitterten und deshalb kalkhaltigen Material, das auch als „Gletschertrübe“ die aus Gletschergebieten kommenden Flüsse milchig trübt. Nach Soergel, Frech u. a. wurden diese Teilchen vom Winde aufgenommen, als die Schmelzwasserabsätze vor der Moräne auftröckneten. Nach A. Wegeners Beobachtungen in Grönland geschieht aber die Befreiung der Staubteilchen von der Verklebung weniger durch Austrocknen des flüssigen Lehmbreies — wobei meist harte Platten entstehen —, als durch Gefrieren und unmittelbares Verdampfen des darin enthaltenen Eises, was namentlich im Herbst, wenn der Boden wärmer ist als die Luft, in größerem Maßstabe geschieht.

Das Transportmittel, welches diesen Lößstaub aus dem Moränengebiet fortgetragen hat, ist jedenfalls der Wind. Nach seiner Ablagerung ist der Löß dann im Laufe der Jahrtausende von oben her mehr oder weniger tief verwittert, „verlehmt“, wobei er seinen Kalkgehalt und seine poröse Struktur verlor. Strittig war lange Zeit die Frage, ob der Löß während der Eiszeiten oder während der Interglazialzeiten ge-

1) H. Meyer-Harrassowitz, Die Blockfelder im östlichen Vogelsberg. Ber. Vers. Niederrh. Geol. Ver. 1916. Bonn 1918.

bildet wurde. Aus seinem Vorkommen konnte man eine unmittelbare Antwort hierauf deshalb nicht erhalten, weil er stets oder fast stets außerhalb derjenigen Moränen liegt, die als gleichaltrig mit ihm in Frage kommen können. Die nächstliegende Annahme, daß er in trockenen Interglazialzeiten mit Steppenklima abgelagert sei, mußte allmählich verlassen werden zugunsten der Erkenntnis, daß er in den Eiszeiten selbst durch anhaltende trockene Winde, die antizyklonal aus dem Eisgebiet herauswehten, von dem Rande des letzteren aufgenommen und an seinen heutigen Ort gebracht wurde. Ein Teil von ihm ist dann wohl noch weiter durch Bodenfluß und Regenfluten umgelagert worden.¹⁾ Diese Entstehung des europäischen Lösses ist also — trotz gleichartiger Zusammensetzung und trotz gleichartigen Transports

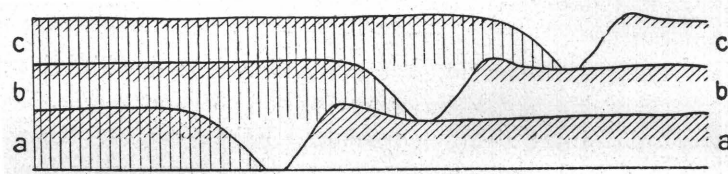


Fig. 28. Verhältnis der Lössen zu den Moränen nach Soergel

durch den Wind — eine andere als die des chinesischen und auch des argentinischen Lösses, deren Material, wie schon früher erwähnt wurde, aus der Wüste stammt. Nach den treffenden Worten von Frech bedarf es zur Bildung von Löß eben nur „eines unbewachsenen Denudationsgebietes, eines trockenen Windes und einer mehr oder weniger bewachsenen Auffangfläche“.

Durch die Verlehmungsrinden, sowie durch Farbe und andere Eigenschaften gliedern sich die deutschen Lössen deutlich in mehrere Altersstufen, nämlich in älteren, jüngeren und jüngsten Löß. Jeder von diesen zerfällt jedoch noch weiter in mehrere zeitlich getrennte Bildungen, zwischen deren Ablagerung längere Zeiträume der Verwitterung liegen. Die Beziehung zwischen den Lössen und Moränen stellt Soergel durch das in Fig. 28 wiedergegebene Schema dar.²⁾ Die Schattierungen deuten hierbei die verschieden starken Verwitterungsrinden an. Da der Löß b auf den verwitterten Moränen der Eiszeit a liegt, muß er beträchtlich jünger als diese sein, und da er weder unter noch über den Moränen der Eiszeit b liegt, kann er weder älter noch

1) Auch A. Penck, der früher durchaus für die Bildung des Lösses in den Interglazialzeiten eintrat, gibt bereits am Schluß des großen Alpenwerkes zu (S. 1160): Wenn der Löß während einer Eiszeit entstand, so mußte er gerade dort zur Ablagerung kommen, wo er heute vorhanden ist, und dort nicht, wo er fehlt.

2) W. Soergel, Löss, Eiszeiten und paläolithische Kulturen. Jena 1919.

jünger als diese, sondern nur gleichaltrig mit ihnen sein. Löß liegt daher niemals auf unverwitterter Moräne, wohl aber auf unverwittertem Flußschotter (seiner eigenen Eiszeit) oder auf verwitterten Moränen (der vorangehenden Eiszeit).

Ein Beispiel möge die Lagerung des jüngeren Lösses auf der Verwitterungsdecke des älteren Lösses veranschaulichen [Fig. 29¹⁾]. Jener

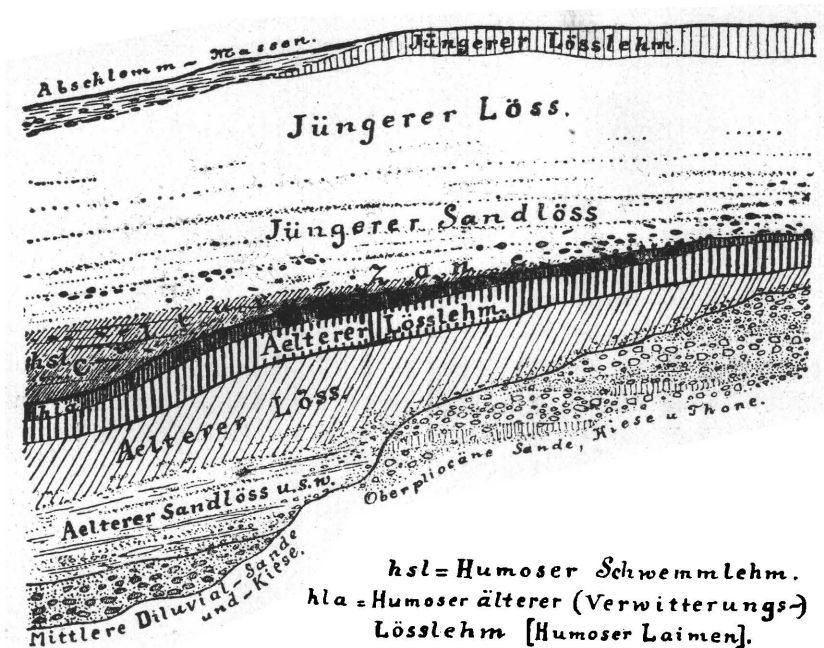


Fig. 29. Beispiel der Übereinanderlagerung verschiedenaltiger Lösses aus der Umgegend von Straßburg nach Schumacher

erweist sich anderswo nach seiner Tierwelt als aus der Würm-Eiszeit stammend; der ältere stammt also aus der Riß-Eiszeit und hat in einer Interglazialzeit mit bald mehr, bald weniger heißen Sommern Zeit gehabt, zu verwittern (verleimen). Aus diesem Interglazial stammt auch die Kulturschicht, die vom Löß der neuen Eiszeit begraben wurde.

Noch bedeutend stärker war die Verwitterung in der so viel längeren Mindel-Riß-Interglazialzeit. Die Deckenschotter der Südalpen wurden in ihr zu leuchtend rotem Ferretto umgewandelt. In wieweit auch geringerem Grade zeigt sich diese Erscheinung auch diesseits der Alpen. Unter den Riß-Moränen sind die Ablagerungen der Mindel-Eiszeit teilweise stark verkittet und die Feuersteine in Norddeutschland, wie die Fäustel des Chelléen und Alt-Acheuléen in Frankreich, die bis in die große Interglazialzeit zurückgehen, mit leder- bis blutroter Patina

1) Aus E. Werth, Der fossile Mensch, S. 458. Berlin 1923.

überzogen. Die vermorschten Geschiebe der Mindel-Eiszeit zeigen zum Teil schalenartige Absonderung, gewaltige Manganrindenbildung und wüstenlackähnliche Politur.¹⁾ Dies deutet darauf hin, daß in der langen Mindel-Riß-Interglazialzeit Zeiten sehr heißer Sommer vorgekommen sind.

In klimatischer Hinsicht zeugen die Lössе hauptsächlich von den Windverhältnissen am Rande des Inlandeises. Da sie durch den Wind stets von hier nach außen geschafft worden sind, so müssen über den quartären Inlandeiskappen ähnliche antizyklonale Winde geherrscht haben, wie wir sie jetzt in Grönland und Antarktika mit einer erstaunlichen Regelmäßigkeit vom Inlandeise herabwehen sehen, wobei sie durch die Erdrotation auf der nördlichen Halbkugel nach rechts, auf der südlichen nach links abgelenkt werden.

Die Konstanz und zugleich Trockenheit dieser Winde im Quartär wird schon durch die vielen Windkanter bezeugt, die teilweise (besonders in Schlesien) als Steinpflaster unter dem Löß liegen, vor allem aber durch das massenhafte Vorkommen von jetzt festliegenden Sicheldünen, deren Öffnung nach Westen schaut, so daß ihre Form wohl unter der Einwirkung von Ostwind entstanden sein muß. In der folgenden feuchteren Zeit der Westwinde wurden diese Dünen auch in Norddeutschland durch Bewachsung erhalten. Besonders auffallend ist ihre Auffindung in den Sumpfwäldern des Pripetj-Gebietes durch Tutkowski.²⁾ In Norddeutschland sind sie später zum Teil vor ihrer Bewachsung durch Westwinde umgelagert worden, so daß ihre Steilseite im Osten ist.

Für die Trockenheit dieser östlichen antizyklonalen Winde wird, wohl in etwas übertriebener Weise, das Absteigen der Luft vom Inlandeise verantwortlich gemacht. Der Haupteffekt wurde aber wohl durch ein Absteigen aus noch viel größeren Höhen im Innern der Antizyklone bewirkt, die über der Eiskappe lag.

Diese Verhältnisse sind in Fig. 30 etwa für die Mindel-Eiszeit dargestellt. Die Ablösung Grönlands und Nordamerikas von Europa hatte erst kürzlich begonnen, der Nordpol lag Europa noch 5° näher als jetzt, so daß Norddeutschland eine geographische Breite von etwa 58° hatte. In den späteren Eiszeiten lag der Pol östlicher; die größte Ausdehnung des Inlandeises gehört im Osten daher wohl diesen späteren an. Wir haben uns in der Figur der Vermutung angeschlossen, daß die barometrischen Minima vom Atlantischen Ozean in den Eiszeiten

1) Olbriicht, Die Eiszeit in Deutschland und der vorgeschichtliche Mensch. Naturwiss. Wochenschr. XXI, Nr. 27, 1922.

2) P. Tutkowski, Das postglaziale Klima in Europa und Nordamerika, die postglazialen Wüsten und die Lößbildung. Ber. d. 11. Internat. Geol. Kongresses (1910), S. 359 u. 398. Stockholm 1912.

ihren Weg über das Mittelmeer nahmen und den Ländern um dieses herum viel mehr Regen auch im Sommer brachten, als ihnen heute zuteil wird. Ägypten, Palästina usw. hatten damals ihre „Pluvialzeiten“, von denen später noch die Rede sein wird.

Während die Löss- und Dünen uns hauptsächlich über die Windrichtung der wärmeren Jahreszeit belehren, ist man neuerdings auf

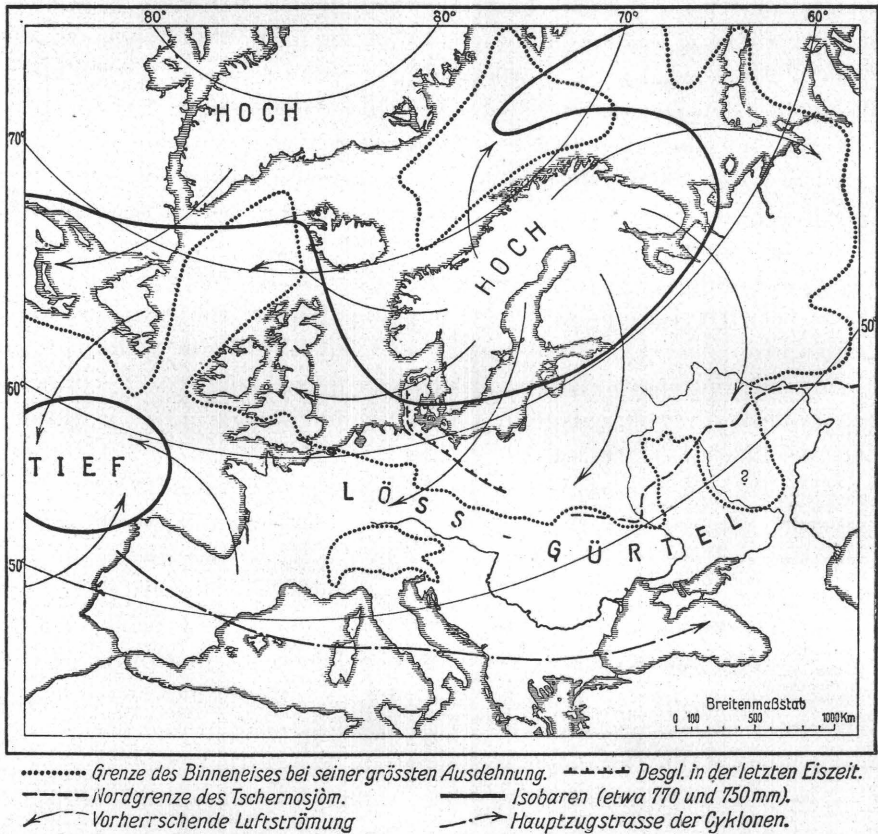


Fig. 30. Wahrscheinliche Lage der Kontinente, der Luftdruckgebiete und der vorherrschenden Winde zur Mindel-Eiszeit

ein Merkmal aufmerksam geworden, das sich namentlich auf den Winter bezieht. Wiederholt haben einzelne¹⁾ betont, daß die Gletscher vorzugsweise aus Treibschnee entstehen und daher auf der Leeseite der Berge stärker sind, als an der Windseite, wo viel weniger Schnee liegen bleibt. Aber diese gelegentlichen Hinweise sind unbeachtet geblieben, bis Fr. Enquist die Frage zum Gegenstand einer großen Ab-

1) Ratzel, Romer, Diller, Gilbert, Salisbury u. a.

handlung gemacht hat.¹⁾ Er unterscheidet durchaus die „Vergletscherungsgrenze“, d. h. das Niveau, in dem die Berggipfel eben anfangen, ewigen Schnee bzw. Gletscher zu tragen, und die Orientierung der Gletscher an jedem Berge. Erstere wird durch Niederschlag und Temperatur bestimmt, letztere aber nach Enquist, wohl etwas zu weitgehender, Auffassung ausschließlich durch die Richtung der vorherrschenden schneeführenden Winterwinde. Die Windseite der Berge erhalte zwar mehr Niederschlag, aber der Schnee komme überwiegend auf der Leeseite zur Ablagerung. Als Ausgangspunkt dienen ihm besonders die Verhältnisse Nordeiskandiaviens, wo in sehr auffallender Weise die Gletscher und Schneefelder an den Ostseiten der Berge liegen, während die Menge des Niederschlags nach Westen zunimmt.

Die Vergletscherungsgrenze ist ein bedeutend klarerer Begriff, als die klimatische Schneegrenze, die an verschiedenen Seiten eines Berges, wegen der Länge der Gletscher, verschieden ist, im großen aber der Vergletscherungsgrenze parallel geht. Für die Orientierung der Gletscher verwirft Enquist nicht nur die früher von manchen ausgesprochene Ansicht durchaus, daß auf der Windseite mehr Schneedecke und Gletscherbildung zu finden sein müsse, sondern er sieht auch den Einfluß von Sonnenlage und Schattenlage für gering an gegenüber dem des nach Lee treibenden Windes.

Da die württembergischen Karten sehr genau die Spuren der Eiszeit verzeichnen, gibt Enquist für den nördlichen Schwarzwald die eiszeitliche Vergletscherungsgrenze und die Lage der vielen kleinen Gletscher an. Erstere sinkt, sonderbarerweise, von der Hornisgrinde bis nach Freudenstadt von fast 1000 auf 750 m ab. Daraus, daß die kleinen Eiszeitgletscher, ebenso wie die Schneereste im Frühjahr heute (nach Klute), überwiegend nach Norden, Nordosten und Osten liegen, schließt Enquist, daß damals wie jetzt die Richtung der schneebringenden Winterwinde im Schwarzwald südwestlich war.

Es folgt daraus, daß der großen Antizyklone über dem nordischen Eise eine kleine bei den Alpen gegenüberlag. Auch in Schlesien und den Karpathen waren die eiszeitlichen Gletscher überwiegend nach Nordost gerichtet, so daß wohl die Nordostwinde auf Fig. 30 etwas einzuschränken sind.

Gebirge mit vorwiegend nach Süden und Westen gerichteten eiszeitlichen Gletschern sind aus Europa nicht bekannt (vielleicht der Ural). Wohl aber aus Amerika, wie wir weiter unten sehen werden.

Die Löss, Windkanter und Sicheldünen beweisen uns, daß die Eiszeiten relativ arm an Niederschlag waren. Dies wird auch bestätigt durch die sehr geringen Niederschlagsmengen auf den heutigen Inland-

1) Fredrik Enquist: Der Einfluß des Windes auf die Verteilung der Gletscher. Bull. of the Geol. Inst. of Upsala, Vol. XIV, 1916.

eisgebieten. Die ältere Auffassung, wonach die Eiszeiten hauptsächlich durch Vergrößerung des Niederschlags bei nur wenig erniedrigter Temperatur entstanden wären, wird daher in neuerer Zeit nur von sehr wenigen noch vertreten. Die Kälte, namentlich des Sommers, war es vielmehr, welche den Schnee trotz seiner geringen Menge sich anhäufen ließ. Und umgekehrt hält man jetzt die Interglazialzeiten, denen man früher ein Steppenklima zuschrieb, für ausreichend feucht, um Waldwuchs zu erzeugen. A. Penck sagt ganz neuerdings mit Bezug auf die Reste von Hochmooren in den Alpen: „Unsere gesamte interglaziale Formation ist im humiden Klima entstanden.“¹⁾ Gelegenheit zu Steppenbildungen war weit mehr in den Eiszeiten selbst gegeben. Der Löß weist in der Tat durch seine Röhrenstruktur auf die Ablagerung des Staubes in Grassteppen hin. Aus dem noch zu besprechenden Tiergemisch, dessen Reste er enthält, muß aber geschlossen werden, daß diese Steppen unmittelbar an Tundren grenzten und in diese übergingen. Diesen waldlosen Übergang von der Steppe zur Tundra finden wir heute nur in sehr dünnen Gegenden Hochasiens, aber nirgends im Tieflande; überall liegt vielmehr zwischen Steppe und Tundra, d. h. zwischen der Trockengrenze und der Kältengrenze des Baumwuchses, ein mehr oder weniger breiter Waldgürtel, in Sibirien die Taiga genannt. Am schmalsten ist dieser Streifen heute in Feuerland, dessen Nordende von Steppe und dessen Südrand von Tundren eingenommen wird. Auch hier zieht sich aber dazwischen Urwald von zum Teil gewaltigen Bäumen hin. Aber die eiszeitlichen Verhältnisse unterschieden sich eben in einem wichtigen Punkte völlig von allem, was wir heute auf der Erdoberfläche sehen: Die Grenze des Inlandeises lag damals auf weiten Strecken im Innern eines großen Kontinents, nicht wie heute in Grönland und der Antarktis nahe der Küste! Dieser anderen Lage können also auch Verhältnisse in der Pflanzendecke entsprochen haben, die wir heute nicht finden, und es kann damals ein Glied des Klimasystems der Erde gegeben haben, das heute nur zufällig nicht entwickelt ist: trockene Tundrensteppen diesseits der polaren Baumgrenze, mit vorherrschenden polar-östlichen, antizyklonalen Winden. In den Eiszeiten hätte also dann über dem Inlandeise eine ständige Antizyklone gelegen, deren Rand bis an die Grenze des innerkontinentalen Trockengebiets reichte, so daß der Waldgürtel der westlichen Winde an diesen Stellen bis auf Reste zum Verschwinden gebracht war und nur in den Interglazialzeiten, wenn mit der Eiskappe auch die Antizyklone einschrumpfte, sich wieder ausbreiten konnte. In der Soergelschen Darstellung der Würmeiszeit (Fig. 26 S. 161) tritt diese Schwankung des Waldrandes gut hervor.

Daß auch jenseits der Baumgrenze ausgesprochene Erscheinungen

1) A. Penck, Sitzungsber. Berl. Akad. 1922, S. 246.

ariden Klimas auftreten, hat jüngst Harrassowitz¹⁾ ausgeführt. Man wird wohl neben der ozeanischen Abart eine, jetzt nur schwach vertretene, kontinentale Abart des Tundrenklimas zu unterscheiden haben.

Die Pflanzen, die man in den interglazialen Ablagerungen findet, kommen in den weitaus meisten Fällen auch heute wieder in der Nachbarschaft ihrer Fundorte vor. In Norddeutschland sind es z. B. Fichte, Tanne, Eibe, Kiefer (besonders deren Pollen), Eiche, Haselnuß, Schwarzerle, Hainbuche, seltener Rotbuche, Esche, Ulme, Spitzahorn, ferner Linden, Pappeln, Weiden, Schlehdorn, die weiße und gelbe Seerose usw. Einige Funde deuten aber sogar auf etwas wärmeres Klima als heute. Denn die Weinrebe, Magnolie und die Seerose *Brasenia purpurea*, die sich im norddeutschen Interglazial finden, und *Rhododendron ponticum* aus der interglazialen Höttinger Breccie bei Innsbruck wachsen jetzt in diesen Gegenden nicht wild. Freilich können sie dort in Gärten wachsen, und es ist noch nicht untersucht, ob sie sich nicht auch frei fortpflanzen, verwildern können. In diesem Falle wäre nur die Wiedereinwanderung der Pflanzen nach den inzwischen eingetretenen Eiszeiten allzusehr erschwert gewesen. Der Fund von *Ilex aquifolium* im Torf bei Kottbus deutet besonders auf wärmere Winter als heute, denn die heutigen sollen ihm dort zu streng sein. Auch *Rhododendron ponticum* wird meist als Zeuge für ein wärmeres Interglazialklima als jetzt angeführt. Allein in Wirklichkeit verlangt es kein wärmeres, aber ein sehr nasses Klima. Denn es kommt im westlichen Kaukasus bis zu 1500 m häufig und bis zu 2200 m vereinzelt vor.²⁾ Was dieser Strauch nicht verträgt, ist Trockenheit, denn er findet sich jetzt nur in Gegenden mit mehr als 1000 mm Regenfall. Sein gegenwärtiges Verbreitungsgebiet ist einerseits der feuchte westliche Kaukasus und andererseits drei Orte im Westen der Iberischen Halbinsel. Da er überall dazwischen fehlt, so trägt er hier den Charakter von Relikten. Sein Nachweis im quartären Kalktuff von der Insel Skyros, nordöstlich von Euböa, durch G. Andersson ist daher einer der auffallendsten Beweise für eine zeitweise die jetzige weit übertreffende Regenmenge im Quartär. Denn Skyros hat jetzt einen völlig trockenen Sommer, und seine jährliche Regenmenge wird nicht viel größer sein, als die von Athen (390 mm) und Santorin (362 mm). Auf diese Verhältnisse werden wir später bei Besprechung der Pluvialzeiten zurückkommen.

1) H. Harrassowitz: Klima und Verwitterung. 2. Polare aride Gebiete. N. Jahrb. f. Mineral. Beilagebd. 47, S. 506.

2) G. Andersson in: Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit, eine Sammlung von Berichten, herausgeg. von dem Exekutivkomitee d. 11. Intern. Geol.-Kongresses, S. 146. Stockholm 1910.

Die auffallendste und noch zweifelhafte Nachricht betreffend eine größere Wärme der Interglazialzeiten ist die, daß im russischen Gouvernement Kaluga (ca. 55° Breite) in interglazialen Süßwassermergeln unter Löß Reste von *Buche*, *Weißbuche* und *Taxus* gefunden sein sollen.¹⁾ Ist die Artbestimmung richtig, so wird es sich hier wohl um ältere, vielleicht pliozäne Ablagerungen handeln.

Daneben sind in Norddeutschland an vielen Stellen Pflanzenfunde gemacht, die durch Zwergbirken, Polarweiden und *Dryas octopetala* auf die Nachbarschaft des Eisrandes hinweisen, und stellenweise ist durch die Übereinanderlagerung und den allmählichen Übergang dieser Floren auch die allmähliche Wandlung des Klimas sehr schön belegt. So hat man beispielsweise in Dänemark auf Grund solcher Pflanzenfolgen eine wahrscheinlich dem Baltischen Vorstoß vorangehende „Alleröd-Schwankung“ feststellen können, indem auf eine wärmere Flora mit *Betula odorata* und *Populus tremula* wieder eine reine *Dryas*-flora folgte. Für die erstere wird eine Julitemperatur von mindestens 9 bis 10° und für die zu ihr gehörige Molluskenfauna sogar eine solche von 12 bis 14° gefordert; für die darüber liegende *Dryas*flora muß dagegen eine Julitemperatur unter 8° angenommen werden.“²⁾ Aug. Schulz, dessen 5. Eiszeit offenbar dem Baltischen Vorstoß entspricht, glaubt aus der geographischen Verbreitung der jetzigen Flora schließen zu dürfen: „Die Zwischenzeit zwischen der 4. und 5. Eiszeit hatte wohl eine recht lange Dauer. Es fällt in sie ein Zeitabschnitt, wo selbst in Norddeutschland offenbar ausgedehnte aus Laub- und Nadelbäumen bestehende Wälder vorhanden waren, die auf ein dem heute hier herrschenden Klima ähnliches Klima schließen lassen.“³⁾ Es wird allerdings wohl nur Birken- und Kiefernwald gewesen sein, ohne Eiche, Schwarzerle und *Buche*.

Daß der Eisrand auch in der eigentlichen Würmeiszeit, als er noch auf dem Baltischen Höhenrücken lag, wiederholt kleinere Vorstöße gemacht hat, beweisen nicht nur die mehrfachen Moränenzüge, sondern auch die fossilienreichen Einlagerungen im glazialen Material in Ostpreußen. Die Flora derselben enthält nach G a g e l „Formen, die nach Art und kümmerlicher Entwicklung etwa auf ein Klima analog dem an der heutigen Baumgrenze hindeuten, . . . also auf ein Klima, das nur 1 bis 4 Monate einer (Mittel-) Temperatur von 6° bis höchstens 10° aufweist, und gerade noch genügt, um eine kümmerliche baumlose Vegetation gedeihen zu lassen . . . Es fehlen vor allem alle Pollen von Bäumen (*Pinus*, *Quercus*), die sonst überall zu finden sind.“⁴⁾

1) Zeitschr. f. Gletscherkunde 1913—14, S. 285—286.

2) Nordmann in: Die Veränderungen des Klimas usw., S. 316. Stockholm 1912.

3) Aug. Schulz, Zeitschr. D. Geol. Ges., Abhandl. u. Mon.-Ber. 62, 1910. Berlin 1911.

4) Geol. Rundsch. 6, 77, 1915.

Bei diesen, durch Pflanzen bezeugten, Klimaschwankungen müssen wir berücksichtigen, daß nach der später zu besprechenden Strahlungskurve höchstwahrscheinlich die Zahl der Klimaschwankungen im Quartär viel größer war als die der Eiszeiten, und daß diese nur durch Überschreitung gewisser Schwellenwerte zustande kamen. Im Takte dieser zahlreichen, nur etwa 20 000 jährigen Klimaschwankungen hat zweifellos ein abwechselndes Vordringen der Pflanzenwelt nach Norden und Einschränkung ihres Gebietes durch Aussterben stattgefunden.¹⁾ Es ist erklärlich, daß es sehr schwierig ist, die Stellung solcher Pflanzenfunde zu den Eiszeiten genau festzustellen.

Auch die Tierwelt liefert weitere wichtige Zeugnisse für die Klimaperioden des Quartärs in Europa. In Deutschland geben besonders die Lössе, soweit sie nicht verlehmt sind, und aller Kalk aus ihnen herausgelöst ist, durch reiche Funde an Säugetierknochen und Schnecken Beiträge zur Klimafrage. Unter den Schneckenresten fehlen die wärmeliebenden Südeuropäer ganz. Dagegen sind viele der Arten heute in den höheren Teilen der Alpen und des Mont d'Or verbreitet. Eine von ihnen, *Sphyradium columella*, ist ausgesprochen boreal-alpin. Die häufigste Lößschnecke, *Succinea oblonga*, lebt heute am häufigsten bei Petersburg, also unter 60° Breite. Alles dies spricht für kaltes Klima zur Zeit der Lößbildung.

Bei der Betrachtung der Säugetierreste entrollt sich uns für die Quartärzeit in Europa — und ähnliches gilt für Nordamerika — ein sonderbares Bild. In den Interglazialzeiten tummelte sich in einer der heutigen fast genau entsprechenden Pflanzenwelt eine erstaunliche Menge von Großtieren, teils Walddiere und teils Steppentiere. In Mitteleuropa gab es mehrere Arten von Elefanten, Nashörnern, Rindern, Pferden, Löwen, Hyänen. Als Walddiere führt Soergel insbesondere an: Edelhirsch, Elch, Riesenhirsch (bei dem Geweih??), Wisent und Ur. Auch die Reste des Birkhahns, Auerhahns und der Waldtaube lassen auf wenigstens vereinzelte Waldinseln schließen. Als Steppentiere sind dagegen zu nennen Steinbock, Gemse, asiatischer Wildesel (*Equus hemionus*), Wildpferd (*E. Przewalskii*), Steppeniltis, Hase, Ziesel, Murmeltier, Bobak, großer Pferdespringer (*Alactaga*), Zwergpfeifhase (*Lagomys*), Zwiebelmaus (*Arvicola gregalis*), Argalischaf u. a. Daneben gab es natürlich noch zahlreiche Tiere, die weder als spezifische Steppentiere noch als spezifische Walddiere zu bezeichnen sind, wie Maulwurf, Hamster, Wasserratte, Wühlmaus, die seltenen Raubtiere Marder, Dachs, Fuchs, Wolf, Höhlenbär, brauner Bär,

1) Selbst bei Tieren handelt es sich um Aussterben, nicht „Auswandern“, wie oft gesagt wird; denn nur ohnedies schnell und viel wandernde Tiere mögen zuweilen dabei günstigere Gegenden gegen die erkaltenden eingetauscht haben; die andern wissen doch nicht, wo die gesegneten Gefilde liegen!

Streifenhyäne, Höhlenhyäne, Wildkatze, Panther und Höhlenlöwe. Beim jedesmaligen Heranrücken des Inlandeises wird diese „warme“ Wald- und Steppenfauna durch Tiere ersetzt, die näher dem Eise an der Baumgrenze lebten: Mammut, wollhaariges Nashorn¹⁾, Rentier, Moschusochse, Schneehase, Vielfraß, Lemming, Eisfuchs, Schneemaus, die sich dann beim Wiedereintritt der Wärme vor der vorrückenden „warmen“ Fauna nach Norden zurückziehen.²⁾ Doch sind beide Faunen nicht entfernt so voneinander getrennt, wie es gegenwärtig ihre überlebenden Nachkommen sind. Die Knochen von Löwe und Rentier, Hyäne und Eisfuchs liegen vielfach an derselben Fundstätte beisammen. Außer dieser Mischung der Faunen hat auch die Massenhaftigkeit mancher Tierreste, wie z. B. der Wildpferde, großes Erstaunen erregt. Allein beides ist wohl der natürliche Zustand. In Hagenbecks Tierpark gediehen die Löwen im Hamburger Klima fast ohne Schutz vortrefflich, und gleiches gilt wohl für die gesamte Großtierwelt des Quartärs. Aber damals war das gefährlichste Raubtier, der Mensch, in dieser reichen Tierwelt nur äußerst dünn gesät, wie die außerordentliche Seltenheit von Menschenknochen aus dem Paläolithikum zeigt. Seine spätere übermächtige Entwicklung in den gemäßigten Breiten hat hier zu einer vollständigen Ausrottung der Großtiere geführt, wodurch die nordische Fauna auf die arktische Zone, die „warme“ auf die Tropen beschränkt wurde. Ihre jetzigen Verbreitungsgrenzen sind also künstliche, nicht natürliche. Und ähnlich hat der Mensch auch den Gegensatz zwischen Dickicht und offenem Lande verstärkt: Hirsch und Wisent haben die letzte Zuflucht im Walde gefunden; die Knochen von Saiga-Antilope und Bobak beweisen natürlich, daß, wo sie lebten, kein zusammenhängendes Waldland war, aber sie werden einst viel weiter über das reine Steppengebiet hinaus vorgekommen sein, als jetzt oder vielmehr vor kurzem.

Auch das Erscheinen des Menschen im Quartär hat Beziehungen zu den Klimawechseln, da auch die Menschenrassen durch das Inlandeis zurückgedrängt wurden und in den Interglazialzeiten wieder bessere Lebensbedingungen fanden. Indessen besteht die Gefahr, daß wir uns auf diesem so sehr fesselnden Gebiete allzu weit von unserer Aufgabe

1) Diese beiden Tiere deuten deshalb auf kaltes Klima hin, weil sie sich von ihren heute in wärmeren Gegenden lebenden Verwandten durch einen dichten langen Pelz und eine starke Fettschicht unterscheiden.

2) Bis nach Wien gelangten freilich die Vertreter des kalten Klimas niemals, wie Reichgauer hervorhebt: „Keines der spezifisch nordischen Säugetiere, wie Moschusochs, Lemming, Rentier, Schneehase, Eisfuchs, Vielfraß usw. . . . wird angetroffen, dagegen fanden hier Insektenfresser, wie Maulwurf, Fledermaus und Spitzmaus, hinreichende Nahrung.“ (Reichgauer, Die Aquatorfrage und die Geologie, S. 356. Steyl 1902.)

Quartär in Mitteleuropa nach Krenkel

Geologische Perioden	Klima u. Vegetation	Kulturen	Menschen-rassen	Wichtige „Stationen“ in Deutschland, Österreich, Schweiz
Präglazial	Gemäßigt, wärmer als heute. Offener Wald, Grasland	Eolithikum	Homo Heidelbergensis	—
Mindel-Eiszeit	Kalt, trocken, Steppen überwiegend			—
M-R-Interglazial	Gemäßigt, milder als heute, Wald	Praechelléen Chelléen	Neandertal-mensch	Hundisburg
Riß-Eiszeit	Kalt, trocken, Steppen vorherrsch. (auch Tundren)	Acheuléen		Markkleeberg, Lindental, Kösten
R-W-Interglazial	Gemäßigt, milder als heute. Wald vorherrschend	Unteres Moustérien		Weimar, Taubach, Krapina, Wildkirchli
1. Hauptvorstoß der letzten (Würm-)Eiszeit	Kalt, trocken, Steppen vorherrsch. (z. T. Tundren)	Oberes Moustérien		Sirgenstein, Irpfel- und Schipkähöhle
Großer Rückzug	Ziemlich gemäßigt, Wald, Steppe	Aurignacien	Aurignac-rasse	Sirgenstein, Ofnet, Wildscheuer, Willendorf, Brünn
2. Hauptvorstoß der letzten (Würm-)Eiszeit	Kalt, trocken, Steppen vorherrsch. (z. T. Tundren)	Solutréen		Sirgenstein, Ofnet, Canstatt, Prédmost
Rückzug	Gemäßigt, Wald vorherrschend	Magdalénien	Cro-Magnon-rasse	Sirgenstein, Schussenried, Ofnet, Munzingen, Keßlerloch, Schweizersbild, Gudenushöhle, Köstelik
3. Vorstoß der letzten (Würm-)Eiszeit	Kontinental bis kalt. In Norddeutschland Steppe, in Süddeutschland Wald			
Postglazial	Übergang zum gemäßigten Klima, Vordringen d. Waldes	Azilien-Tardenoisien	Grenellerasse	Istein, Kösten, Gr. Ofnet, Kaufertsberg, Wüste Scheuer

entfernen, und wir begnügen uns daher mit der Wiedergabe der nebenstehenden tabellarischen Übersicht über die Menschenrassen und ihre Zuordnung zu den einzelnen Phasen der Quartärzeit, wie sie kürzlich von Krenkel gegeben worden ist.¹⁾

Die älteste (Günz-) Eiszeit hat Krenkel hier außer acht gelassen, weil sie in Deutschland fehlt, außer vielleicht am Niederrhein. Archäologisch werden Chelléen, Acheuléen und Moustérien als altpaläolithische Zeit, Aurignacien, Solutréen und Magdalénien als jungpaläolithische Zeit bezeichnet, oder auch das Aurignacien als die ältere, das Solutréen als die mittlere und das Magdalénien als die jüngere Rentierzeit. Von der Schweiz schreibt Brockmann-Jerosch: „Es folgt [auf das Paläolithikum] die menschenleere Zeit, der Hiatus. Erst später wandert ein neuer Mensch ein, der Neolithiker. Er kennt bessere Werkzeuge, ist nicht nur Jäger, sondern auch Viehzüchter und Ackerbauer.“²⁾ Diese jüngere Steinzeit scheint sich erst mit dem Wärmerwerden nach dem letzten Eisvorstoß, also etwa seit 15 000 v. Chr., von Süden her ausgebreitet zu haben. In Nordeuropa wird ihre Herrschaft sogar erst auf die Zeit 5500 bis 1000 v. Chr. geschätzt, also gleichaltrig mit der sogenannten Litorinazeit, in welcher die Sommerwärme nachließ, aber die Winter milder wurden, und in Norddeutschland und Dänemark die Buche einwanderte. Auf die klimatischen Verhältnisse dieser postglazialen Zeit werden wir im letzten Abschnitt dieses Kapitels zurückkommen.

2. Außereuropäische Länder. In Nordamerika sind alle Spuren des Inlandeises: Blocklehme, gekritzte Geschiebe, geglättete und geschrammte Felsen, Drumlin, Esker (Osen), Kame, erratische Blöcke usw. in großartiger Entwicklung vorhanden. Fig. 31 stellt nach Chamberlin und Salisbury den Eisrand in den verschiedenen Eiszeiten Amerikas und die Bewegung des Eises dar, wie sie durch die Richtung der Schrammen bezeugt wird.³⁾ Noch am Mt. Washington in New Hampshire reichen die Gletscherspuren bis zu 1770 m Höhe, so daß man für die Zentren der Vergletscherung mindesten 2500 m Seehöhe und 2000 m Eisdicke annehmen muß. Die Eisdecke war also in Nordamerika noch weit mächtiger als in Europa.

Auch in Amerika läßt sich aus den Ablagerungen auf einen Wechsel zwischen Eis- und Interglazialzeiten schließen. Chamberlin und Salisbury unterscheiden 6 Eiszeiten: 1. Jerseyan (klarer: Prae-

1) Krenkel, Vom diluvialen Menschen und seiner Jagd. Naturwissensch. Wochenschr. Nr. 18, S. 244, 30. April 1922.

2) Brockmann-Jerosch in: Veränd. des Klimas seit der letzten Eiszeit, S. 61. Stockholm 1910.

3) Th. C. Chamberlin and R. D. Salisbury, Geology. Vol. III. New York 1907.



Fig. 31. Endmoränen der verschiedenen Eiszeiten und Bewegung des Eises in Nordamerika. Nach Chamberlin und Salisbury.

Kansan), 2. Kansan, 3. Illinoian, 4. Iowan, 5. Earlier Wisconsin, 6. Later Wisconsin. Die Reste der zwei Wisconsin-Eiszeiten sind sehr viel schärfer ausgeprägt als die der „nahezu ausdruckslosen Oberfläche der älteren Decken der Drift“ (S. 392). Besonders beziehen Chamberlin und Salisbury diesen Eindruck auf die jüngere der beiden Wisconsin-Eiszeiten. Sie machen zwar geltend, daß diese stärkere Ausprägung wenigstens teilweise auch durch eine stärkere Moränenablagerung selbst bewirkt sei, aber sicherlich wird sich dadurch doch vor allem das jugendliche Alter dieser beiden Moränenzüge geltend machen. Jeder von ihnen gliedert sich übrigens noch weiter in mehrere Endmoränen. Die Trennung des Illinoian vom Iowan sieht Leverett noch nicht für gesichert an.¹⁾ In British-Columbien sind ferner die verwaschenen Spuren einer ganz alten Vereisung gefunden, die wohl noch älter ist als das Prae-Kansan.

Schon früh wurde bemerkt, daß das Zentrum der Vereisung sich im Lauf der Zeiten ostwärts verlegt hat. Im Kansan lag das Zentrum auf den „barren grounds“ westlich der Hudsonsbai (Keewatin-Eis), im Illinoian aber nur oder vorwiegend auf Labrador. Tyrrell sagt: „Der letzte Vorstoß des Keewatin-Gletschers muß in Früh-Wisconsin- oder Vor-Wisconsin-Zeit stattgefunden haben.“²⁾

Eine besondere Merkwürdigkeit des Keewatin-Gletschers schildern Chamberlin und Salisbury mit den Worten: „Einer der wunderbarsten Züge in der Ausbreitung des Eises war das Ausströmen der Keewatin-Decke von einem niedrigen flachen Zentrum, ohne auch nur eine Andeutung von einem Gebirgskern, 800 bis 1000 miles nach Westen und Südwesten über eine gegenwärtig ansteigende semiaride Fläche, während die Gebirgsvergletscherung im Westen, wo sie bis jetzt bekannt ist, ostwärts nur wenig über die Hügel am Fuße hinausstieß.“ Fanden wir schon beim europäischen Quartär die heute nirgends auf der Erde erfüllte Bedingung, daß der Eisrand weit im Innern eines großen Kontinents endigte, so haben wir hier beim Keewatin-Gletscher wiederum Verhältnisse, wie sie jetzt nirgends auf der Erde zu studieren sind. Diese Umstände erschweren natürlich sehr ein richtiges Urteil über die Bildungsbedingungen dieser alten Eiskappen. Immerhin liegt es nahe anzunehmen, daß zur ersten Bildung des Keewatin-Inlandeises hohe Breite und lange Zeiten besonders kalter Sommer nötig waren.

Auch hier unterwirft Enquist die Lage der jetzigen und der eiszeitlichen Gletscher einer eingehenden Untersuchung.³⁾ An den jetzigen Gletschern findet er seinen Satz bestätigt, daß die Gletscher sich überwiegend an der Leeseite der Berge entwickeln. Für die der Eiszeit boten

1) F. Leverett, Zeitschr. f. Gletscherk. 4, 1909/10.

2) „Die Veränderungen des Klimas usw.“ S. II. Stockholm 1912.

3) a. a. O. S. 40—73. Vgl. oben S. 172.

die vielen kleinen Gletscher in den westlichen Bergen südlich des großen Inlandeises reichliches Material, das er in diesem Sinne deutet. Bis zum 40. Breitengrad südwärts, und zum Teil darüber hinaus, müssen hier- nach in der Eiszeit die schneebringenden Winde überwiegend aus Nord und Ost geweht haben. Dagegen erhielt die Park Range unter $39\frac{1}{4}^{\circ}$ die ihren aus Südwest. Von den Wahsatch-Bergen flossen die Gletscher im Norden überwiegend nach Westen, zum Lake Bonneville, im Süden hingegen überwiegend vom östlichen Abhang ab, ebenso wie in Neu-Mexico und Arizona. Ein Strich niedrigsten Luftdrucks zog also im Winter etwa längs dem 40. Breitengrade; an der Küste reichten die Westwinde aber weiter nordwärts, bis über die Grenze von Kalifornien hinaus.

Auf derselben Grundlage des Zusammenfegens des Schnees hinter Hindernissen versucht Enquist auch die merkwürdige Bildung der zwei Haupt-Vereisungszentren in Nordamerika zu erklären. Zunächst sei das Keewatin-Eis als Vorlandgletscher der westlichen Bergkette mit südwestlichen Winden entstanden, dann erst, nachdem sich über ihm die Antizyklone gebildet, das Labrador-Eis mit Nordostwinden in Lee der etwa 2000 m hohen Torngat-Berge, die jetzt nicht vergletschert sind, weil sie von trockenen Landwinden aus West überweht werden. Hierauf habe sich das Keewatin-Eis von der Bergkette abgelöst und sei allmählich erloschen. — Ein immerhin anerkennenswerter Versuch zur Lösung eines bestehenden großen Rätsels! Wird er für die letzte Eiszeit als wahr befunden, so kann er auch für die früheren in gleicher Weise gelten. Vorläufig fehlt ihm noch viel an der nötigen Beweiskraft.

Schließlich kommen wir zu der schwierigen Frage der Parallelisierung der europäischen und nordamerikanischen Vereisungen. Schon im Abschnitt über das Spättertiär war gezeigt worden, daß die Einbeziehung der älteren Moränen in die Andenfaltung, ferner die ältere glaziale Fauna Nordamerikas und andere Argumente zu der Annahme führen, daß die ältesten Vereisungen im Gebiet Kanadas und der Vereinigten Staaten noch in das Pliozän gehören. Zu dem gleichen Resultat kommen wir, wenn wir an Hand der später zu behandelnden Strahlungskurve eine Parallelisierung mit den europäischen Eiszeiten versuchen. Leider ist die Erkennung der langen Mindel-Riß-Interglazialzeit in Amerika erschwert, da nach Chamberlin und Salisbury nur die älteste Interglazialzeit, die sie Aftonian nennen, bisher als besonders lang erkannt worden ist, die dafür nicht in Betracht kommt. Aber auf S. 392 heben sie hervor, wie viel schärfer ausgeprägt die Reste der zwei Wisconsin-Eiszeiten sind als die der früheren, so daß der Gedanke naheliegt, dieser Unterschied sei auf den Einfluß der langen Interglazialzeit zurückzuführen. Die Scheidung zwischen dem älteren und jüngeren Wisconsin, von denen jedes mehrere Endmoränen aufgeworfen

hat, ist in der Hauptsache dieselbe, wie auch zwischen Riß und Würm: die Moränen der älteren Zeit sind von Löß bedeckt, die der jüngeren nicht. So rechnen wir denn rückwärts: Later Wisconsin = Würm-, Earlier Wisconsin = Riß-, Iowan = Mindel-, Illinoian = Günz-Eiszeit und nehmen Kansan und Prae-Kansan als pliozäne, in Europa nicht empfundene Eiszeiten an. Daß Illinoian die erste in Europa fühlbare Vereisung war, wird auch dadurch nahegelegt, daß vom Kansan zum Illinoian das Zentrum der Vereisung sich von den „barren grounds“ nach Labrador ostwärts verlegte.

Leverett, der als Ergebnis eines Jahresstudiums im europäischen Glazial eine Vergleichung vorgenommen hat, kommt freilich zu anderen Schlüssen.¹⁾ Zunächst setzt er Prae-Kansan = Günz, Kansan = Mindel. Ferner sagt er, das Illinoian sei etwa so tief verwittert wie die Riß-Moränen, enthalte aber in den tieferen Teilen Verwitterungsfugen, die sich in Europa erst bei den Mindel-Moränen finden. Er glaubt es zwischen Mindel und Riß setzen zu sollen.²⁾ Es ist aber sehr unwahrscheinlich, daß es zwischen diesen beiden Amerika und Europa gemeinsamen Eiszeiten noch eine große gegeben habe, die nur Amerika betraf. Iowan erkennt Leverett nicht an und Wisconsin zählt er als eins, weil noch keine interglazialen Ablagerungen zwischen dessen älteren und jüngeren Moränen gefunden seien. — Wir müssen uns damit begnügen, die von uns vorgeschlagene Parallelisierung als eine mögliche zu bezeichnen. Ob sie zutrifft, muß von geologischer Seite geprüft werden. Alle Versuche der Identifizierung amerikanischer Eiszeiten mit europäischen werden aber in der Luft schweben, wenn sie nicht vom Verlauf der Strahlungskurve als Grundlage ausgehen.

Auch in Nordamerika haben wir außerhalb der Eisbedeckung quartäre Ablagerungen von klimatischer Bedeutung. Die Lößablagerungen sind ähnlich entwickelt wie in Europa. Namentlich sind aber in dieser Hinsicht die Uferterrassen von Seen zu nennen, die auf einen ehemals höheren Wasserstand, also größere Niederschlagsmenge, schließen lassen. Besonders schön ist der zeitweise größere Wasserreichtum während des Quartärs im großen abflußlosen Becken des westlichen Nordamerikas, dem „Great Basin“ in den Vereinigten Staaten nachgewiesen.³⁾ Fig. 32 möge dies veranschaulichen. Über dem Großen Salzsee in Utah sieht man heute zahlreiche alte Strandterrassen; deren

1) a. a. O. S. 294.

2) „The European deposits seem to contain nothing that correlates clearly with the Illinoian drift. The middle drift of north Germany and the Riss drift of the Alpine region . . . each seem to be younger than the Illinoian drift.“ a. a. O. S. 341.

3) Gilbert in U. S. Geol. Survey Report 1880/81. — Russell: Lake Lahontan. — E. Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, nebst Bemerkungen über die Klimaschwankungen der Diluvialzeit, S. 301. Wien 1890. — Chamberlin and Salisbury, Geology, Bd. 3, S. 455. New York 1907.

oberste bezieht Gilbert auf einen See, den er Lake Bonneville nennt, der eine Tiefe bis zu 300 m hatte; sein Rest, der Große Salzsee, hat nur eine solche bis zu kaum 15 m. Westlich davon bestimmte Russell die Spuren eines anderen großen Sees, den er Lake Lahontan nannte. Die Umrisse beider sieht man auf der Figur, wo die jetzigen Seen schwarz, die älteren gestrichelt dargestellt sind. Alle Seen dieses Gebietes hatten früher größere Ausdehnung, und bei einigen von ihnen konnte auch das Verhältnis der Seeablagerungen zu hineinströmenden Gletschern festgestellt werden. Mit großer Sicherheit ermittelten Gilbert und Russell, daß es zwei Perioden solchen Hochstandes der Seen gab, da man an vielen Stellen über einer älteren Seeablagerung typische Bachablagerungen und darüber eine zweite Seeablagerung findet. Zwischen den Hochständen waren die Seen völlig ausgetrocknet; nur so glauben Gilbert und Russell die geringe chemische Verschiedenheit der Seeabsätze aus beiden Perioden erklären zu können. Beim Lake Bonneville war der zweite Hochstand der höhere und verschaffte ihm auf einige Zeit einen Abfluß nach Norden. Jedes Einschrumpfen eines abflußlosen Sees ist mit einer starken Konzentrierung der in ihm gelösten Salze verbunden, die zur Ausfällung derselben führt. Wächst der See wieder, so erfolgt eine Auflösung der Salze genau in der umgekehrten Reihenfolge, in der sie ausgefällt wurden, so daß der Salzgehalt des Sees bei gleichem Wasserstand immer der gleiche ist. Sind aber nach erfolgter völliger Austrocknung die Salze mit Detritus bedeckt und mit Tonstaub überweht, so wird die Wiederauflösung verhindert, und der im Becken des ehemaligen Salzsees entstandene neue See wird Süßwasser enthalten, bis ihm durch seine Zuflüsse wieder genügende Mengen Salz zugeführt sind. Eine solche Verdeckung der ausgeschiedenen Salze dürfte nach Gilbert und Russell beim Lake Bonneville und Lake Lahontan in der interlakustren Zeit eingetreten sein und beim Lahontan auch wieder nach der Eiszeit, denn der Salzgehalt der Seen, die jetzt in seinem Becken liegen, ist so gering, daß er nach Russell höchstens das Resultat einer 400-bis 500jährigen Zuführung durch Flüsse sein kann. Beim Großen Salzsee verrät dagegen der große Salzgehalt, daß er nach der letzten Eiszeit nicht ganz ausgetrocknet ist.

Nach der Bildung der Terrassen haben an vielen Stellen des Beckens Vulkanausbrüche stattgefunden; die Terrassen weisen ebenso wie die Moränen dieser Gegend Verwerfungen bis zu 12 m auf. Da es wohl keinem Zweifel unterliegt, daß die zwei Hochstände der Seen des Great Basin mit irgendwelchen Eiszeiten zusammenfielen, so ist die Annahme kaum vermeidbar, daß jede Eiszeit mit einem Hochstand verbunden war und daß man daher wohl mit der Zeit die Spuren von weiteren Schwankungen der Seen finden wird.

Die Erklärung dieser quartären „Pluvialzeiten“ am heutigen Nordrand des nordhemisphärischen Trockengebietes ist nicht schwer. Durch die veränderte Pollage im Frühquartär war die Bahn der Zyklonen oder barometrischen Minima, die jetzt über die großen Seen nach Neufundland ziehen, südwärts verschoben und hatte anfangs ihre normale Lage

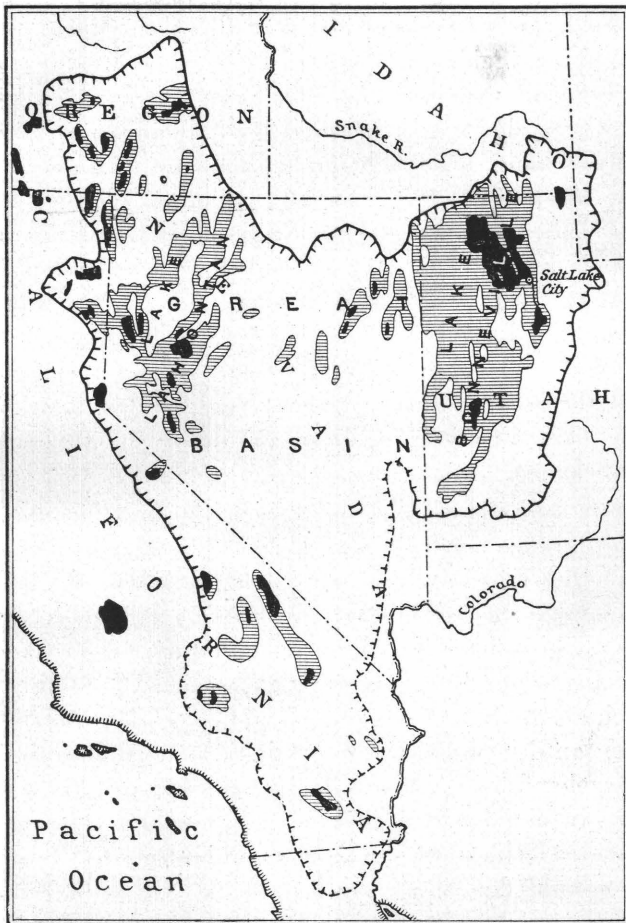


Fig. 32. Die quartären Seen des Great Basin. (Schwarz die jetzigen Seen)

über den Golfstaaten. Im Verlauf des Quartärs näherte sich freilich der Pol immer mehr seiner heutigen Lage; aber die stationäre Antizyklone, welche sich in den Eiszeiten über der großen Inlandeiskappe ausbildete, mußte jedesmal die Zugstraßen der Zyklonen nach Süden drängen, während sie in den Interglazialzeiten wieder nordwärts rückten. Auf diese Weise mußte die nördliche Grenze des Trockengebietes auch abgesehen von der Polverlagerung im Takte der Eiszeiten und Interglazialzeiten Verlagerungen nach Norden und Süden ausführen,

die für die an der Grenze liegenden Gegenden in Gestalt von Pluvialzeiten und Trockenzeiten in Erscheinung treten mußten.¹⁾

Daß sich diese Erscheinung nicht nur auf Nordamerika beschränkte, sondern in der Tat längs des ganzen Nordrandes der nördlichen Trockenzone geltend machte, lehren zahlreiche Beobachtungen aus anderen Ländern, namentlich in Ägypten und Syrien. Der Nil führte Kies, den die jetzt trockenen Wadis ihm zutrug. Man schätzt die Zeit, wo er zur Schlammführung übergang, auf 8000 v. Chr. oder 10 000 Jahre vor der Jetztzeit. Auf der heute so trockenen Insel Skyros bei Euböa wuchs das regenliebende *Rhododendron ponticum*. Das Kaspische Meer stand, wie die Strandmarken sowohl an den Jergeni im Nordwesten, als am Ust-Urt und den Balkanen im Südosten zeigen, 50 bis 60 m höher als jetzt. Es reichte nordwärts längs dem hohen Wolga-Ufer bis Kasan; der nördlichste Teil war im Süden bei Samara durch eine enge Meeresstraße abgeschnürt. Der Aralsee war nach Norden, Osten und Süden weit über seine jetzigen Grenzen ausgedehnt.²⁾ Auch für verschiedene tibetanische Seen ist ein früherer höherer Wasserstand durch Strandlinien, 10 bis 75 m über dem heutigen Wasserstand, erkennbar. Freilich, ob diese aus derselben Zeit stammen, ist vorläufig unbekannt.

Es ist nun sehr interessant, daß diesen Belegen für eine südlichere Lage der Nordgrenze der Trockenzone im Quartär eine Reihe von Tatsachen gegenüberstehen, welche zu bezeugen scheinen, daß auch der Südrand dieser nördlichen Trockenzone damals südlicher lag als heute, und also „eine Polwärtswanderung der äquatorialen Trockengrenze in jüngster geologischer Vergangenheit“ andeuten.³⁾ Statt durch Salzreichtum sich als die Sole eines eingedampften großen Sees zu erweisen, sind die Seen an der Südgrenze der Sahara zumeist süß, selbst der nur ganz vorübergehend überfließende Tschadsee, während die geschlossenen Hohlformen, in denen sie liegen, noch immer die Bildung der Oberfläche im ariden Klima verraten. Das unbestimmte Netz von Flußarmen, das sowohl der Niger als der Weiße Nil beim Eintritt in die Wüste bilden, spricht ebenfalls dafür, daß sie, wie die Zuflüsse des Tschad, jetzt mehr Wasser führen als früher und noch keine Zeit

1) Freilich ist das Great Basin von allen Seiten, außer im Süden, von Gebirgen mit einer Gipfelhöhe von über 4000 m umgeben, so daß auch bei südlicherer Lage der Zyklonenbahnen kaum mehr Wasserdampf als heute von außen in das Gebiet gelangen konnte. Allein im Bereich der Zyklonen war der Anlaß zu Regen häufiger, und vor allem bedingte die niedrigere Temperatur der Eiszeiten eine Verringerung der Verdunstung.

2) E. Brückner, *Klimaschwankungen seit 1700*, S. 298. Wien 1890.

3) A. Penck, *Die Formen der Landoberfläche und Verschiebungen der Klimagürtel*. Berlin. Akad. Sitz.-Ber. 1913.

gehabt haben, sich tiefe Betten zu graben. Diese ganzen Erscheinungen stimmen vollkommen mit unserer Auffassung von der quartären Wanderung der Pole überein. Penck kommt a. a. O. allerdings zu einer anderen Deutung, er glaubt nämlich nicht an eine Verlegung der Pole, sondern an eine Verschmälerung des humiden Gebietes am Äquator, an ein Zusammenrücken der beiden Passatzonen in der letzten Eiszeit. Analoge Erscheinungen, die er auf der Südhalbkugel feststellen zu können glaubt, führen ihn nämlich „zur Annahme, daß während der Eiszeit die Klimagürtel der Erde äquatorwärts verschoben waren; die Schneegrenze war herabgedrückt und die beiden¹⁾ Trockengrenzen in niedrigere Breiten gerückt. Die Bewegung der Schneegrenze erscheint bedeutender als die der Trockengrenze, beläuft sie sich doch auf 800 bis 1300 m, das ist rund ein Fünftel der größten Höhe, welche die Schneegrenze auf der Erdoberfläche hat, während die Bewegungen der beiden Trockengrenzen nur wenige, drei, vielleicht fünf Grade der Breite ausmachen“ (S. 92). Er führt hierfür namentlich die den obigen ganz ähnlichen Erscheinungen an der Etoscha-Salzpflanze, den Armen des Okavango und dem Becken des Titicaca an, wobei er die Gleichzeitigkeit aller dieser Erscheinungen voraussetzt. Andererseits aber hebt er selbst hervor (S. 94), daß vielleicht bei mehrfachem Klimawechsel „die verschiedenen Autoren nicht denselben, sondern verschiedenaltige Klimawechsel ins Auge fassen“. Es sind nämlich sowohl im Tale von Mexiko, als südlich vom Tschad und besonders am Titicaca (durch Steinmann) auch Spuren einer früher weit größeren Ausdehnung der betreffenden Süßwasserseen gefunden und auf die Diluvialzeit bezogen worden. Freilich sind die Tatsachen noch sehr dürftig. Nur Steinmann berichtet für Peru von alten, deutlich wahrnehmbaren Uferlinien; weder aus dem Tale von Mexiko noch im Tschadsee-Becken kennt man solche bis jetzt. Penck vermutet (S. 95), daß diese größeren Seen in die letzte Interglazialzeit gehören und „daß die Seen an der äquatorialen Trockengrenze nicht die unmittelbaren Überreste jener großen Seen sind, deren Spuren rings um sie herum auftreten, sondern daß sich zwischen die Existenz beider eine aride Zeit einschaltet, während der die Seen verschwunden und ihre Becken leere Hohlformen waren“. Als Restseen könnten die Seen nämlich nicht süß sein.

Wie man sieht, steht die Komplikation des Problems heute noch in allzu großem Gegensatz zur Dürftigkeit der Beobachtungstatsachen, und man muß es deshalb der Zukunft anheimstellen, zu entscheiden, wie weit diese Erscheinungen auf die Polwanderung und auf die Zu-

1) Eigentlich alle vier, nämlich gleichzeitig je eine polare und äquatoriale auf jeder Halbkugel.

sammendrängung der Klimagürtel durch die Inlandeis-Antizyklone in den Eiszeiten zurückzuführen sind. Daß beide Einflüsse beteiligt sind, erscheint von vornherein unabweisbar.

Dieselbe Resignation ist leider vorläufig auch geboten hinsichtlich der zahlreichen Anzeichen für eine früher größere Ausdehnung der Gletscher in den heutigen Tropen. So hat H a n s M e y e r in den Anden von Peru und Ecuador eine zweimalige Senkung der Schneegrenze mit zwischenliegender Lößperiode festgestellt¹⁾ und ähnliche Beobachtungen sind jüngst von Klute auf den Hochgipfeln des äquatorialen Afrika gemacht worden. Die heute so beliebte Schlußfolgerung von einer gleichzeitigen Senkung der Schneegrenze auf der ganzen Erde hat keinerlei Rückhalt in den Beobachtungen, denn es ist bisher nicht möglich anzugeben, welcher Eis- oder Interglazialzeit diese tropischen Moränen entsprechen. Die Annahme einer solchen Gleichzeitigkeit erscheint dabei meteorologisch unwahrscheinlich; denn wenn bei Ausbildung einer großen Eiskappe am Pol durch die damit eintretende Abkühlung des Polargebiets der Temperaturgegensatz zwischen Pol und Äquator, also der Antrieb der Gesamtzirkulation der Atmosphäre, vergrößert wird, so ist zwar leicht einzusehen, daß hierdurch die Regengürtel der Erde verstärkt werden müssen und auch die Temperatur der subpolaren und gemäßigten Breiten vielleicht noch etwas verringert wird, was dort zu einer Depression der Schneegrenze führen wird; andererseits werden aber bei intensiverer Gesamtzirkulation auch die Trockenzone n scharfer betont sein, d. h. noch trockener sein, da auch das Absteigen der Luft in ihnen dann stärker und regelmäßiger sein wird. In diesen Breiten wäre also umgekehrt eine Hebung der Schneegrenze zu erwarten.

Aus allen diesen Gründen können die Beobachtungen über Änderungen der Schneegrenze in den Tropen einstweilen noch nichts Brauchbares zu dem Problem der Klimaschwankungen des Quartärs beitragen und sollen deshalb hier nicht weiter behandelt werden.

Die von H. Meyer nachgewiesene Zone zwischen $1\frac{1}{2}^{\circ}$ und $1\frac{1}{2}^{\circ}$ südlicher Breite in den Cordilleren, in der die Berge ihre hauptsächlichste Vergletscherung auf der Ost- und Nordostseite tragen, deutet nach E n q u i s t s Grundsatz auf westliche Winde. Nördlich und südlich davon sind die Westseiten der Berge die stärker vergletscherten, hier auf Ostwinde als die Schneebringer deutend. In bezug auf eine „Eiszeit“ gewinnt dies besonders am Chimborazo Bedeutung, da er am besten untersucht ist. Nach H. Meyer trug er auch damals seinen größten Gletscher auf der Nordostseite, und dieser war der längste Gletscher von Ecuador.

1) H. M e y e r, Die Eiszeit in den Tropen. Geogr. Ztschr. 10, 1904, S. 593—600.

Da die Berge, welche diese Richtung der Vergletscherung nach Osten zeigen — Chimborazo, Cotopaxi, Antisana u. a. — über 5000 m Höhe haben, die nördlicheren Berge, deren Gletscher nach Westen weisen, aber darunter, so ist noch unentschieden, ob jene westlichen Winde nicht auch über den letzteren in größerer Höhe wehten. Freilich gibt südlich davon Enquists Karte auch für den Cerro Altar mit 5404 m und den Sangay mit 5323 m Gipfelhöhe die Hauptrichtung der Gletscher nach Südwesten, aber ohne Erläuterung im Text.

Von großer Wichtigkeit für die Frage der Pollage im Quartär sind die Beobachtungen aus den Ländern der Beringstraße. Denn wenn die Eisüberschwemmung Nordamerikas und Europas wesentlich auf der von uns angenommenen Abweichung des Nordpols nach der Seite letzterer Länder beruhte, mußte die Beringstraße und Nordostsibirien in niedrigerer Breite liegen als heute. Und dies war in der Tat der Fall: „In Alaska, dessen Breite derjenigen von Norwegen gleichkommt, war das Diluvium . . . nicht imstande, bedeutende Eismassen hervorzurufen, wohl aber in der Seengegend, viel weiter im Süden, wo sich die Eisränder noch 300 km über Chicago hinausdrängten. Gegenwärtig wird wieder der größte Teil des einst von Herden pflanzenfressender Tiere bewohnten nordischen Landes von Tundren bedeckt, gleich dem nördlichsten Sibirien, Moschusochse, Rentier und Schneehuhn bewohnen dünn gesät seine unwirtlichen Gegenden, aber mehrere hundert Kilometer nördlich von Chicago wird Weizen gebaut.“¹⁾

In der Tat hatte Alaska nach der Meeresfauna im Quartär wieder ein wärmeres Klima als im Miozän. Vereisungen traten nur in geringem Maße im Gebirge auf und entstammen dem jüngsten Quartär, in welchem der Nordpol schon fast seine heutige Lage hatte. Nach Stephan Richarz hatte diese geringe lokale Vereisung „nicht dieselbe Bedeutung, wie die Vergletscherung im übrigen Nordamerika. Inlandeis fehlte in Alaska, es handelte sich nur um eine weitere Ausdehnung der heutigen Hochgebirgsgletscher Capps studierte auch die jungglazialen Bildungen im White-River-Gebiet Nach Hayes lag das Gletscherende 210 km vom heutigen Ende des Russell-Gletschers entfernt Eine solche Mächtigkeit und Ausdehnung hatten aber nur die Hauptgletscher Die Lokalgletscher waren unbedeutend Auf keinen Fall läßt sich diese letzte Vergletscherung der Gebirge Alaskas mit der Vereisung der Alpen im Pleistozän vergleichen, diese war viel ausgedehnter und allgemeiner Capps versucht nun aus Torfablagerungen über Moränen, 13 km von der Zunge des Russell-Gletschers im White-River-Tal, die Zeit des Rückzuges zu bestimmen und kommt auf mindestens 8000 Jahre.“

1) Kreichgauer, Die Äquatorfrage in der Geologie. Steyl 1902.

Im übrigen ist das Quartär auf Alaska und in Nordostsibirien durch die Ablagerungen vertreten, welche auf den miozänen Inlandeisresten, dem „Steineis“, liegen und sie bisher geschützt haben. Auch diese Ablagerungen bezeugen mit ihrer Fauna und Flora wärmeres Klima als heute. E. Sueß sagt von den Funden auf Alaska (am Elephant-Point in der Nähe der Chamisso-Insel): „Hier sieht man . . . tonige dünne Lagen mit Sphagnum (Torfmoos) und mit Schalen von *Pisidium* und *Valvata* (Süßwassermuschel bzw. -schnecke), da und dort sehr übelriechende Flecken im Ton, wie von Verwesung, ganz wie in der Nähe der Mammut- und Rhinocerosreste an den sibirischen Flüssen, und man findet auch hier zahlreiche Knochen von Mammut und Rindern . . . Die auflagernde Tonschicht erreicht 40 Fuß, umschließt Knochen von Elefanten, Pferden und Büffeln.“

Über die Flora, welche zur Mammutzeit hier auf dem Steineis wuchs, gibt uns die folgende Profilbeschreibung Auskunft, die Toll von den betreffenden Schichten auf der Ljachow-Insel (Neusibirische Inseln) gibt:¹⁾

„Unmittelbar auf dem Eise (vgl. Fig. 17 S. 120) ruhen Anschwemmungen von Sand und Ton ganz ohne vegetabilische Reste oder nur mit Spuren von solchen. Auf diesen Horizont folgt feiner schlammiger Lehm mit Zwischenschichten von Torf, der aus Moosen, Gräsern und vereinzelt Resten von *Salix* und *Betula nana* besteht, und dann die nur auf der Großen Ljachow-Insel vorgefundenen Suiten aus der Wald-epoche mit *Alnus fruticosa*, die durch Vermittlung einer Reihe von Übergangsformen in die echte Tundravegetation ausgehen . . . Mammutknochen sind in allen postpliozänen Lehmschichten vorhanden, finden sich aber in größter Fülle neben Abhängen mit Sedimenten aus der Waldepoche, wenn wir hierunter im weiteren Sinne die Horizonte mit *Salix* sp., *Betula nana*, *Alnus fruticosa* und *Betula alba* verstehen.“

Die große Menge der Mammutreste (neben denen auch Reste anderer großer Säugetiere, wie wollhaariges Nashorn, Moschusochse, Tiger, Wildpferd, Saiga-Antilope, Edelhirsch vorkommen) gerade bei den früher beschriebenen Fundstellen des Steineises ist höchst erstaunlich. Die Suche nach Mammutzähnen wird in diesen Gebieten von zahlreichen Personen als lohnender Beruf geübt, und die Zähne selbst bilden einen bedeutenden Handelsartikel. Besonders die Neusibirischen Inseln werden im Sommer (im Winter sind sie unbewohnt) regelmäßig von den Bewohnern des anliegenden Festlandes auf herausgeschmolzene Mammutzähne abgesucht, aber auch die Ufer der Fließchen, die

1) Die russische Polarfahrt der „Sarja“ 1900 bis 1902, aus dem hinterlassenen Tagebuch von Baron Ed. von Toll, herausgeg. von Baronin Em. von Toll, S. 618. Berlin 1909.

zwischen Indigirka und Alaseja ins Eismeer fallen, sind beliebte Beutegebiete der Elfenbeinsucher.

Von Zeit zu Zeit schmelzen auch ganze Leichen von Mammuten, seltener auch Nashörnern und Moschusochsen heraus, und diese genauer untersuchten Lagerstätten gestatten einen Schluß auf die Ursache des massenhaften Sterbens der Tiere und der Erhaltung ihrer Leichname. Nach Toll sind ihre Fundorte mit Erde und Torf gefüllte Gruben im Eise, die sich durch dessen allmähliche Zerstörung am Klippenrande nach außen öffnen, worauf die Leichname herabrutschen. Maydell äußert¹⁾, daß man beim Reiten über den Eislagern äußerst vorsichtig sein müsse, damit das Pferd nicht in Gruben stürzt, die sich unter dem Torfe finden. — Diese Verhältnisse zeigen, daß die Tiere in Gletscherspalten stürzten und hier ihren Tod fanden, wobei aber ihre Leichen durch die Kälte vor Verwesung geschützt wurden. Berücksichtigt man, daß Gletscherspalten auch heute Menschenfallen sind, so ist diese Erklärung gewiß naheliegend. Freilich werden die Mammute wohl selten oder nie auf das Inlandeis gegangen sein. Aber diese im Quartär waldbestanden unterirdischen Eisreste mußten sie arglos betreten, bis sie an eine Stelle kamen, wo der Boden unter ihnen nachgab und sie in eine Spalte hinabstürzten, aus der es kein Entrinnen gab. Diese Deutung ist nicht nur durch die Lage der Leichen in spaltenartigen Vertiefungen geboten, sondern wird auch dadurch unterstützt, daß bei einer der so gefundenen Mammutleichen ein Beinbruch, bei einer anderen eine Menge gefrorenen Blutes festgestellt werden konnte.

In den angeführten Tatsachen haben wir bestimmte Anhaltspunkte für die Temperatur der Mammutzeit auf den Neusibirischen Inseln. Weil dort Bäume wuchsen, aber doch die Eismassen sich in der Tiefe auch in der wärmsten Zeit erhalten konnten, bekommen wir folgende Grenzwerte der Temperatur jener Zeit, denen wir die heutigen zum Vergleich anfügen:

	Juli	Jahr	also Januar
im Quartär	$> 10^{\circ}$	$< - 2^{\circ}$	$< - 14^{\circ}$
jetzt	3°	$- 17^{\circ}$	$- 36^{\circ}$

Dies entspricht für das Quartär zwar einem rauhen Klima, jedoch mit erheblich wärmeren Sommern als jetzt; etwa wie es jetzt das Innere von Ostsibirien hat. Gegenwärtig liegt die Baumgrenze 5 bis 6 Breitengrade südlich der Inseln.

Asien muß nach der Karte S. 117 im Quartär größtenteils unter niedrigerer Breite gelegen haben als heute. Im Frühquartär ging der 30. Breitenparallel von Ägypten zum Nordende Japans, statt durch dessen Südende wie heute. In Ostasien waren also die Breiten damals

1) Brief an Toll, S. 33 in Bd. 32, Nr. 1 der „Sapiski“ der K. Russ. Geogr. Ges.

etwa 15° niedriger als jetzt. Im Verlauf des Quartärs stellten sich dann allmählich die heutigen Breiten ein, so daß die Würm-Eiszeit sich auch hier durch eine gegen heute erniedrigte Schneegrenze geltend machen konnte. Hiermit stimmt das Wenige überein, was wir von dem quartären Klima Asiens wissen. Nach Stephan Richarz enthält das Quartär Japans Mollusken, die heute erst 15° südlicher an den Küsten der Philippinen leben. In der Trans-Alai-Kette im Pamir wurden nach Muschketow im Quartär bis 300 m mächtige Gipsschichten abgesetzt¹⁾, und in Palästina findet sich nach Krüger ein bedeutendes quartäres Salzlager am Südennde des Toten Meeres.²⁾ Diese Anzeichen der nördlichen Trockenzone werden ergänzt durch die großartige Erscheinung des chinesischen Löß, der den Raum von Tsin-ling-schan bis zur großen Mauer und von Lan-tschou fast bis Kaiföng in zusammenhängender Decke bedeckt, und darüber hinaus, mit Gebirgsketten und Alluvialebenen abwechselnd, sich weit in die Mongolei, in die Mandchurei und über den Jangtsekiang hinaus erstreckt. In China ist Richthofen zuerst zu der Überzeugung gekommen, daß der Löß ein äolischer Boden sei, abgesetzt von Staubstürmen aus dem inneren Asien auf einem von Gräsern bewachsenen Boden, wodurch die poröse Struktur zustande kommt.

Die Literatur über den Löß in China hat kürzlich H. Kanter zusammengestellt, dem wir folgen können.³⁾ Zu unterst liegt der Rotlöß, über ihm Braunlöß und über diesem Gelblöß. „Die Lößarten bilden deutlich verfolgbare Terrassierungen in den Tälern.“ Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß sich in dieser Farbenänderung die allmähliche Breitenzunahme im Laufe der Quartärzeit zu erkennen gibt. Auch heute dauert aber die Lößbildung noch an: „Sämtliche Reisende erzählen von dem Staub, der die Luft bei Nordwestwind erfüllt, und v. Lóczy beschreibt Tromben, die auch bei sonst ruhiger Luft den Staub mit emporreißen. Stürme bringen oft mehrere Zentimeter Staub in wenigen Stunden zur Ablagerung, und Tafel bringt ein anschauliches Bild, wie bei aufziehendem Regen die Wolken dick und braun erscheinen, so daß man glaubt, Massen verdichteten Staubes näherten sich. Geht dann der Regen nieder, sagen die Chinesen: es regnet Erde, derart sind die Wassertropfen mit gelbem Staub überladen. Wo unter dem heutigen Klima noch diese relativ großen Mengen Staubes abgelagert werden, wofür nicht nur die Kulturgüter und Gräber aus der alten chinesischen Geschichte bei Si-ngan-fu sprechen,

1) Arved Schultz, Landeskundl. Forsch. in Pamir. Abh. d. Hamb. Kol. Inst. 33, C. 4. Hamburg 1916.

2) K. Krüger, Vorkommen, Gewinnung und Absatz des Kochsalzes im türkisch-arabischen Vorderasien. Diss. Hamburg 1920.

3) H. Kanter, Der Löß in China. Diss. Hamburg 1922.

die mehrere Meter tief gefunden werden, und die Lößablagerungen auf den Terrassen des Hwang-ho, nördlich Lan-tschu-fu (v. Lóczy), wird man nicht fehl gehen, wenn man das Klima der Steppenperiode doch nicht so extrem annimmt, wie v. Richthofen.“

Wir sehen jedenfalls aus diesen Salz-, Gips- und Lößbildungen, daß auch im Quartär die nördliche Trockenzone in Asien gut ausgebildet war.

Andererseits liegen aber auch Beobachtungen vor, welche auch in diesen Gebieten auf eine zeitweise Depression der Schneegrenze schließen lassen. So waren namentlich die auch heute gewaltigen Gletscher des Tjanschan früher noch größer, die Schneegrenze lag dort 600 m niedriger als heute. Aus Tibet sind allerdings bisher keine Eisspuren bekannt, und über die Verhältnisse in China scheinen die Ansichten noch nicht geklärt zu sein. Für Japan faßt Oseki den Stand der Frage so zusammen:¹⁾ Gletscherspuren, und zwar unbedeutende, sind in Japan bis jetzt nur in Form von Karen und Moränenwällen im Hidagebirge (36° nördlicher Breite) gefunden worden; gekritzte Geschiebe, Gletscherschliffe und Rundhöcker konnten bisher noch nicht nachgewiesen werden. Kleine Hängegletscher scheinen sich bis zu einer Höhe von 2500 m herabgezogen zu haben.

Wann diese Senkung der Schneegrenze in Asien stattgefunden hat, ist nicht bekannt. Wir vermuten, daß sie spätquartären Alters ist und sich als Auswirkung der letzten Eiszeiten, insbesondere der Würm-Eiszeit bei schon fast der heutigen Pollage darstellt.

Südamerika war in bezug auf Breitenänderungen in gleicher Lage wie Ostasien, mußte also ebenfalls warm im Frühquartär sein (vgl. Fig. 19 S. 117), konnte dagegen im Spätquartär bei schon fast der heutigen Pollage zu den Eiszeiten kälter sein als heute. Die Beobachtungen bestätigen dies. Die Belege für größere Wärme zu Beginn des Quartärs sind bereits früher bei Behandlung des Spättertiärs genannt. Fast genau antipodisch zum Lößgebiet Chinas entstand der „Pampaslehm“ Argentinien, an dessen äolischer Entstehung nicht zu zweifeln ist, wie sein Vorkommen bis auf die Höhen der pampinen Sierrren beweist. Auch hier ist, wie in China, der ältere Löß rot, der jüngere gelb, was einer Breitenzunahme im Quartär entspricht. Der rote Löß wird hier jedoch, wie früher bemerkt, bereits in das Pliozän gesetzt.

Auch die sonderbare Tierwelt, die in diesen Lössen begraben ist, wurde schon beim Tertiär erwähnt, namentlich die riesigen Zahnlosen. Die Ausläufer dieser Fauna haben in dem allmählich kühler

1) K. Oseki, Die Eiszeit in den nordjapanischen Alpen. Geol. Rundsch. 5, 346, 1914.

werdenden Klima bis in sehr neue Zeit gelebt. Soll doch das plumpe Grypotherium noch mit dem Menschen zusammengelebt haben und von ihm in der Höhle von Ultima Esperanza als eine Art Haustier gehalten worden sein.¹⁾ Was das Aussterben dieser Großtiere bewirkt hat, zu denen auch Pferde gehörten, wissen wir nicht. Eckard's Annahme, die Equiden seien deshalb verschwunden, weil ganz Südamerika damals von Wald bedeckt wurde, kann nicht zutreffen, wie die waldlose Lößformation zeigt.

Auch die Pflanzenwelt, welche in Südamerika zu Beginn des Quartärs lebte, haben wir bereits früher besprochen, und es war gezeigt worden, daß alle Funde mit der Annahme einer erheblich größeren Wärme als heute harmonieren. Insbesondere nötigt die auf der jetzt völlig vereisten Seymour-Insel gefundene Flora aus gemäßigten und subtropischen Elementen zu der von uns angenommenen Verlegung der Pole.

Viel umstritten war bis vor kurzem noch die Entstehung der Quartärschichten Patagoniens, insbesondere des „Patagonischen Gerölls“, welches den größten Teil des Landes bedeckt. Über die Stellung dieses Gerölls in der Schichtenfolge gibt die Übersicht auf S. 130 Auskunft. An seinem quartären Alter kann kein Zweifel sein. Das Geröll ist am Rio Santa Cruz 60 m, sonst meist 10 bis 20 m mächtig, am Rio Negro weniger als 10 m. Die Steine sind gerundet, im Westen größer als im Osten, Schichtung oft deutlich. Die Ansicht der meisten Geologen²⁾ geht dahin, daß es sich um das Geröll von Flüssen handelt, die oft ihr Bett wechselten, und daß sich dies Geröll unter dem Einfluß des Trockenklimas in eine Kieswüste verwandelte. Einige, wie O. Nordenskjöld³⁾, möchten diese Flüsse mit einer Gebirgsvereisung im Westen in Zusammenhang bringen, die sie als Ursache annehmen zu sollen glauben, von welcher aber unmittelbare Spuren nicht bekannt sind. Am weitesten geht Hauthal⁴⁾, der sogar eine vollständige Überschwemmung Patagoniens mit Inlandeis annehmen zu sollen glaubt

1) R. Hauthal, Erforschung der Grypotherium-Höhle bei Ultima Esperanza. Globus 76, S. 299—303, 1899.

2) A. Windhausen, Ein Blick auf Schichtenfolge und Gebirgsbau im südlichen Patagonien. Geol. Rundsch. 12, S. 109—137, 1921. — O. Wilckens, Die Meeresablagerungen der Kreide und Tertiärformation in Patagonien. N. Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. 21, S. 98—195, 1906. — H. Keidel, Über das patagonische Tafelland, das patagonische Geröll und ihre Beziehungen zu den geologischen Erscheinungen im argentinischen Andengebiet und Litoral. Zeitschr. d. Deutsch. Wiss. Vereins, Bd. III, Heft 5, S. 219—245, Heft 6, S. 311—333. Buenos Aires 1918.

3) O. Nordenskjöld, Svenska Expeditionen till Magellansländerna, Bd. I, 1. Heft. Stockholm 1899.

4) Hauthal, Erforschung der Glazialerscheinungen Südpatagoniens. Glob. 75, S. 101—104, 1899.

und also das Geröll für Grundmoräne hält. Hierin steht er indessen ganz allein. Auch wir können ihm nicht folgen, denn eine so große Vereisung erscheint uns bereits aus biologischen Gründen unannehmbar. Zum Beispiel wurden die Regenwürmer im Quartär und überhaupt seit langer Zeit auf den Falklandsinseln und in Patagonien und Feuerland nicht ausgerottet, was aus ihrer heutigen Verbreitung mit Sicherheit zu entnehmen ist. Folglich kann auch der Boden weder gefroren noch mit Inlandeis bedeckt gewesen sein. Vielmehr deuten die süd-

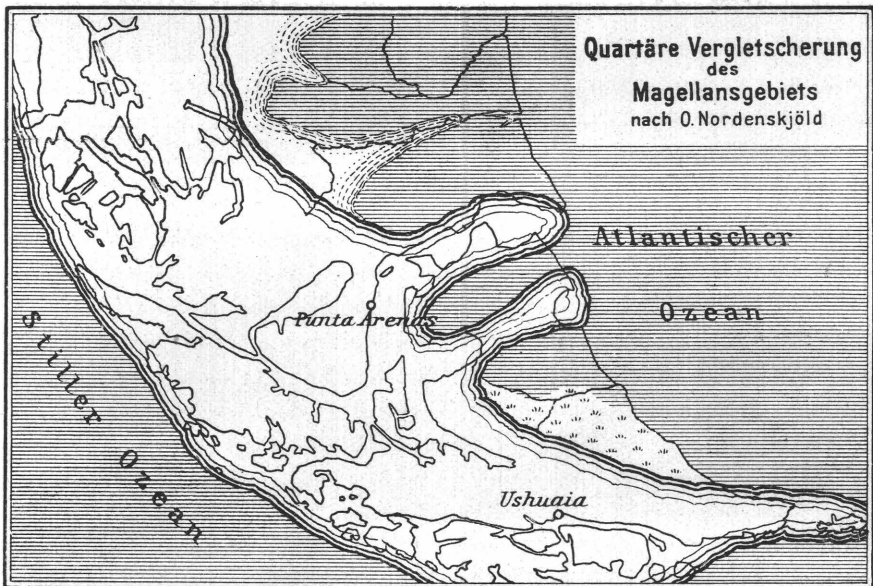


Fig. 33

amerikanischen quartären Faunen und Floren, ferner der Löß sowie auch die von Buschman erwähnte quartäre Steinsalzbildung in Patagonien mit großer Bestimmtheit auf ein warmes und trockenes Klima dieser Gegenden im Pliozän und dem früheren Quartär, in Übereinstimmung mit den in unserer Karte Fig. 19 dargestellten Zeugnissen aus den anderen Kontinenten. Unter solchem Klima muß daher zweifellos die Bildung des patagonischen Gerölls stattgefunden haben.

Aber andererseits sind in Südamerika ebenso wie in Asien auch deutliche Spuren einer beträchtlichen zeitweisen Senkung der Schneegrenze vorhanden. Das Kärtchen Fig. 33 zeigt die Ausdehnung dieser früheren Vergletscherung nach O. Nordenskjöld.¹⁾ Die Vereisung führte nicht zu einem Inlandeise, sondern nur zur Ausbildung von aller-

3) O. Nordenskjöld, Die Polarwelt. Leipzig und Berlin 1909.

dings großen Vorlandgletschern. Das Alter dieser Bildungen ist aber spätquartär, denn alle Beobachter heben das frische Aussehen der Moränen hervor: „Alles ist so frisch, als wenn die Gletscher erst vor wenigen Jahrzehnten sich von hier zurückgezogen hätten!“ (Hautthal). Diese Tatsachen harmonieren aufs beste mit unserer Annahme, daß die Pole sich im Laufe des Quartärs immer mehr ihren heutigen Plätzen näherten, so daß Patagonien bei den letzten Klimaschwankungen des Quartärs bereits seine heutige Breite hatte. — Wir werden später an der Hand der Strahlungskurve sehen, daß der Takt der Eis- und Interglazialzeiten auf der Südhalbkugel ein anderer ist und war als auf der Nordhalbkugel, so daß es keinen Sinn hätte, die spätquartäre Vereisung Patagoniens etwa mit einer der europäischen Eiszeiten identifizieren zu wollen. Die letzte Eiszeit der Südhalbkugel muß nach der Strahlungskurve vor etwa 30 000 Jahren geherrscht haben.

In Südafrika haben sich die anfangs dort vermuteten quartären Eisspuren nicht bestätigt, im Gegenteil deuten verschiedene Erscheinungen auf wärmeres Klima als heute. Hierhin gehört namentlich die von Passarge gefundene Lateritbildung in der Kalahari¹⁾, deren Alter zwar nicht genau feststeht („tertiär bis rezent“), aber wahrscheinlich als quartär zu betrachten sein dürfte. Er ist gleichaltrig mit dem „Kalaharikalk“, mit welchem er in der Weise abwechselt, daß Passarge annimmt, er entspreche Waldinseln in den großen Brackwasserseen, welche den Kalk lieferten. Ferner sei hier nochmals an die beim Spättertiär besprochenen Korallenriffbauten Madagaskars erinnert, die nach dem Miozän, aber vor der Entstehung des heutigen Flußsystems der Insel gebildet sein müssen. Auch sie sprechen, selbst wenn sie noch zum Pliozän gehören, für höhere Wärme an der Grenze zwischen Tertiär und Quartär.

Australien und Neuseeland waren als Antipoden von Europa-Nordamerika denselben Breitenänderungen unterworfen wie diese, aber den entgegengesetzten wie Feuerland. Hier sind Vereisungsspuren gerade aus dem frühesten Quartär zu erwarten, und im Laufe der Quartärzeit näherte sich das Klima unter Schwankungen allmählich dem heutigen. Da allerdings die australischen Alpen auch im Frühquartär höchstens 65° Breite erreichten und im Süden kein Festland lag, welches Australien hätte mit Inlandeis überschwemmen können, so dürfen wir überhaupt nur mäßige Grade der Vergletscherung erwarten.

Diese aus unserer Karte abzulesenden Forderungen finden wir wieder voll bestätigt: Nirgends finden wir Beschreibungen, die auf ein besonders jugendliches Alter der Vereisung schließen ließen. Nach

1) Passarge, Die Kalahari, S. 646. Berlin 1904.

J. W. E. Davids Schätzung¹⁾ würde ihre Hauptphase auf die Zeit vor 100 000 bis 200 000 Jahren fallen, was jedenfalls das hohe Alter der Spuren bezeugt. Für Neuseeland sollen sogar nach P. Marshall²⁾ einige Autoren die „Eiszeit“ schon an den Schluß der Tertiärperiode setzen, doch hält Marshall diese Ansicht für nicht ausreichend begründet. Unsere Annahme eines frühquartären Alters dürfte jedenfalls mit den Beobachtungen am besten harmonisieren.

Der Umfang der Vereisung war nach A. Penck „ziemlich dürftig“. Von Inlandeis ist nicht die Rede, es handelt sich nur um Gebirgsvergletscherung. Nach David bedeckte beim Maximum der Vergletscherung in Australien ein Firnfeld von 150 qkm Fläche den Mount Kosciusko; die Schneelinie lag rund 900 m tiefer als heute, woraus er auf eine Temperaturniedrigung von $5\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ schließt. Nicht ganz sicher sind die Spuren einer jüngeren kleineren Vereisung. Penck findet übrigens den tiefsten Stand der Schneegrenze auf Tasmanien 500 bis 600 m niedriger als auf Neuseeland, was auffallend ist, da diese beiden Länder heute fast die gleiche geographische Breite haben. Aber gerade wenn diese Angaben, wie anzunehmen, für das Frühquartär gelten, so gibt unsere Karte Fig. 19 (S. 117) hierfür die Erklärung durch Berücksichtigung der verschiedenen starken Schollenverschiebungen, die seitdem eingetreten sind, denn zu jener Zeit lag Tasmanien noch auf etwa 68° , Neuseeland-Südinsel (Mitte) auf etwa 57° Südbreite.

Auch die quartäre Tierwelt Australiens, die Riesenkänguruhs, das Diprotodon australe von Nashorngröße, die Krokodile, großen Schildkröten, Riesenlaufvögel usw. bezeugen ein ziemlich warmes Klima. Australien hatte also auch im Quartär niemals eigentliches Polarklima, und namentlich im jüngeren Quartär näherten sich seine klimatischen Verhältnisse bereits stark den heutigen.

B. Die Gliederung des Eiszeitalters, ihre Ursachen und Zeitrechnung.

Wenden wir uns nun den wahrscheinlichen Ursachen und der absoluten Zeitrechnung der Eiszeiten zu, so müssen wir uns zuvörderst über zwei Fragen klar werden: 1. um welches meteorologische Element und 2. um welche Jahreszeit vorwiegend handelt es sich bei dem Eiszeitalter in Europa und Nordamerika? Über die ungefähre Größe der Zeiträume, die in Betracht kommen, haben wir einige Anhaltspunkte bereits oben gewonnen.

Von den beiden Ursachen eines Wachstums der Gletscher — große Schneemenge und niedrige Temperatur, besonders des Sommers —

1) Proceed. Linn. Soc. N. S. Wales 33, S. 657, 1908.

2) P. Marshall, New-Zealand. Handb. d. Reg. Geol. VII, 1. Heidelberg 1911.

wurde lange, und wird von manchen noch jetzt, der ersteren die Wirkung ganz oder größtenteils zugeschrieben. Selbst bei Erhöhung der Jahrestemperatur sollte eine Vergletscherung Skandinaviens durch bloße Zunahme der winterlichen Niederschläge möglich sein. Es läßt sich aber jetzt eine Reihe von Beweisen anführen, daß es sich mindestens während eines großen Teiles jeder Eiszeit in Mitteleuropa nicht um Verhältnisse handelt, wie sie jetzt in Feuerland und Neuseeland herrschen, sondern um solche, wie sie heute Grönland und die Antarktis haben: niedrige Temperatur, die die geringen, aber nur in fester Form fallenden Niederschläge nicht zum Schmelzen kommen, sondern sich zu Eisströmen ansammeln läßt.

Schon 1909 beantwortete A. Penck als Endergebnis von seiner und Brückners grundlegenden Untersuchung¹⁾ die erste Frage für die Alpen wie folgt (S. 1142): Da „während der Eiszeit die Firnfelder nicht voller waren als heute, so können wir die eiszeitliche Gletscherentwicklung aus der heutigen nicht durch eine Mehrung der Niederschläge hergeleitet denken, sondern müssen sie auf eine Minderung der Ablation, entsprechend einer Minderung der Temperatursummen über 0°, zurückführen. Wurde letztere nicht etwa, was doch nicht wahrscheinlich, durch eine Minderung der Temperatursummen unter 0° wett gemacht, so war die Eiszeit im Vergleiche zur Gegenwart eine Zeit allgemeiner Temperaturerniedrigung.“ Ferner S. 1145: „Die schneeigen Niederschläge des Eiszeitalters müßten, in Wasser ausgedrückt, 11 bis 14 m im Jahre betragen haben, wenn sie im Niveau der eiszeitlichen Schneegrenze der Ablation die Wage halten sollten. Der Annahme einer solchen Steigerung der Niederschläge widersprechen aber nicht bloß alle Erfahrungen über die Niederschlagsmengen der Gegenwart, nicht bloß die Erfüllung der eiszeitlichen Schneefelder, sondern namentlich auch der im allgemeinen hervortretende Parallelismus zwischen der heutigen und der eiszeitlichen Schneegrenze Wären während der Eiszeit die Niederschlagsmengen ansehnlich verstärkt gewesen, so hätte das randliche Abbiegen der Schneegrenze (deren Senkung im Vergleich zu den Zentralalpen) in der Eiszeit viel bedeutender sein müssen als heute.“ Dazu kommt noch ganz besonders (S. 1147): „Pflanzenreste in Tonen unmittelbar im Hangenden der Moränen der letzten Eiszeit gehören einer typischen Tundrenflora an und bergen Elemente, die heute oberhalb der Baumgrenze ihre reichste Entwicklung zeigen. Die immerhin noch spärlichen Fundstellen lassen erkennen, daß dem schwindenden Eise nicht unmittelbar reichlicher Pflanzenwuchs folgte und daß in den

1) A. Penck und E. Brückner, Die Alpen im Eiszeitalter, Bd. III. Tauchnitz, Leipzig 1909.

Niederungen 600 bis 800 m unter der eiszeitlichen Schneegrenze während des Eisrückzuges Bäume zunächst nicht vorhanden waren.“ Freilich an der Südseite der Alpen dürften nach Penck die Zungen der piemontesischen und insubrischen Gletscher weit bis ins Waldland hinein sich erstreckt haben. Hier glich die Landschaft wohl der vom Südrande von Alaska, wo auf dem Fuße des gewaltigen Malaspinagletschers hochstämmiger Wald wächst, während diejenige der Nordseite der Alpen „mit Island zu vergleichen ist“. Wie dort in der Nähe des Vatna Jökull immerhin noch große Schafherden weiden können, „so bot das Ödland am Saume der nordalpinen Vorlandvergletscherung dem Mammut, dem wollhaarigen Rhinoceros und dem Rentier Nahrung“.

Ebenso bestimmt hat sich in diesem Sinne Ed. Brückner an verschiedenen Orten geäußert. Unter anderem stellt er folgende Überlegung an:¹⁾ Das Gebiet, wo durch gewaltige Schneefälle die Schneegrenze fraglos am meisten herabgedrückt ist, das ist die Umgebung des Malaspinagletschers in Alaska. Sie liegt hier in der Tat sehr tief, bei 600 bis 800 m, wo die Julitemperatur etwa 11° ist. Im Laufe eines Jahres fallen hier 3 m Niederschlag. In den Alpen haben wir dagegen in der Höhe der eiszeitlichen Schneegrenze heute eine Julitemperatur von 15 bis 16° ; wir müßten also hier noch weit größere Schneemengen annehmen, als in jenem heute ganz extremen Gebiet. Alles führt ihn zum Schluß, „daß die Ursache der Depression der Schneegrenze nicht in einer Vermehrung der Niederschläge, sondern nur in einer Minderung der Temperatur und ganz besonders in einer Minderung der Summe der Temperaturen über 0° , die ja allein zur Eisschmelzung dienen, gesucht werden kann“.

Sehr gering wird die Niederschlagsmenge auch im Innern von Antarktika sein, weil in die große, den Südpol umgebende Antizyklone wohl noch seltener Zyklonen eindringen werden als in die grönländische. Außer Schneefall beteiligt sich an der Speisung des Inlandeises auch der reichliche Ansatz von Reif und Raufrost auf der Eisoberfläche. Eine bestimmte Angabe über seinen Betrag ist noch nicht möglich; die wenn auch seltenen Schneefälle bei zeitweise niedrigem Luftdruck müssen jedoch als weitaus wichtigere Quelle des Inlandeises angesehen werden.

In Grönland sehen wir auch eine nördliche Grenze des Inlandeises, denn Pearyland trägt nur kleinere Lokalgletscher. Während am äquatorialen Rande die Wärme des Sommers dem Eise eine Grenze setzt, beruht die polare Grenze, wo es eine solche gibt, auf dem Herabsinken des Niederschlages unter einen Wert, der selbst am Nordpol im Sommer durch Schmelzung beseitigt werden würde. Man kommt auf diese Weise

1) „Die Veränderungen des Klimas usw.“, S. 107. Stockholm 1910.

zu der Vorstellung, daß das Optimum der Bedingungen für Inlandeisbildung nicht am Pol selbst, sondern in etwa 75° Breite zu finden ist. Im Quartär, wo wir uns stets nur mit dem Südrand des nordischen Inlandeises zu beschäftigen haben, muß die Ausdehnung also hauptsächlich nur eine Funktion der Temperatur gewesen sein.

Die zweite Frage ist: Die Temperatur welcher Jahreszeit ist für die Gletscherentwicklung in gemäßigten und hohen Breiten entscheidend?

Die beiden Faktoren der zunehmenden Vergletscherung sind, wie wir eben sahen, eine Vermehrung der jährlichen Schneemenge und eine „Minderung der Temperatursummen über 0° “. Im jetzigen Klima von Westeuropa sind es natürlich Jahre mit kalten Wintern, die allein eine erhebliche Schneemenge bringen.¹⁾ Anders aber, wo die Lufttemperatur den größten Teil des Jahres unter 0° liegt und Regen überhaupt nur eine Ausnahmeerscheinung ist; hier ist die Temperatur des Winters teils für die Eisbildung gleichgültig, teils sind es gerade die wärmeren Winter, die, weil sie reicher an Zyklonen sind, mehr Schnee bringen, während solche, in denen Antizyklonen mit heiterem Himmel herrschen, arm an Schnee sind. Hier ist der zweite Faktor wichtiger: die Dauer und Wärme der Zeiträume über 0° im Sommer. Einige wenige Zahlen mögen dies belegen:

Vergleichen wir die Mitteltemperaturen einiger Orte geringer Seehöhe unter 65° Breite.

	Vergletschert					Unvergletschert				
	Grahams-land	Gaußstation	Godthaab	Angmag-salik	Spitzbergen	Brännö, Norwegen	Jakutsk u. Werchojansk	Kap Pr. of Wales, Alaska	Mackenzie	
Monat: kältester .	—16	—22	—10	—11	—20	—2	—47	—23	—28	
wärmster .	0	—1	6	6	4	13	17	10	13	
Jahr	—7	—11	—2	—2	—8	5	—14	—7	—8	

Weder die Kälte des kältesten Monats, noch die des Jahres kann danach Vergletscherung bewirken, wohl aber die Abwesenheit der Sommerwärme. Dagegen erzeugt sehr niedrige Jahrestemperatur in Ostsibirien und im Innern des nördlichen Amerikas Eisboden, der auch im teilweise sehr warmen Sommer nur bis zu geringer Tiefe auftaut, aber dennoch hochstämmige Wälder trägt.

1) Unter diesem Eindruck macht selbst Geikie für die Eiszeiten „the long winter of aphelia“ verantwortlich. Great Ice Age. 1. Aufl., S. 114. 1877.

Daß Kälte an sich nicht ausreicht, um Inlandeis zu erzeugen, zeigt am deutlichsten Sibirien, wo wir die tiefsten Temperaturen, aber kein Inlandeis finden. Sein zwischen 60 und 70° Breite gelegener Teil liegt in gleicher Breite mit dem heute vergletscherten Südgrönland und hat eine durchschnittlich (in gleichen Seehöhen) 8° niedrigere Jahrestemperatur als dieses. Dennoch hat es heute nicht nur keine Eiskappe, sondern ist völlig frei von Gletschern. Sein Boden ist bis in Tiefen von 100 m und mehr gefroren. Aber sein Sommer ist durchschnittlich 7° wärmer als der Südgrönlands, die Julitemperatur im Binnenlande, außer in hohen Lagen, 12 bis 20°. Man sieht eben, daß für die Vergletscherung der Sommer entscheidend ist, während es für den Eisboden natürlich auf die Jahrestemperatur ankommt, weil er in Tiefen liegt, wo der Unterschied der Jahreszeiten schwindet. Doch ist das Verhältnis der Bodentemperatur zur Lufttemperatur offenbar je nach der winterlichen Schneebedeckung ziemlich verschieden, denn in Westsibirien reicht der Eisboden (schwed. tjäle, russ. merslotá) kaum bis zur Jahresisotherme — 6°, während im Osten selbst Blagowestschensk mit einer Jahrestemperatur zwischen — 1 und — 2° noch Eisboden hat. Bei Jakutsk, wo der Schergin-Versuchsschacht noch ganz in gefrorenem Boden verläuft, dürfte dieser bis etwa 200 m Tiefe reichen.

Wir müssen also bei der Ausschau in der Vergangenheit unser Augenmerk vorwiegend auf die Zeiten mit kalten Sommern richten. Im folgenden werden wir die Strahlungswerte des astronomischen Sommerhalbjahrs, vom Frühlings- bis zum Herbstäquinoktium, der Betrachtung zugrunde legen.

Betrachten wir den notwendigen Verlauf einer der großen negativen Wellen in der Strahlung des Sommerhalbjahrs!

In den Gegenden, wo bei abnehmender Sommerstrahlung sich Inlandeis bildet, ist der Schneefall auch im Sommerhalbjahr beträchtlich und der des Winters mehr durch zu große Kälte, als durch Wärme eingeschränkt. Nimmt daher die Sommerstrahlung ab und die des Winters zu, so wächst in diesen Gegenden der Schneefall des Jahres, bis Inlandeis entsteht. Mit dessen Bildung aber nimmt der Schneefall ab, weil das Inlandeis, je größer es ist, um so dauernder den Kern eines Gebiets hohen Luftdrucks, einer Antizyklone, abgibt.

Hier, aber nur hier, ist also der Beginn einer Eiszeit eine Schneezeit, ihr Ende, ebenso wie weiter im Süden, eine Zeit klaren Himmels.

In den äquatorwärts darangrenzenden Gebieten liegt es etwas anders, weil bei ihnen die Erniedrigung der Sommer- und Erhöhung der Winterwärme wohl ein feuchteres Klima, aber nicht Schneefall bringt. Mit der Entwicklung der Antizyklone wird aber auch hier das Klima trocken mit östlichen und polaren Winden. Deren Spuren sind in den Inlanddünen aufbewahrt, aber noch nicht zusammenhängend bearbeitet.

Festen Boden unter den Füßen erhalten wir, wenn wir die säkularen Schwankungen der Sonnenstrahlung zu Rate ziehen und ihren Einfluß auf die Temperatur richtig auffassen. Denn die Änderungen in der Lage der Erdachse und in den Elementen der Erdbahn sind von der Astronomie mit ziemlicher Sicherheit mindestens für die letzte Million Jahre festgestellt; und damit sind auch die der Bestrahlung in allen Breiten und Jahreszeiten gegeben, soweit man die „Sonnenkonstante“ eben als Konstante annehmen kann. Wieweit dies der Fall ist, muß sich eben daran zeigen, wie weit sich die übrigen Ursachen als ausreichend erweisen.

Seitdem Adhémar¹⁾ und nach ihm in besserer, aber immer noch unvollkommener Form James Croll²⁾ die astronomischen Elemente der Erdstellung zur Erklärung der Eiszeiten herangezogen haben, ist dieser Zusammenhang nicht aus der Diskussion verschwunden³⁾, jedoch noch nie in vollständiger und überzeugender Weise dargestellt worden.

Da diese periodischen Schwankungen der Sonnenstrahlung — von unperiodischen müssen wir als beweislos gänzlich absehen — nur eine Länge von 20- bis 92 000 Jahren haben, Europa aber vor dem Quartär Millionen von Jahren hindurch warmes Klima ohne Eiszeiten gehabt hat, so können diese Perioden uns nichts zur Erklärung des Eiszeitalters als Ganzem, wohl aber sehr Maßgebendes zur Erklärung seiner Gliederung sagen. Mit dieser wollen wir uns zunächst beschäftigen und dann erst untersuchen, welchen Rest in den Klimaänderungen wir auch hier Verlegungen der Pole zuzuschreiben haben.

Zeigt es sich, daß die Geschichte des Quartärs mit dieser astronomischen Grundlage in Einklang zu bringen ist, so ist damit außerordentlich viel gewonnen: wir haben dann endlich wenigstens für die letzten 600 000 Jahre eine absolute Zeitrechnung und stehen in der Beurteilung aller Erscheinungen dieser Zeit auf einer ungleich festeren Grundlage als bisher. Das heutige Verhalten der Nord- und Südhalbkugel der Erde zeigt uns freilich, daß die Einwirkungen der Strahlungsunterschiede durch mächtigere Einflüsse in der Verteilung von Land und Wasser ganz überdeckt werden können; denn gerade die Südhalbkugel

1) Adhémar, *Les révolutions de la mer, déluges périodiques*. Paris 1842.

2) J. Croll, *Verschiedene Aufsätze 1864 bis 1889*, besonders aber: *Climate and time in their geological relations*. Den Einfluß der Ekliptiksschiefe hat er zu wenig beachtet.

3) Einige Literatur findet man bei Hann, *Lehrbuch der Klimatologie* Bd. I, S. 367 u. 369. Besonders zu nennen ist Pilgrims weiter unten angeführte und hier viel benutzte Schrift, ferner N. Ekholm, *Variations of the Climate*, Quart. Journ. R. Met. Soc. 1901, S. 36, und die seitdem im Selbstverlag erschienene Schrift von Spitaler: *Das Klima des Eiszeitalters*. Prag 1921.

Eine Diskussion dieser sich vielfach widersprechenden Literatur würde hier zu weit führen.

hat heute ihren Sommer im Perihel, ihren Winter im Aphel, und daher eine stärkere Jahresschwankung der Sonnenstrahlung als die nördliche; trotzdem ist die Jahresschwankung der Lufttemperatur zwischen 40 und 70° Breite auf der ozeanischen Südhalbkugel viel geringer, als auf der kontinentalen Nordhalbkugel. Allein erstens ist die jetzt sehr kleine Exzentrizität der Erdbahn in der in Frage stehenden Zeit zeitweise viel größer, also auch wirksamer gewesen, und zweitens konnten die verhältnismäßig kurzen Perioden von 20 bis 90 Jahrtausenden und die daraus sich zusammensetzenden Wellen nicht leicht von den sehr langsam vor sich gehenden Änderungen in der Verteilung von Meer und Land verwischt werden. Diese kürzeren Klimaschwankungen infolge der astronomischen Bedingungen müssen sich vielmehr durch alle Zeiten der Erdgeschichte wiederholt haben; sie werden aber nur an gewissen Schwellenwerten, wie besonders an der Vergletscherungsgrenze, für den Geologen erkennbar, so im Permokarbon und besonders im Quartär.

Den Einfluß der Änderungen in der Ekliptikschiefe und in der Erdbahn auf die an die Grenze der Atmosphäre gelangende Sonnenstrahlung kann man für jeden Punkt genau berechnen, und damit besitzen wir auch für ihren Einfluß auf die Temperatur an der Erdoberfläche bestimmte Anhalte. Für den Einfluß auf Wind, Feuchtigkeit und Niederschläge sind wir leider auf Vermutungen angewiesen. Da bei geringer Schiefe der Ekliptik der Temperaturunterschied zwischen den Polen und dem Äquator im Sommerhalbjahr verstärkt und im Winter nicht sehr abgeschwächt ist, müssen wir annehmen, daß die atmosphärische Zirkulation dann im Sommerhalbjahr gesteigert ist und damit sowohl die polare Antizyklone, als die westlichen Winde in den gemäßigten Zonen bzw. die Häufigkeit und Stärke der Zyklonen an ihrem Nordrande zunehmen, also wohl die Gebiete regenarmer Sommer im Süden von Europa eingeschränkt werden. Außerdem bringt auch ohne Vermehrung der Niederschläge die geringere Wärme dieser Sommer eine verringerte Verdunstung mit sich. Wir dürfen also annehmen, daß die kühleren Sommer dieser Jahre auch feuchter waren. Ob aber dies hinreichen würde, um gleichzeitig mit den Eiszeiten im Norden für Ägypten, Vorderasien, das Great Basin von Nordamerika usw. Pluvialzeiten hervorzubringen, läßt sich nicht bestimmt sagen. Wohl aber machen es die Entwicklung der Antizyklone auf dem nördlichen Binneneise und die um mehrere Grade höheren geographischen Breiten wahrscheinlich, daß die große Zugstraße der ostwärts wandernden Zyklonen zu diesen Zeiten vom Norden Europas nach dem Mittelmeer sich verlegte und den genannten Ländern reichlichere Regen brachte, wie wir dies in Fig. 28 auch dargestellt haben.

Die Ekliptikschiefe, oder die Neigung der Erdachse zur Ebene der Erdbahn, schwankt ziemlich gleichförmig in einer Periode von 40 400 Jahren zwischen 22° und $24\frac{1}{2}^\circ$; das Perihel macht seinen Umlauf durch alle Jahreszeiten in 20 700 Jahren.

Diese Periode von kaum 21 000 Jahren ist viel zu kurz zur Entwicklung einer Eiskappe über Nordeuropa. Aus dem Abgang von Eisbergen aus der Baffinsbai berechnen Chamberlin und Salisbury das jährliche Vorrücken des Eises in Grönland auf durchschnittlich nur 12 m. Nehmen wir selbst 100 m an, so brauchte das Eis für die 900 km vom Skandinavischen Gebirge bis zu den äußeren Moränen in Norddeutschland 9000 Jahre. Nun ist aber das Vorschreiten des Eisrandes nur die Differenz zwischen dem Zustrom und dem Abschmelzen, kann also auch im äußersten Fall nur weit langsamer sein. Noch ungünstigere Zahlen berechnen Chamberlin und Salisbury für Nordamerika.¹⁾ Die Rückzugsgeschwindigkeiten des Eisrandes bis zu mehreren 100 m im Jahr, die De Geer in Schweden fand, sind damit nicht zu vergleichen, denn dort handelt es sich um Abschmelzen eines dünn gewordenen Eiskuchens minus dessen (vielleicht bis auf Null gesunkenes) Vorwärtsströmen, hier aber um dieses körperliche Vordringen selbst minus dem sicher auch hier nicht zu vernachlässigenden Abschmelzen.

Entscheidend aber für das Auftreten von Eiszeiten werden die viel langsameren Schwankungen in der Exzentrizität der Erdbahn. Denn von ihrer Größe hängt es ab, ob die Änderungen in der Perihellänge wirksam sind oder nicht und ob sie in ihrem Zusammenfallen mit den ziemlich gleichbleibenden Schwankungen in der Ekliptikschiefe außerordentliche Ausschläge in der Bestrahlung bewirken können. Die Schwankungen der Exzentrizität haben eine durchschnittliche Dauer von 91 800 Jahren. Durch sie zerlegt sich das Eiszeitalter — und in minder auffälliger Weise sicherlich auch jedes andere Zeitalter von genügender Länge — in ruhige Zeiten, in denen die kürzeren Schwankungen der Strahlung sich in mäßigen Grenzen halten²⁾, und in Zeiten extremer Schwankung, in denen mehrtausendjährige Reihen äußerst kalter und ebensolche sehr heißer Sommer miteinander abwechseln. Diese unruhigen Zeiten der großen Exzentrizität der Erdbahn sind es, die, wie wir weiter unten ausführen, die gewaltigen Vergletscherungen

1) *Geology*, S. 429. New York 1907.

2) In einer solchen ruhigen Zeit leben wir jetzt. Die Exzentrizität e der Erdbahn ist klein, nur 0,017, und nimmt noch ab, bis sie um 2600 n. Chr. auf 0,004 sinken wird, einen Betrag, den sie seit 510 000 Jahren nicht erreicht hat. In den nächsten 20 000 ist zudem für die Nordhalbkugel der Einfluß der Änderungen der Ekliptikschiefe ϵ und von $e \sin \Pi$ (Π Länge des Perihels) entgegengesetzt, so daß die Strahlungsverhältnisse fast unveränderlich bleiben.

herbeiführten, die das Kennzeichen der „Eiszeiten“ sind, wenn die Lage der beiden Perioden der Ekliptikschiefe und der Exzentrizität der Erdbahn zueinander günstig war, um die erwähnten Scharen kalter Sommer zu erzeugen. In den 7 Maxima, welche die Exzentrizität der Erdbahn seit 640 000 Jahren nach Pilgrims Rechnungen gehabt hat, war dieses bei fünfen der Fall, bei dem dritten und vierten, wie wir sehen werden, nicht. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht dieser Änderungen in der Gestalt der Erdbahn. Die voranstehende Zahl gibt das Jahrtausend vor 1850 an. Vorgreifend setzen wir die zugehörigen Eiszeiten mit ihren von Penck und Brückner eingeführten Namen hinzu; nur für das letzte Maximum ist die Identifikation im Norden sicherer als in den Alpen. Wir nennen es wie früher den Baltischen Vorstoß.

Um ein wenig Anhalt dafür zu haben, welche Sicherheit diese Werte besitzen, setzen wir neben die Zahlen nach Stockwell, die unserer Tafel zugrunde liegen, noch die von McFarland berechneten Zahlen (Jahrtausende vor 1850, alles nach Pilgrim¹⁾).

Minima der Exzentrizität		Maxima der Exzentrizität		Eiszeiten
Stockwell	Mc Farland	Stockwell	Mc Farland	
—782 0,0022	—791 0,0061 ?	—836 0,0655	—842 0,0652	
—693 0240	—703 0230	—737 0412	—749 0410	
—616 0134	—623 0121	—656 0364	—665 0353	
—515 0018	—521 0022	—566 0522	—571 0535	(Günz-Eiszeit)
—408 0103	—412 0102	—465 0433	—472 0438	(Mindel-Eiszeit)
—350 0199	—356 0186	—369 0221	—372 0207	—
—257 0097	—260 0093	—301 0361	—305 0377	—
—145 0254	—148 0253	—200 0462	—205 0474	(Riß-Eiszeit)
—45 0105	—45 0104	—98 0408	—100 0408	(Würm-Eiszeit)
—26 0044	—	—13 0197	—14 0197	(Balt. Vorstoß)

In einem kürzlich erschienenen Buche hat der Professor der angewandten Mathematik an der Belgrader Universität M. Milankovitch für die Strahlungsmengen und Strahlungsstärken in den beiden astronomischen Halbjahren die Formeln entwickelt und einen Teil der

1) Pilgrim, Versuch einer rechnerischen Behandlung des Eiszeitalters. Jahresber. d. Ver. f. vaterländ. Naturkunde in Württemberg, Bd. 60. 1904.

Rechnungen durchgeführt.¹⁾ Um vor Mißverständnissen sicher zu sein, haben wir uns an ihn um Auskunft gewandt und in entgegenkommendster Weise von ihm einen Beitrag erhalten, den wir im folgenden abdrucken. In diesem ist über das in seinem Buch Gegebene hinaus die Frage einer exakten Lösung zugeführt.

Wie nämlich auf S. 242 seines Buches erwähnt ist, sind nicht nur die Strahlungsmengen W , sondern auch die mittleren Intensitäten w darin mit der wechselnden Dauer und Lage der astronomischen Halbjahre behaftet. Es bedurfte also, um die Frage rein darzustellen, noch der Lösung eines mathematischen Problems. Diese Lösung gibt Prof. Milankovitch an anderem Orte, hier aber teilt er das Ergebnis der mühsamen Rechnungen mit, die er auf Grund dieser Lösung für unsere Zwecke ausgeführt hat.

Besonderen Dank schulden wir ihm für die Tabelle und die graphische Darstellung der Änderungen der Sonnenstrahlung seit 650 000 Jahren, welche die obere Hälfte der Tafel am Schluß dieses Buches füllt. Aus dem Vergleich mit Kurve 4 derselben Tafel, die wir schon vorher nach den Angaben seines Buches entworfen hatten, sahen wir mit Beruhigung, daß wir auf keinem Irrwege waren, wie er in diesem heiklen Gebiet leicht eingeschlagen werden kann. Kurve 5 gibt die Strahlungsschwankungen auf der Südhalbkugel, die ziemlich abweichend verliefen. In derselben Weise kann man sich leicht auch für andere Breiten die angenäherten Strahlungskurven aus den beiden astronomischen Fundamentalkurven ableiten. Um die Strahlung für einen bestimmten Ort auf der Erde zu erhalten, muß man dessen Breitenänderung hinzufügen, wie wir dies in Fig. 38 für einige Punkte getan haben. Da Prof. Milankovitch die Strahlungsstärke in deren Breitenäquivalenten ausgedrückt hat, kann dies einfach geschehen, indem wir seinen Breitenmaßstab annähernd auf unsere Kurven übertragen.

Die Tafel gibt eine genügend begründete absolute Chronologie des Eiszeitalters. Ihre Angaben entsprechen zwar in den Hauptzügen den von hervorragenden Eiszeitforschern ausgesprochenen Erwartungen, enthalten aber auch manche Überraschungen, an die man sich erst wird gewöhnen müssen.

In jedem Lehrbuch der Astronomie, kosmischen Physik oder mathematischen Geographie findet man den Mechanismus jener Änderungen der astronomischen Elemente auseinandergesetzt, die eine räumliche und zeitliche Veränderung der Erdbestrahlung zur Folge haben.²⁾

1) M. Milankovitch: *Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire*. Gauthier-Villars, Paris 1920.

2) Präzession und Nutation haben auf die Bestrahlung keine Wirkung, weil bei ihnen der Winkel zwischen den Ebenen des Äquators und der Erdbahn sich nicht ändert.

Im Folgenden bedeutet:

ε die Ekliptikschiefe, d. h. den Neigungswinkel der Äquatorebene gegen die jeweilige Erdbahnebene,

e die Exzentrizität der Erdbahn, d. h. das Verhältnis der Entfernung der Sonnenmitte von dem Mittelpunkt der Erdbahnellipse zur halben großen Achse dieser Ellipse,

II die heliozentrische Länge des Perihels, d. h. den Winkel, den die über die Sonne hinausgehende Verlängerung des Erdbahnradius nach der Frühlingslage der Erde mit dem kürzesten Erdbahnradius bildet,

T die unveränderliche Länge des tropischen Jahres,

T_s die Dauer des astronomischen Sommerhalbjahres, d. h. der Zeit vom Frühlings- bis zum Herbst-Äquinoccium,

T_w desgl. des astronomischen Winterhalbjahres,

W_s Menge der an der Grenze der Atmosphäre im astronomischen Sommerhalbjahr erhaltenen Sonnenstrahlung,

W_w desgl. die der Sonnenstrahlung im astronomischen Winterhalbjahr.

Wir lassen nun das Manuskript von Prof. Milankovitch folgen.

„Die Bestimmung der zeitlichen Änderungen der Größen ε , e und II ist Aufgabe der Himmelsmechanik. Die letzte diesbezügliche Aufstellung von Formeln, bei welcher alle acht Planeten berücksichtigt worden sind, rührt von Stockwell¹⁾ her. Pilgrim²⁾ hat die numerische Auswertung dieser Formeln für das Zeitintervall von 1010000 Jahren vor 1850 bis 50000 Jahre nach 1850 durchgeführt, welche für unsere Zwecke als genügend zuverlässig anzusehen ist. Wir sind demnach imstande, die Änderungen der fraglichen astronomischen Elemente während des Quartärs Schritt für Schritt zu verfolgen.“

„Es handelt sich nun darum, aus diesen Änderungen der astronomischen Elemente den säkularen Gang der Erdbestrahlung abzuleiten und auf solche Art darzustellen, daß daraus zuverlässige Schlüsse gezogen werden können, wie sich dieser Gang im klimatischen Bilde der Vorzeit fühlbar gemacht hat.“

„Um frei von allen willkürlichen Annahmen zu sein, wollen wir dabei den Einfluß der Atmosphäre auf die Erdbestrahlung außer acht lassen, d. h. nur jene Strahlungsmengen in Rechnung setzen, welche an der oberen Grenze der Erdatmosphäre anlangen. Da es uns nur auf

1) Stockwell, Memoir on the secular variations of the elements of the eight principal planets. Smithsonian contributions to knowledge. Vol. XVIII. 1873.

2) Prof. Dr. Ludwig Pilgrim, Stuttgart, Versuch einer rechnerischen Behandlung des Eiszeitalters. Jahresber. des Ver. für vaterl. Naturkunde in Württemberg 1904, Bd. 60, S. 26—117.

die zeitlichen Änderungen ankommt, so genügt dies. Zieht man dabei eine bestimmte geographische Breite φ in Betracht, so bekommt man die ersten Anhaltspunkte über den Bestrahlungszustand dieser geographischen Breite während eines beliebigen Jahres der Vorzeit, wenn man die Strahlungsmengen W_s und W_w berechnet, welche während des damaligen astronomischen Sommerhalbjahres und Winterhalbjahres einer in dieser geographischen Breite gelegenen horizontalen Flächeneinheit zugestrahlt worden sind. Als zu diesen zwei Größen zugehörig müssen auch die Längen T_s und T_w des damaligen astronomischen Sommerhalbjahres bzw. Winterhalbjahres berechnet werden.“

„Die Berechnung der Größen W_s, W_w, T_s und T_w geschieht sehr einfach mit Hilfe der im erwähnten Werke von Milankovitch mitgeteilten Tabellen. Schwieriger ist der Vergleich der so erhaltenen Werte mit jenen, welche dem gegenwärtigen Bestrahlungszustand der Erde entsprechen. Man hat dabei je zwei und zwei Strahlungsmengen und je zwei und zwei Zeitintervalle, während welcher diese Mengen zugestrahlt werden, untereinander zu vergleichen. Alle diese Größen müssen zu gleicher Zeit in Betracht gezogen werden, weil in den thermischen Erscheinungen nicht allein die Wärmemengen, sondern auch die Zeiten ihres Verbrauches ausschlaggebend sind.“

„Berechnet man sowohl für das in Betracht gezogene Jahr der Vorzeit als auch für den gegenwärtigen Bestrahlungszustand der Erde die numerischen Werte der Quotienten

$$w_s = \frac{W_s}{T_s} \qquad w_w = \frac{W_w}{T_w},$$

so stellen dieselben jene Strahlungsmengen dar, welche während des astronomischen Sommer- bzw. Winterhalbjahres der in Betracht gezogenen geographischen Breite durchschnittlich pro Zeiteinheit zugestrahlt werden. Der Vergleich dieser Werte erlaubt den Schluß zu ziehen, ob während des in Betracht gezogenen Jahres der Vorzeit die astronomischen Halbjahre durchschnittlich wärmer oder kälter waren als gegenwärtig; dabei wird von der Dauer dieser Halbjahre aber nicht gesprochen. Eine solche Angabe ist offenbar nicht vollkommen ausreichend zu einer erschöpfenden Beurteilung des thermischen Zustandes des in Betracht gezogenen Jahres. Es genügt nicht allein zu wissen, ob das astronomische Sommerhalbjahr, zum Beispiel, heißer oder milder war als das gegenwärtige, sondern auch wie lange es gedauert hat, und diese Dauer kommt in den Werten w_s und w_w nicht zum entsprechenden Ausdruck. Für $\varepsilon = 21^\circ 58' 30''$ und alle noch möglichen Werte von e und II , sofern diese nur die Gleichung $e \sin II = -0,0165$ befriedigen, bekommt man beispielsweise für den 77. Breitengrad nördlich für w_s und w_w dieselben numerischen Werte,

wie sie der Gegenwart entsprechen. Doch folgt bei einer solchen Kombination der Werte e und II eine andere Dauer der astronomischen Jahreszeiten als gegenwärtig, und zwar ein um zehn Tage kürzeres astronomisches Sommerhalbjahr und ein um ebensoviel Tage längeres Winterhalbjahr. Es ist außer Zweifel, daß ein solches Jahr der Vorzeit, trotzdem ihm dieselben Werte von w_s und w_w entsprechen wie der Gegenwart, wegen des kürzeren Sommers und des längeren Winters kühler sein mußte als das gegenwärtige. Aus diesem Grunde eignen sich die Größen w_s und w_w wohl zu einer raschen Rekognoszierung der Vorzeit, nicht aber zu einer exakten Beschreibung des säkularen Bestrahlungsganges der Erde, und es muß zwecks einer solchen Beschreibung ein anderer Weg eingeschlagen werden, welcher erst kürzlich angegeben worden ist.¹⁾

„Um diesen Weg zu zeigen, müssen wir den gegenwärtigen jährlichen Bestrahlungsgang einer schärferen Analyse unterziehen. Es stelle uns zu diesem Ende die Linie ABCD (Fig. 34) den jährlichen Gang der Bestrahlung in einer beliebigen geographischen Breite φ dar, wobei wir allerdings die Breiten von -11° bis $+11^\circ$ ausschließen, weil in diesem tropischen Gürtel das Phänomen der Jahreszeiten nicht

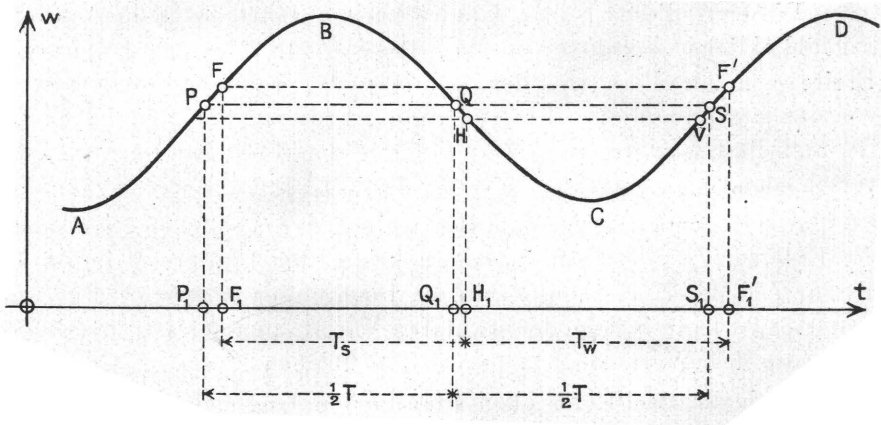


Fig. 34

zum Ausdruck gelangt. Die Abszissenachse dieser Figur stelle uns die Zeitskala dar, und die Ordinaten der Kurve ABCD die mittlere Bestrahlung der Breite φ . Bezeichnet man mit W_t die Strahlungsmenge, welche einer auf der geographischen Breite φ horizontal gelegenen Flächeneinheit innerhalb jenes Tages zugestrahlt wird, dessen Mittag durch den in Betracht gezogenen Punkt der Abszissenachse dargestellt

1) Milanković, K., Kalorische Jahreszeiten und deren Anwendung im paläoklimalen Problem. Ber. d. Königl. Serb. Akad. Bd. 1923.

erscheint, und mit τ das Zeitintervall von 24 Stunden, so ist, wie im erwähnten Werke gezeigt, $W_\tau = w\tau$. Die Größe w stellt uns also zu gleicher Zeit die Bestrahlung der erwähnten Flächeneinheit pro Zeiteinheit dar. Wenn die in Betracht gezogene geographische Breite den Polarzonen angehört, so schrumpfen für die Dauer der langen Polarnacht die Ordinaten der Linie ABCD auf Null zusammen, doch ändert dies nichts an den nachstehenden Ausführungen.“

„Es soll nun der Punkt F_1 den Zeitpunkt des Frühlingsäquinoktiums, der Punkt H_1 den Zeitpunkt des Herbstäquinoktiums und F_1' den Zeitpunkt des nächstfolgenden Frühlingsäquinoktiums darstellen, so daß die Ordinaten $\overline{F_1F}$, $\overline{H_1H}$, $\overline{F_1'F'}$ die Äquinoktialbestrahlungen und die Zeitstrecken $\overline{F_1H_1}$ und $\overline{H_1F_1'}$ die Dauer des astronomischen Sommer- bzw. Winterhalbjahres veranschaulichen. Von allen diesen Längen sind nur die Strecken $\overline{F_1F}$ und $\overline{F_1'F'}$ einander gleich, oder, besser gesagt, ihr Unterschied ist verschwindend klein. Es ist also

$$\begin{aligned}\overline{F_1F} &\gtrapprox \overline{H_1H} \\ \overline{F_1H_1} &\gtrapprox \overline{H_1F_1'}\end{aligned}$$

„Die erste dieser beiden Ungleichheiten rührt davon her, daß die augenblickliche durchschnittliche Bestrahlung der geographischen Breite φ nicht allein von der Deklination der Sonne, sondern auch von der augenblicklichen Entfernung der Erde von der Sonne abhängig ist, und diese letztere ist zu Zeiten der beiden Tag- und Nachtgleichen verschieden.“

„Aus diesem Grunde ist die Bestrahlung der nördlichen Hemisphäre der Erde zur Zeit des Frühlingsäquinoktiums um 13,5 pro Mille stärker als zur Zeit des Herbstäquinoktiums. Doch dieser gegenwärtig geringe Unterschied kann infolge der säkularen Variationen der astronomischen Elemente den Wert von 312 pro Mille erreichen.“

„Auch die zweite der oben angeführten Ungleichheiten, jene der astronomischen Jahreszeiten, rührt von der Exzentrizität der Erdbahn her. Gegenwärtig ist das astronomische Sommerhalbjahr der nördlichen Hemisphäre um 7 Tage 16 Stunden länger als das Winterhalbjahr, doch kann dieser Unterschied den Wert von ± 31 Tagen 20 Stunden erreichen.“

„Diese beiden Ungleichheiten haben noch eine weitere Anomalie zur Folge. Während des Zeitintervalles, welcher in der Fig. 34 durch die Differenz der Abszissen der Punkte F' und V dargestellt erscheint, welches Zeitintervall offenbar dem Winterhalbjahre angehört, ist die Bestrahlung der in Betracht gezogenen geographischen Breite intensiver als die Bestrahlung der letzten Tage des Sommerhalbjahres. Das

astronomische Winterhalbjahr weist also Tage auf, welche sich einer stärkeren Bestrahlung erfreuen als einige Tage des Sommerhalbjahres.“

„Aus alle dem folgt, daß die astronomischen Halbjahre das Jahr nicht in Intervalle stärkerer und schwächerer Bestrahlung teilen, sondern in zwei ungleiche Intervalle, welche keinen innigen Zusammenhang mit der Erdbestrahlung aufweisen. Überdies variieren sowohl die Längen dieser Intervalle als auch die Ungleichheiten der Erdbestrahlung an ihren Enden fortwährend. Dies war die Ursache, warum man mit Hilfe der astronomischen Jahreszeiten allein keinen tieferen Einblick in den säkularen Gang der Erdbestrahlung gewinnen konnte.“

„Alle diese Unzukömmlichkeiten können vermieden werden, wenn man das Jahr in zwei gleich lange Halbjahre teilt, von welchen das erste alle jene Tage umfaßt, während welcher die Bestrahlung der in Betracht gezogenen geographischen Breite stärker ist als an irgendeinem Tage des anderen Halbjahres.“

„Die analytische Bestimmung dieser Halbjahre, welche in der erwähnten Abhandlung gegeben worden ist, und auf welche hier nicht näher eingegangen werden kann, gründet sich auf der geometrischen Überlegung: es ist eine zur Abszissenachse parallele Gerade PQS zu finden, welche die Kurve der Bestrahlung ABCD derart schneidet, daß die Abschnitte \overline{PQ} und \overline{QS} einander gleich werden. Die Projektionen $\overline{P_1Q_1}$ und $\overline{Q_1S_1}$ dieser beiden Abschnitte stellen dann offenbar jene beiden Zeitintervalle des Jahres dar, welche den oben gestellten Bedingungen genügen.“

„Diese beiden Zeitintervalle können die kalorischen Halbjahre genannt werden, weil sie durch die Anzahl der Kalorien bestimmt werden, welche von der Sonne der in Betracht gezogenen geographischen Breite im Laufe des Jahres zugestrahlt werden. Jenes Halbjahr, welches alle Tage der stärkeren Bestrahlung umfaßt, soll das kalorische Sommerhalbjahr, das andere das kalorische Winterhalbjahr genannt werden.“

„Wenn die Kurve ABCD den jährlichen Gang der Temperatur an der in Betracht gezogenen Stelle der Erdoberfläche darstellen würde, so könnte auf dieselbe Weise das Jahr in zwei thermische Halbjahre geteilt werden. Im solaren Klima stehen die thermischen Halbjahre im engen Zusammenhang mit den kalorischen, doch sind ihre Eintrittszeiten gegeneinander verschoben.“

„Da nun die Dauer T des Jahres keinen säkularen Änderungen unterworfen ist, haben die kalorischen Halbjahre stets dieselbe Dauer von 182 Tagen 14 Stunden 54 Minuten. Hingegen ist der Zeitpunkt des Beginnes eines kalorischen Halbjahres nicht derselbe in allen geographischen Breiten. Gegenwärtig erfolgt beispielsweise mit zunehmen-

der nördlicher geographischer Breite eine Verspätung dieses Beginnes, welche vom 45. Breitengrad rund 20 Zeitminuten pro Breitengrad beträgt.“

„Die kalorischen Halbjahre geben uns nun das Mittel in die Hand, den Gang der Erdbestrahlung exakt zu verfolgen. Denn hat man den Beginn und das Ende der kalorischen Halbjahre bestimmt, so kann man auch die Strahlungsmengen Q_s und Q_w berechnen, welche während des kalorischen Sommerhalbjahres bzw. Winterhalbjahres der in Betracht gezogenen geographischen Breite zugestrahlt werden. Hat man diese Berechnung sowohl für die Gegenwart als auch für das in Betracht gezogene Jahr der Vorzeit durchgeführt, so können die so erhaltenen Werte direkt untereinander verglichen werden, weil sie sich alle auf gleiche Zeitintervalle beziehen. Man kann die Unterschiede auch quantitativ erfassen und jene geographische Breite φ_s bestimmen, auf welcher man gegenwärtig denselben Wert von Q_w vorfindet, wie er während des in Betracht gezogenen Jahres der geographischen Breite φ entsprochen hat. So kann man also die säkularen Änderungen des thermischen Zustandes auf der Erdoberfläche, hervorgerufen durch die astronomischen Ursachen, durch Breiteschwankungen ausdrücken, was für die Paläoklimatologie von großem Werte ist.“

„Die rechnerische Ermittlung der Größen Q_s und Q_w und des zugehörigen Breitenwertes, auf welche hier nicht näher eingegangen werden kann, gestaltet sich sehr einfach, wenn die Perihellänge Π die Werte von 90° oder 270° erreicht, was alle zehn bis elf Jahrtausende der Fall ist. Gerade diese Zeiten sind es, welche im säkularen Bestrahlungsgange der Erde die wichtigsten Etappen darstellen, denn dann koinzidieren die Solstitiallagen der Erde in ihrer Bahn mit dem Aphel und Perihel. Im Falle $\Pi = 90^\circ$ fällt das Wintersolstitium der nördlichen Halbkugel mit dem Perihel zusammen und der nördliche Winter erfährt durch die Nähe der Erde an der Sonne die größte Abmilderung, welche er bei gegebenem ε und e durch die Veränderlichkeit von Π erreichen kann; im Falle $\Pi = 270^\circ$ erfährt er seine größte Verschärfung. In diesen beiden Fällen der extremen jahreszeitlichen Gegensätze sind die jeweiligen Größen W_s , W_w , Q_s und Q_w durch folgende Gleichungen miteinander verbunden

$$Q_s = W_s \mp K, \quad Q_w = W_w \pm K,$$

wobei sich das obere Zeichen, wenn wir die nördliche Halbkugel der Erde betrachten, auf den Fall $\Pi = 90^\circ$, das untere auf den Fall $\Pi = 270^\circ$ bezieht; für die südliche Halbkugel ist es umgekehrt.“

„Was nun die Größe K anbelangt, so ist diese, wenn es sich um

Breiten handelt zwischen 45° und 70° , welche für das paläoklimale Problem hauptsächlich in Betracht kommen, durch den Ausdruck

$$K = \frac{2(b_0 - b_1)}{\pi^2 \sqrt{1 - e^2}} \cdot e$$

genügend genau gegeben. Dabei bedeutet b_0 und b_1 die jeweiligen Werte der durch die Tabellen IV und XVI (S. 188 und 225) des erwähnten Werkes gegebenen Größen. Beachtet man aber, daß die Größe

$$\frac{2(b_0 - b_1)}{\pi^2 \sqrt{1 - e^2}} = m$$

sich säkular nur unbedeutend ändert, da e nur im Quadrat vorkommt, so kann diese mit Hilfe der erwähnten Tabelle IV allein mit einem mittleren Werte von e berechnet und als konstant angenommen werden. So bekommt man

$$K = m e,$$

wo m nur von der geographischen Breite abhängig ist.“

„Die Größen W_s und W_w sind für ein beliebiges Jahr der Vorzeit, welchem eine um $\triangle \varepsilon$ Grade größere Schiefe der Ekliptik als gegenwärtig entspricht, durch die Ausdrücke gegeben

$$\begin{aligned} W_s + \triangle W_s \triangle \varepsilon \\ W_w + \triangle W_w \triangle \varepsilon \end{aligned}$$

wo W_s und W_w der Tabelle V und $\triangle W_s$ und $\triangle W_w$ der Tabelle XVII des erwähnten Werkes zu entnehmen sind. Man bekommt also für die Größen Q_s und Q_w folgende Ausdrücke

$$\begin{aligned} Q_s &= W_s + \triangle W_s \triangle \varepsilon \mp m e \\ Q_w &= W_w + \triangle W_w \triangle \varepsilon \pm m e \end{aligned}$$

welche leicht zu berechnen sind. Dabei gilt, wie bereits erwähnt, das obere Zeichen für $II = 90^\circ$, das untere für $II = 270^\circ$, wenn man die nördliche Halbkugel der Erde betrachtet.“

„Da der gegenwärtige Wert der Perihellänge von $100,4^\circ$ nicht viel verschieden ist von 90° und die Perihellänge erst vor 600 Jahren den Wert von 90° durchschritten hat, so können die obigen Ausdrücke, wenn es sich um die angegebenen Breiten handelt, dazu benützt werden, um die gegenwärtigen Werte von Q_s und Q_w zu berechnen; man hat nur $\triangle \varepsilon = 0$ und $e = 0,0168$ zu setzen.“

„Mit Hilfe der soeben mitgeteilten Formeln ist der sommerliche Bestrahlungszustand in den Breiten 55° , 60° und 65° nördlich während der verflossenen 650 Jahrtausende verfolgt und in der dem Buche beigelegten Tafel durch Breiteschwankungen dargestellt worden. Daß die folgende Tabelle sich auf die sommerliche Bestrahlung bezieht, geschieht auf Wunsch der Verfasser vorliegenden Werkes.“

Jahr- tausende vor der Gegenwart	Die Breiten			Jahr- tausende vor der Gegenwart	Die Breiten		
	55° N	60° N	65° N		55° N	60° N	65° N
	sind zu verschieben auf:				sind zu verschieben auf:		
0,6	54° 50'	59° 50'	64° 50'	350,5	53° 50'	59° 40'	65° 50'
11,4	49° 20'	55° 20'	60° 20'	359,6	55° 40'	60° 40'	65° 50'
22,3	56° 50'	62° 0'	68° 0'	369,4	48° 30'	54° 30'	59° 30'
33,5	53° 40'	59° 30'	65° 20'	379,3	55° 40'	60° 40'	65° 50'
47,6	52° 10'	57° 10'	61° 30'	388,9	53° 50'	59° 40'	65° 50'
60,9	52° 20'	58° 10'	63° 50'	398	56° 10'	61° 10'	67° 0'
72	58° 50'	64° 0'	72° 10'	406,3	50° 50'	56° 30'	61° 30'
82,9	48° 20'	54° 50'	60° 20'	414,7	53° 0'	57° 50'	62° 30'
94,1	56° 0'	61° 20'	64° 50'	423,8	51° 40'	57° 30'	63° 10'
105,1	50° 30'	56° 50'	62° 50'	433,5	58° 40'	63° 50'	71° 50'
116	58° 50'	63° 40'	71° 0'	443,5	49° 10'	55° 30'	61° 10'
127,6	47° 50'	54° 10'	59° 20'	454,1	56° 30'	61° 0'	65° 30'
140	56° 40'	61° 30'	66° 50'	464,7	49° 30'	56° 0'	61° 50'
152,3	52° 10'	58° 20'	64° 10'	475	59° 0'	63° 50'	71° 0'
164,5	55° 40'	60° 20'	64° 50'	485,5	48° 40'	55° 10'	60° 40'
176,2	48° 30'	55° 0'	60° 40'	496,2	55° 30'	60° 20'	65° 10'
187,4	59° 50'	65° 0'	73° 50'	507,1	53° 30'	59° 10'	64° 50'
198,3	48° 30'	55° 20'	61° 10'	527,2	54° 20'	59° 10'	63° 50'
209,4	55° 50'	60° 10'	64° 20'	537,8	48° 50'	55° 10'	60° 30'
220,5	49° 0'	55° 30'	61° 10'	548,2	59° 40'	64° 50'	73° 0'
231,1	59° 40'	65° 10'	75° 40'	558,4	48° 50'	55° 40'	61° 40'
242,3	50° 20'	56° 20'	61° 40'	568,8	57° 30'	61° 50'	66° 30'
256,9	53° 40'	58° 40'	63° 30'	579,3	46° 20'	53° 20'	59° 0'
270,7	53° 40'	59° 30'	65° 50'	589,4	59° 0'	64° 0'	71° 30'
281,6	56° 40'	61° 30'	66° 50'	599,1	51° 50'	57° 50'	63° 40'
292,4	47° 30'	54° 0'	59° 20'	608,1	54° 50'	59° 40'	64° 40'
302,8	57° 40'	62° 30'	68° 0'	616,2	50° 40'	56° 20'	61° 20'
312,8	51° 40'	57° 50'	63° 50'	624,4	55° 20'	60° 20'	65° 30'
322,6	56° 20'	61° 0'	66° 10'	633,5	51° 50'	57° 50'	63° 40'
332,4	48° 40'	54° 40'	59° 50'	643,2	57° 20'	62° 10'	67° 50'
341,7	56° 30'	61° 20'	67° 0'	653,3	48° 10'	54° 40'	60° 10'

— Diese Mitteilungen von Prof. Milankovitch sind besonders dankenswert wegen der übersichtlichen Form, in die er sie durch Umrechnung in Breitenäquivalente und durch die graphische Darstellung gebracht hat, die den oberen Teil unserer Tafel füllt (am Schluß dieses Buches). Diese Breitenäquivalente der jeweiligen Strahlung können exakt berechnet werden; dagegen ist deren Umsetzung in Temperatur von vielen Umständen abhängig. Um einen Anhalt dafür zu bekommen, welchen Temperaturwerten die Wechsel dieser Breitenäquivalente der Strahlung entsprechen, mögen hier die heutigen Mittelwerte der Temperaturabnahme mit wachsender Breite Platz finden (für je 10 Breitengrade und für nördliche und südliche Halbkugel):

Geogr. Breite . . .		0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
im wärmsten Monat	N-Halbkugel	— 0,5	1,4	1,0	3,3	5,9	4,1	7,0	5,2	
	S-Halbkugel	0,1	0,9	3,6	6,2	7,3	5,1	4,0	5,7	
	Mittel	— 0,2	1,2	2,3	4,8	6,6	4,6	5,5	5,5	
im kältesten Monat	N-Halbkugel	— 0,2	3,9	7,3	9,7	11,9	8,8	10,2	7,5	
	S-Halbkugel	1,7	3,9	5,4	5,6	6,1	10,5	14,6	9,3	
	Mittel	0,8	3,9	6,4	7,6	9,0	9,6	12,4	8,4	

Bevor wir in die Besprechung der Zahlen und Linien von Prof. Milankovitch eintreten, wollen wir sie noch durch einige wichtige Angaben aus seinem Buche und durch die Kurven ergänzen, die den unteren Teil unserer Tafel einnehmen.

Für unsere Zwecke erweisen sich nämlich die Änderungen der Strahlungsmengen, die während des veränderlichen astronomischen Sommer- und Winterhalbjahres den verschiedenen Breiten zukommen, zunächst schon ausreichend. Deren Abhängigkeit von den astronomischen Fundamentalwerten ε und $e \sin \Pi$ läßt sich aber nach den Darlegungen in Milankovitchs Werk sehr einfach und übersichtlich fassen.

Seien η_s und η_w die Abweichungen dieser Größen von einem bestimmten Mittelwert, als welchen Milankovitch jenen wählt, welcher der gegenwärtigen Ekliptikschiefe ε_0 und der Exzentrizität der Erdbahn $e=0$ entspricht, so ist für eine Ekliptikschiefe $\varepsilon_0 + \Delta\varepsilon$ (in Graden) und eine Exzentrizität e nach S. 238/239 seines Buches

$$\eta_s = 2 \Delta W_s \Delta \varepsilon \mp 2 W_s \frac{4}{\pi} e \sin \Pi$$

$$\eta_w = 2 \Delta W_w \Delta \varepsilon \pm 2 W_w \frac{4}{\pi} e \sin \Pi.$$

ΔW ist der Betrag, um den sich der Wert W der Einstrahlung an der Grenze der Atmosphäre bei Änderung von ε um 1° ändert.

Das obere Zeichen gilt für die Nord-, das untere für die Südhalbkugel. Drücken wir nun noch η_s und η_w durch deren Verhältnis zu den Größen W_s und W_w aus, d. h. setzen wir

$$A_s = \frac{\eta_s}{2 W_s}, \quad A_w = \frac{\eta_w}{2 W_w},$$

so erhalten wir folgende einfache Beziehungen:

$$A_s = \frac{\Delta W_s}{W_s} \Delta \varepsilon \mp \frac{4}{\pi} e \sin \Pi$$

$$A_w = \frac{\Delta W_w}{W_w} \Delta \varepsilon \pm \frac{4}{\pi} e \sin \Pi.$$

Wie man sieht, sind die Größen A algebraische Summen von zwei Gliedern, deren erstes ein Produkt von $\Delta\varepsilon$ mit einer bekannten und

für jeden Breitengrad konstanten Größe, deren zweites für alle Breiten (bis auf das Vorzeichen) dasselbe ist. Man kann also, wenn man als Fundamentalkurven den säkularen Verlauf der Größen $\Delta \varepsilon$ und $e \sin \Pi$ nach Pilgrims Zahlen entwirft, aus diesen den Gang der mittleren Strahlung der beiden astronomischen Halbjahre graphisch ableiten, indem man nur das Verhältnis der beiden Maßstäbe je nach der gewünschten geographischen Breite wählt.

Die Koeffizienten $\Delta W_s/W_s$ und $\Delta W_w/W_w$ sind (multipliziert mit 100) in der Tabelle XVIII (S. 229) des Werkes von Milankovitch angegeben. Um die Hauptzüge ihrer Verteilung zu zeigen, mögen die Werte in untenstehender Tabelle von 15° zu 15° Breite und für 65° Platz finden, daneben die entsprechenden Werte für das Jahr.

Die sommerliche Strahlung nimmt bei wachsender Ekliptikschiefe bis zu 11° Breite ab, von da an bis zum Pol zu.

Prozentische Änderung der Strahlungsmenge
bei Zunahme der Ekliptikschiefe um 1° für die
astronomischen Halbjahre (*s* Sommer, *w* Winter)
und das Jahr (T).

Breite	$\frac{\Delta W_s}{W_s}$	$\frac{\Delta W_w}{W_w}$	$\frac{\Delta W_T}{W_T}$
0°	— 0,35	— 0,35	— 0,35
15°	+ 0,11	— 0,87	— 0,33
30°	+ 0,59	— 1,54	— 0,22
45°	+ 1,17	— 2,60	+ 0,03
60°	+ 2,04	— 4,78	+ 0,78
65°	+ 2,51	— 5,77	+ 1,39
75°	+ 3,57	— 4,31	+ 3,17
90°	+ 4,02	0,00	+ 4,02

Die Maßstäbe der Kurven sind so gewählt, daß 1° von ε einer Änderung von e um 0,02 oder von $\frac{4}{\pi}e$ um 0,025 entspricht, was im Sommerhalbjahr in 65° Breite der Fall ist, wie obige Tabelle zeigt. Will man die Kurve für eine andere Breite haben, so muß man das Verhältnis von ε zu e ändern; $1^\circ \varepsilon = 0,03 e$ würde 80° Breite, $1^\circ \varepsilon = 0,01 e$ etwa 48° Breite entsprechen, wie man aus der Tabelle erkennen kann, da $\frac{4}{\pi}e = 0,0127$ ist. Der Einfluß der Ekliptikschiefe wächst eben (von 11° Breite an) mit der geographischen Breite.

Eine einfache Summierung der beiden Fundamentalkurven gibt die gesuchte angenäherte Strahlungskurve. Um dies noch deutlicher zu machen, haben wir die letztere in der Tafel zwischen den Fundamentalkurven als deren Mittel bzw. halbe Summe eingetragen.

Die so gewonnenen Kurven sind, wie gesagt, keine genaue Darstellung des Ganges der Strahlungsstärke, weil sie noch mit der wechselnden Länge und Lage der astronomischen Jahreszeiten behaftet sind. Aber die Wellen entsprechen, bis auf geringe Änderungen in der Form und Größe, denen der genauen Intensitätskurve, wie schon ein Vergleich unserer Kurve IV mit der Zackenlinie III von Milankovitch zeigt.

Da die Ausschläge dieser Zackenlinien in Breitenäquivalenten ausgedrückt sind, so sind sie auch vom Gefälle der Insolation nach der Breite abhängig. Da dieses im Sommer in 60° Breite am größten ist, so sind die Ausschläge der Linie II kleiner als die von I und III.

Warum wir im Folgenden nur das Sommerhalbjahr in Betracht ziehen, ist oben S. 200 angegeben. Zu beachten bleibt, z. B. für die Pflanzenverbreitung, daß der säkulare Gang der winterlichen Sonnenstrahlung im allgemeinen entgegengesetzt ist. Sie war also in den Eiszeiten größer als im Durchschnitt. In der Nachbarschaft des Inland-eises wird dieses wohl nicht zur Geltung gekommen sein.

Wenden wir uns nun der genaueren Betrachtung der sommerlichen Verhältnisse auf der nördlichen Halbkugel zu, so erkennen wir in der Zahlentabelle S. 214 und in den Zackenlinien der Tafel vier Paare von je vieltausendjährigen Scharen kalter Sommer um etwa die Jahre 90 000, 210 000, 450 000 und 570 000 vor unserer Zeit, also in Zeitabständen, wie sie ungefähr der Mitte der Würm-, Riß-, Mindel- und Günz-Eiszeit nach den Schätzungen von Penck und Brückner für das Alpengebiet entsprechen können. Die Wahrscheinlichkeit des Zusammenhanges wird ganz besonders erhöht durch den großen Abstand zwischen dem zweiten und dritten Paar, welcher der „großen Inter-glazialzeit“ entspricht. Lesen wir auf der Tafel die Zeiten ab, wo die unterste Zackenkurve jedes Paares über 68° stieg und unter 68° fiel, so sind die Intervalle

Jahrtausend:	545 bis 478	429 bis 238	182 bis 118
Dauer:	67	191	64
= Inter-glazial:	Günz-Mindel	Mindel-Riß	Riß-Würm
Schätzung von Penck	(100)	240	60

Die Übereinstimmung ist überraschend gut. Wir können nicht zweifeln, daß wir in den Zackenpaaren unserer Tafel die europäischen Eiszeiten vor uns haben.

Es entsteht nun die Frage: Wie können diese durch jeweils etwa 40 000 wärmere Sommer getrennten je zwei oder drei Scharen kalter Sommer den Eindruck je einer einheitlichen „Eiszeit“ hinterlassen.

Vor allem ist da zu bemerken, daß bis jetzt Vereisungen nur dann deutlich voneinander geschieden werden konnten, wenn entweder die

eisfreie Zeit zwischen ihnen äußerst lang war oder jede nachfolgende einen Rückgang gegen die vorhergehende zeigte, so daß ihre Endmoränen innerhalb derjenigen der älteren liegen. So in Europa mit Riß- und Würmeiszeit und den „Rückzugsstadien“ der letzteren, und so auch in Nordamerika. Wenn dagegen auf eine Vereisung nach (geologisch) kurzer Zeit eine zweite folgt, die ebenso groß oder noch größer ist als die vorige, so wird die Unterscheidung ihrer Spuren wohl in aller Zukunft sehr schwierig bleiben. Die der ersten sind durch die zweite verwischt.

Dennoch ist es, wie die Tabelle von Krenkel und das Diagramm von Soergel (S. 161) zeigen, den Geologen bereits gelungen, in der letzten Eiszeit zwei annähernd gleich große Hauptvorstöße zu unterscheiden; und auch wenn nach Gams und Nordhagen¹⁾ Soergels erster Hauptvorstoß der Rißeiszeit gleich wäre, so setzen diese an Stelle von Soergels Rißeiszeit eine neue, die Mühlbergsche Eiszeit als Bildnerin vieler Hochterrassenschotter, der Moränen zwischen den oberen und unteren Schieferkohlen der Schweiz und des älteren Lösses. So oder so sind also für die zwei letzten Eiszeiten zusammen bereits drei Hauptvorstöße erkannt von den vieren, die wir nach der Strahlungskurve erwarten müssen.

Wenn auch vielleicht nicht in den Alpen, so doch bei dem großen nordischen Eise dürfte zudem die Erhaltungstendenz eines einmal entstandenen Inlandeises genügt haben, daß sein Kern auch Zehntausende von warmen Sommern überdauerte; dann mußte bei nur gleichem Strahlungsmangel der zweite Eisvorstoß größer sein als der erste, weil er von diesem Kern ausging.

Zur ersten Bildung eines Inlandeises ist es nötig, daß an der Erdoberfläche selbst, wo der Schnee anfällt, die Sommertemperaturen so tief sind, daß sie nicht zur Schmelzung ausreichen. Es ist also ein starkes Defizit an Bestrahlung nötig. Ist die Eiskappe aber erst einmal entstanden, so kann sie sich auch unter wesentlich stärkerer Bestrahlung erhalten, ja weiterbilden. Denn zunächst erniedrigt sie durch die starke Ausstrahlung die Lufttemperatur um 5 bis 7° unter diejenige Höhe, welche ohne Schnee herrschen würde. Dieser Effekt mag freilich dadurch kompensiert werden, daß die damit Hand in Hand gehende Ausbildung einer Antizyklone die Bedingungen für Niederschlag wesentlich verschlechtert. Dafür tritt aber eine andere Erscheinung hinzu, welche für die Erhaltung des Inlandeises außerordentlich wirksam ist: die Erhebung der Oberfläche über die Schmelzisotherme. Der weitaus größte Teil der ungeheuren grönländischen Eiskappe liegt zwischen 2000

1) H. Gams und R. Nordhagen: Postglaziale Klimaänderungen und Krustenbewegungen in Mitteleuropa. München 1923. S. 134—135, 286.

und 3000 m Seehöhe und ist hierdurch jeglicher Schmelzung entzogen. Und wo, wie im Süden und längs dem Rande, der Sommer eine kurze Schmelzperiode bringt, durchfeuchtet das Schmelzwasser nur die darunterliegenden Schneeschichten, um dann in der kalten Jahreszeit zu Eis zu gefrieren. Auch dies Schmelzwasser wird also dem Inlandeise nicht entzogen. Nur in der eigentlichen Randzone des grönländischen Inlandeises, die meist nur 100 km breit ist (im Norden weniger, im Süden mehr), kann die Sommerwärme das Inlandeis beeinträchtigen, indem hier das Schmelzwasser oberirdisch als Oberflächenbäche oder unterirdisch durch Spalten und am Grunde des Inlandeises abfließen kann. Auf allen Seiten des grönländischen Inlandeises gelangt man beim Aufstieg sehr bald in Seehöhen über 2000 m, während es dann nach der Mitte nur noch sehr langsam weitersteigt; die Oberfläche ist also schildartig gewölbt. Die Regelmäßigkeit dieser Erscheinung nötigt zu der Ansicht, daß sie nicht durch die lokalen Bodenverhältnisse erzeugt, sondern die normale Form einer Inlandeiskappe ist. Auch die quartären Eiskappen werden also diese Form gehabt haben, die Abschmelzung war also auch dort auf eine Randzone beschränkt, während alles übrige den Schmelzprozessen völlig entzogen war. Es ist klar, daß hierdurch die Lebensdauer eines Inlandeises sehr verlängert wird, und daß es auch unter Bedingungen erhalten bleiben kann, bei denen eine Neubildung nicht möglich wäre. In diesem Sinne nehmen wir mit v. Drygalski an, daß das grönländische Inlandeis ein Rest aus der Eiszeit ist, d. h. daß es sich nur vermöge der großen Seehöhe seiner Oberfläche erhält und, wenn beseitigt, sich unter den heutigen Bedingungen nicht wieder neu würde bilden können.

Wir glauben, in diesen Überlegungen eine ausreichende Erklärung dafür zu sehen, daß je zwei Strahlungsminima nur eine Eiszeit ergeben können. Der Zeitabstand von 40 000 Jahren zwischen zwei Minima ist zwar sehr groß, und mitunter treten in ihm Zeiten recht hoher Strahlung auf. Allein wenn nur ein Rest der ersten Eiskappe übrig bleibt, so wird die Bildung der zweiten um so viel früher beginnen und die Eiskappe wird nun viel größer werden, so daß die deutlichsten Kennzeichen einer Vereisung, die Endmoränen des früheren Vorstoßes, überrannt und verwischt werden und der Eindruck einer einheitlichen Eiszeit entsteht.

Damit soll durchaus nicht gesagt sein, daß diese Verschmelzung zweier großer Vorstöße überall stattgefunden habe. Nur die Wahrscheinlichkeit davon beim nordischen Inlandeis sollte gezeigt werden. Es mehren sich aber die Anzeichen dafür, daß bei den kleineren Eisfeldern der Alpen usw. die Spaltung der Eiszeiten in mehrere Hauptvorstöße noch erkannt werden kann.

Der Typus unserer Quartär-Eiszeiten ist am reinsten ausgebildet

in den Jahrtausenden — 180 bis — 240, die wir als die Rißeiszeit ansehen. Die Exzentrizität der Erdbahn war groß und die Wellen von $e \sin II$ standen so zu denen von e , daß ihre Wellentäler (die Abkühlungen) sich unterstützten. Dementsprechend erreichte denn auch die sommerliche Strahlung in diesen Jahrtausenden ihre tiefsten Minima während der 650 000 Jahre, wie denn auch die Vereisung der Rißzeit erheblich die der Würmzeit übertraf. Die übrigen drei Eiszeiten zeigen den gleichen Typus abgeschwächt.

Da die Eiszeiten Zeiten stärkster Exzentrizität der Erdbahn sind, so könnte gegen ihre Enden und in den ein bis zwei Zeiträumen verstärkter sommerlicher Strahlung, die sie spalteten, die Sommertemperatur am Eisrande recht hoch gewesen sein, wenn auch beeinträchtigt durch die antizyklonalen Winde. Wir müssen wegen des weiten Nachhinkens der Eisschmelze hinter dem Temperaturgange erwarten, daß nur beim Beginn jeder Eiszeit oder jedes Vorstoßes weite Tundragebiete den entstehenden Eiskuchen begrenzten, beim Rückgange aber die Baumgrenze, ja sogar die Eichengrenze, den wärmeren Sommern entsprechend, dem Eise recht nahe lag. Vielleicht erklärt sich so ein Teil der bestehenden Meinungsverschiedenheiten in dieser Frage. Die Sachlage war eben minder einfach, als man sich gewöhnlich vorstellt.

Nach dem zweiten Hauptvorstoß der letzten Eiszeit, der eine Folge des Strahlungsminimums vor 72 000 Jahren war, kann das Abschmelzen auch in Deutschland sehr lange, wohl bis vor 50 000 Jahren gedauert haben. Der zweite Vorstoß war größer als der erste, sein Eis ging über dessen Endmoränen hinweg und muß sie undeutlich gemacht haben. Über den kleineren dritten Vorstoß, der dem Strahlungsminimum vor 22 000 Jahren folgte, sind verschiedene Auffassungen möglich. Die nächstliegende ist, daß wir ihm den so frischen Moränengürtel zuzuschreiben haben, dem wir die schönen Hügel und Seen von Ostholstein bis Masuren verdanken. Demgegenüber ist es auffallend, daß von dem langen Interstadial davor fast gar keine Reste bisher nachgewiesen sind. Im längsten Aufschluß Norddeutschlands, im Kaiser-Wilhelm-Kanal, hat sich keine Spur einer Unterbrechung im Abschmelzen gezeigt.

Unabhängig von der Frage nach dem Eisrande ist das Ergebnis von August Schulz, das sich auf die Flora von Mitteldeutschland bezieht.¹⁾ Eine lange Wälderzeit vor 55 000 bis 40 000 Jahren und darauf folgende Tundrenzeit vor 40 000 bis 20 000 Jahren in Norddeutschland ist nach der Strahlungskurve sehr wahrscheinlich, auch wenn der Eisrand in der letzteren nicht auf deutschem Boden gelegen haben sollte.

1) Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Bd. 62.

Die ungeheuer lange Zeit vom Beginn der Würmeiszeit vor 120 000 Jahren bis zum Ende des zweiten Hauptvorstoßes vor vielleicht 60 000 Jahren erscheint zunächst unbegreiflich, wenn man bedenkt, daß der Mensch nicht nur sie, sondern auch das vorhergehende Interglazial und die Rißeiszeit mit zusammen wiederum 120 000 Jahren überlebt haben soll, ohne über die Stufe der Faustkeilkultur emporzusteigen (vgl. Fig. 26 und Tabelle S. 178). Allein es war nicht *Homo sapiens*, sondern *Homo neandertalensis* oder *mousteriensis*, und in diesem als zoologisch andere Spezies anerkannten Wesen war der, aller übrigen Tierwelt fremde, Fortschrittstrieb offenbar nur in ersten Anfängen vorhanden. Die drei Grundsteine zur Kultur waren freilich auch bei ihm schon gelegt: die Instrumentierung durch den Faustkeil u. a., die Domestizierung durch Gebräuche (Bestattung) und drittens, sehr wahrscheinlich, auch die Sprache — aber wohl in äußerster Unvollkommenheit.

Erst während der letzten Eiszeit, jedenfalls vor dem letzten Baltischen Vorstoß, erschien der Jetztmensch, *Homo sapiens* L., in Europa; wie und von wo läßt sich noch nicht sagen. Bevor wir uns aber mit dieser letzten Phase beschäftigen, ist einiges über die vorhergehenden Interglaziale zu sagen.

Unsere Tafel zeigt uns, daß im Eiszeitalter am selben Orte Schwankungen in der Wärmezufuhr von der Sonne vorkamen, die einem Breitenunterschied von 16 Breitengraden entsprachen, und daß diese Schwankungen ungefähr zu den Zeiten stattfanden, zu denen Interglazial- und Eiszeiten aus geologischen Befunden angenommen wurden. Damit ist der Wechsel dieser Zeiten in der Hauptsache erklärt und kann eine zweite Ursache, auch eine Polbewegung, nur insofern in Frage kommen, als sie Störungen in diesem Wechsel bewirkt haben könnte. Denn die Wirkung einer zweiten Ursache im gleichen Tempo dieser vier Wellen ist allzu unwahrscheinlich.

An Störungen scheint es auch nicht ganz gefehlt zu haben. Warum z. B. nach Riß II eine Interglazialzeit gekommen ist, nach Würm II aber nur ein Interstadium, worauf ein dritter Vorstoß folgte, das scheint sich aus unseren Kurven noch nicht erklären zu lassen. Übrigens wird sich auch in diesem Interstadium der Eisrand weit nach Schweden zurückgezogen haben, und es ist zweifelhaft, ob es im „Interglazial“ Riß-Würm viel anders war.

Unzweifelhaft aber sehen wir eins: die heute in Europa auf dem 55. und 56. Breitengrad liegenden Orte würden jetzt ohne Breitenänderung einer Eiszeit fast näher sein, als einer Interglazialzeit. Wir würden auf ihnen aus dem Eiszeitalter mehr Zeugnisse einer höheren Wärme als einer Kältezeit haben, denn die Abweichungen der Strahlung von der Jetztzeit erreichen, in fiktiven Breitengraden ausgedrückt,

nur 5° nach der Nordseite, aber 7°, ja in einem Falle 9° nach der Südseite. Wir werden uns mit dieser Frage im folgenden Abschnitt beschäftigen, der der Breitenänderung gilt.

Die Kurvengruppe V, die dieselben Größen für die Südhalbkugel darstellt, gibt ein ganz anderes Bild. Auch hier ist die Mittelkurve die Strahlungskurve, mit ebenso wie in I bis IV nach oben wachsender Strahlung. Um die Entstehung der Kurve klarzumachen, haben wir auch hier die beiden Fundamentalkurven eingezeichnet, die ε -Kurve mit demselben, die $e \sin \Pi$ -Kurve mit entgegengesetztem Vorzeichen wie für die Nordhalbkugel, weil der Sommer hier in unseren Winter fällt.

In der folgenden Übersicht stellen wir alle die durch Strichelung herausgehobenen Täler der Kurven IV und V zusammen, in denen wir die Eiszeiten bzw. deren Beginn erkennen müssen. Die entstandenen Eiskappen werden viele Jahrtausende weitergewachsen sein. Auch auf der südlichen Halbkugel sind es, wie auf der nördlichen, die Zeiten großer Exzentrizität der Erdbahn, in die diese Täler fallen; aber zum Teil sind es andere Maxima derselben, und im einzelnen gestaltet sich die Kurve sehr anders. Weder die Vierzahl noch die Verdoppelung der Strahlungsminima, die wir im Norden fanden, zeigt sich hier. Dagegen sehen wir eine große Zahl schwächerer Minima in verschiedenen Abständen aufeinander folgen. Das kleine Tal im M-R- Interglazial der Nordhalbkugel, das wir als „Namenlos“ aufgeführt haben, hat wohl kaum zu einer wirklichen Eiszeit, d. h. Inlandeisbildung in Europa geführt.

Übersicht der Eiszeiten (Jahrtausende vor Jetztzeit).

Nordhalbkugel		Südhalbkugel	
• Günz I	592—585 ..	—	
Günz II	550—543 ..	Vor Günz II	560—554 ..
Mindel I	478—470 ..	Nach Mindel I	468—462 ..
Mindel II	434—429 ..	}	bei: (442), 389, 350, 312, 270 ..
—	—		
—	—		
Namenlos	305—302 ..		
Riß I	236—225 ..	Nach Riß I	226—218 ..
Riß II	193—183 ..	Vor Riß II	200—195 ..
Würm I	118—110 ..	bei 152 ..	
Würm II	74—66 ..	Nach Würm I	110—103 ..
(Balt. Stadium 25 ..)		Vor Balt. Stad.	33—30 ..

Selbstverständlich haben neben diesen Schwankungen in der Bestrahlung auch allfällige Änderungen im Luftkreislauf und in der Verteilung von Wasser und Land das Klima beeinflusst. Aber hier sind wir

mehr auf Annahmen angewiesen. Die Ausdehnung der Ostsee hat stark, die der Nordsee wohl weniger geschwankt. Allein das kann nur geringere Unterschiede im Klima hervorgebracht haben, wie sie heute zwischen Küste und Binnenland in Europa bestehen, und hatte wohl auf den Wechsel von Eis- und Interglazialzeiten wenig Einfluß. In der Tat schließt ja auch die große Übereinstimmung der Strahlungskurve mit den geologischen Befunden die Wirkung anderer dominierender Ursachen aus, soweit sie nicht selbst Funktionen dieser Kurve sind, wie z. B. die Antizyklone über dem Inlandeise.

Die genannten Hebungen und Senkungen im Vereisungsgebiet und seiner Nachbarschaft müssen wir als Folge der wechselnden Eisbedeckung ansehen.¹⁾ Am Ende des Pliozäns und jeder Interglazialzeit lagen Skandinavien und Labrador höher als jetzt, in jeder Eiszeit wurden sie zu deren Ende um mehrere hundert Meter durch die Eislast herabgedrückt, die Umgebung dagegen durch den herausgequetschten Untergrund etwas gehoben. Nach Verschwinden des Eises fand dann ein durch viele Jahrtausende dauerndes Steigen des entlasteten Gebiets und schwaches Sinken der Umgebung statt. Diese Hebung beträgt noch jetzt etwa 1 m im Jahrhundert. Die Senkung, die als „Litorina-Senkung“ vor etwa 6000 Jahren sehr auffällig war, ist jetzt in Norddeutschland nicht mehr zu merken.

In der Fig. 26 (S. 161), die Soergels Auffassung vom Verlauf der Würmeiszeit wiedergibt, haben wir unten zum Vergleich die sommerliche Strahlungskurve seit 190 000 Jahren beigelegt, unter Zusammenschiebung der Höhepunkte von Würm I mit Soergels I. Hauptvorstoß. Auch Würm II fällt dann in beiden Darstellungen nahe zusammen, ebenso Soergels „Bühl“ mit unserem Baltischen Vorstoß, der aber durchaus nicht so unbedeutend war. Aber die Riß-Würm-Interglazialzeit war nach der Strahlungskurve viel kürzer und in ihrem mittleren Teile kühler, als Soergels Diagramm vorauszusetzen scheint.

Die gezeichnete Abzweigung der zweiten Kurve in den letzten 15 000 Jahren nach der Seite höherer Wärme ist derjenige Strahlungsgang, der einer Abnahme der geographischen Breite um 5° zwischen etwa 15 000 und 5000 vor der Jetztzeit entspricht.

Ganz übersehen ist sowohl in Soergels Zeichnung, als in Krenkels Tabelle die Zeit der warmen Sommer vor 10 000 bis 4000 Jahren, das „Klima-Optimum“, dessen Wesenheit doch außer Zweifel steht, das aber freilich in Deutschland sich weniger gezeigt haben wird, als in höheren Breiten. Betrug doch infolge der Änderungen in der Ekliptik-

1) Vgl. Köppen, Das System in den Bodenbewegungen und Klimawechseln des Quartärs im Ostseebecken. Zeitschr. f. Gletscherk. XII, 1922, S. 97—123.

schiefe die Dauer des längsten Tages unter $68\frac{1}{2}^{\circ}$ N vor 9100 Jahren 62 Tage, während sie jetzt nur 54 beträgt; vor 28 300 Jahren war sie dort nur 38 Tage.¹⁾

C. Die Breitenänderungen im Quartär und die Klimawechsel bestimmter Gegenden.

Die von der Geologie festgestellte Wechselfolge von Eiszeiten und Interglazialzeiten in Europa stimmt so unerwartet nahe mit dem Gang der Kurven der Sonnenstrahlung in dem von uns angenommenen Zusammenhang überein, daß wir nicht umhin können, in diesen Kurven das Bild der Ursache jener Schwankungen vor uns zu sehen.

Allein im Vergleich zur Jetztzeit liegt die Mittellinie dieser Kurven offenbar zu hoch, d. h. nach der Seite zu großer Bestrahlung verschoben, und sie allein erklären daher das Eiszeitalter nicht. Wir befinden uns heute in einem, wenn auch flachen, Wellental der Kurve, einer Eiszeit verwandter, als einem Interglazial. Die Pflanzenwelt der Interglaziale aber zeigt uns, daß die Lufttemperatur und voraussichtlich die Sonnenstrahlung auch in diesen höheren Bergen der Kurven nur ungefähr mit den jetzigen übereinstimmten und in den Wellentälern tief unter diesen lagen.

In den Zackenlinien auf unserer Tafel sehen wir fünfmal die Linie III und sechsmal die Linie II um einen etwas mehr als 5 Breitengrade entsprechenden Betrag die jetzige Strahlung übertreffen. Nehmen wir, nach den Pflanzenfunden der Interglaziale, an, daß an den jetzt auf diesen Breitengraden liegenden Orten Mitteleuropas Strahlung und Lufttemperatur nur dieselben waren, wie jetzt, so ergibt sich daraus eine Breitenabnahme von 5° für diese Orte. In der Kurve I würden dabei 15 Wellenberge diese Grenze überschreiten, also in den Alpen voraussichtlich diese Zeiträume aus den Interglazialen wärmer, z. T. mehr als 2 Breitengraden entsprechend wärmer gewesen sein, als jetzt. Da natürlich bei der Lage des Pols im jetzigen Nordwesten nicht für ganz Mitteleuropa und für den ganzen Polweg genau die gleiche Breitenänderung gelten kann, nehmen wir 5 bis 7° als maßgebend an, im Westen mehr, im Osten weniger.

Diesen gegen heute um mindestens 5° verringerten Polabstand müssen wir aber auch noch für den letzten Eisvorstoß vor 22 000 Jahren²⁾ gelten lassen; denn trotzdem bei ihm die Abnahme der Sonnenstrahlung (vgl. die Tafel) nur eben bis an die Grenze ging, die wir

1) N. Ekholm, On the Variations of the Climate of the Geological and Historical Past and their Causes. Quart. Journ. of the R. Met. Soc. 1901, S. 40.

2) In derselben Lage von 85° Breite, 10° Ostlänge müssen wir den Pol nach der immerhin beträchtlichen Stärke der letzten Patagonischen Eiszeit schon vor 30 000 Jahren annehmen.

oben für eine Eiszeit angenommen haben, stieß in ihm das Eis nach De Geer bis über Schonen in die Ostsee hinaus. Wir müssen sogar, um De Geers Zählungen von Lehmhorizonten möglichst Rechnung zu tragen, den Beginn der Breitenabnahme für Skandinavien, und Europa überhaupt, noch später, erst vor etwa 15 000 Jahren ansetzen. Nur durch diese Breitenänderung erklärt sich ja das völlig geänderte Verhalten des Inlandeises seit dieser Zeit, verglichen mit demjenigen in den Interstadien der Eiszeiten. Die Strahlungskurven geben dafür keine Erklärung. Wie kommt es denn, daß in den 19 000 Jahren, seit die Strahlung den jetzigen Betrag erreicht hat, der große skandinavische Eiskuchen längst unserer Pflanzenwelt Platz gemacht hat, während in den je 27 000 bis 29 000 Jahren, in denen in der Würmeiszeit zweimal, in den übrigen je einmal die Strahlung ebenfalls diesen Betrag überstieg, sich bis jetzt keine Anzeichen für ein Interglazial gezeigt haben? Dabei war vor 83 000 Jahren zwischen Würm I und II die sommerliche Sonnenstrahlung ebenso stark, wie im Strahlungsmaximum vor 11 000 Jahren, das vom Klimaoptimum gefolgt wurde. Aber mit der von uns angenommenen Polwanderung erklärt sich alles befriedigend, wenn auch die starke Drehung der Breitenkreise in Europa seit 72 000 Jahren unerwartet ist. Für die Zeit von vor 30 000 bis vor 15 000 Jahren nehmen wir die Pollage in 85° Breite und 10° Ostlänge an.

Unter sich zeigen die europäischen Eiszeiten, soweit bis jetzt erkannt, Unterschiede, wie sie ungefähr der Strahlungskurve entsprechen; die Riß-Eiszeit war viel stärker als die Würm-Eiszeit, Günz tritt dagegen zurück, nur von der Mindel-Eiszeit könnte man eine stärkere Hervorhebung erwarten, der wir leicht durch eine Ausbauchung des Polwegs nach Osten Rechnung tragen könnten.

Diesem Verhalten entspricht eine Bewegung des Pols während des europäischen Eiszeitalters annähernd tangential gegenüber Mitteleuropa, die vor 30 000 Jahren in 85° N 10° O endete und von SSW kam. Wie weit diese Tangente rückwärts ausziehen ist und wo der von der Beringstraße kommende Pol in diese Bahn einschwenkte, müssen Amerika und Antarktika entscheiden.

Die Fig. 35 zeigt nach Chamberlin und Salisbury schematisch, daß die Eisgrenze in Nordamerika in jeder folgenden Eiszeit weniger weit vordrang; da sie dies in ihrer Fig. 470 auch für Wisconsin II gegenüber Wisconsin I ausdrücklich darstellen, haben wir diese Spaltung des Wisconsin, die im Original zufällig fehlt, hinzugefügt. Nach Leverett bleiben die Wisconsin-Moränen in Illinois 200 km hinter denen des Illinoian, und in Iowa nur ebensoviel hinter dem Kansan zurück. Im einzelnen ist der Verlauf der verschiedenen Endmoränen höchst un-

regelmäßig; aber das Schema stimmt zu einer fortschreitenden Entfernung des Pols von den großen Seen.

Um den südlichsten Punkt zu finden, auf dem der Pol, von seiner Miozänlage in 75° N 150° W in diese zu Europa tangentielle Bahn einschwenkte, müssen wir Angaben von der Südhalbkugel berücksichtigen.

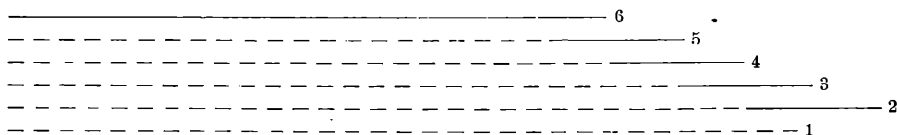


Fig. 35. Veranschaulichung des schuppenförmigen Zurückbleibens der Reste der fünf letzten amerikanischen Eiszeiten. Links der gemeinsame Ausgang. 1 Prä-Kansan. 2 Kansan. 3 Illinoian. 4 Iowan. 5 Früh-Wisconsin. 6. Spät-Wisconsin.
— — — Von späteren Eisfluten überdeckte Ablagerungen.

Auf S. 136 haben wir auseinandergesetzt, daß wir mit Irmischer die Flora der jetzt vereisten Seymour-Insel (64° S 57° W) in den Beginn des Quartärs setzen müssen. Der fast subtropische Charakter dieser Flora nötigte uns, eine Breite von etwa 45° für sie anzunehmen, und so finden wir die Pollage im Norden für den Beginn des Quartärs zu rund 70° N 60° W. Die Westlänge ist nach Europa bestimmt.

Das ist für Europa die Pollage vor oder zu der Günz-Eiszeit; welche von den amerikanischen Eiszeiten ihr entspricht, haben wir schon auf S. 183 untersucht. Wir setzen Iowan = Mindel, Illinoian = Günz, denn dann hat man für den weiten Weg des Pols vom Miozän (75° N 150° W), der sehr nahe an Nordamerika vorbeiging, immerhin zwei anerkannte Eiszeiten, Kansan und Prä-Kansan. Da die mächtige Kansan-Eisflut zudem nur vom Keewatin-Zentrum ausgegangen zu sein scheint, so haben wir den Pol zu dieser Zeit weit westlich zu legen, so daß er von Europa noch fern war. Andererseits dürfte der Baltische Eisvorstoß vor 21 000 Jahren in Amerika kaum merkbar gewesen sein.

In Fig. 36 ist nach diesen Angaben der Weg des Nordpols seit dem Miozän dargestellt. Zur Orientierung sind die heutigen Küstenumrisse eingezeichnet. Doch ist zu beachten, daß das Gradnetz und die Pollagen auf Europa bezogen sind, Amerika aber während des größeren Teils der Zeit östlicher und nördlicher lag als jetzt.

Unserer Auffassung nach haben also die älteren Vereisungen im Innern von Nordamerika stattgefunden noch während am West-, Süd- und Ostrand der Vereinigten Staaten und in Europa die als Pliozän bezeichneten Ablagerungen entstanden.

Dem Meridian 50° W gegenüber liegt der Meridian 130° O, in dessen Nähe die Neusibirischen Inseln und der heutige Winterkältepol bei Werchojansk liegen. Diese müssen also vor 600 000 Jahren um 20° , und noch vor 72 000 Jahren um 16° südlicher gelegen haben, als

jetzt; die Ljachow-Insel also unter 54 bis 58° N, Werchojansk unter $47\frac{1}{2}$ bis $51\frac{1}{2}^{\circ}$ N. Auch hatten sie kein Land im Norden, das sie mit Eis überschwemmen konnte, wie Europa und Nordamerika. So wird uns das mächtige Tierleben dieser Gegenden zur Mammutzeit erklärlich. Das Behringsmeer und der Schelf bis zu den Neusibirischen Inseln lag größtenteils trocken, und dies Behringsland, wie wir es nennen können, war nicht nur kein Hindernis für Tierwanderungen, sondern war ein Teil des ausgedehnten, von Alaska bis Vorderasien reichenden Lebensgebietes, von dem aus Nordamerika und Europa nach

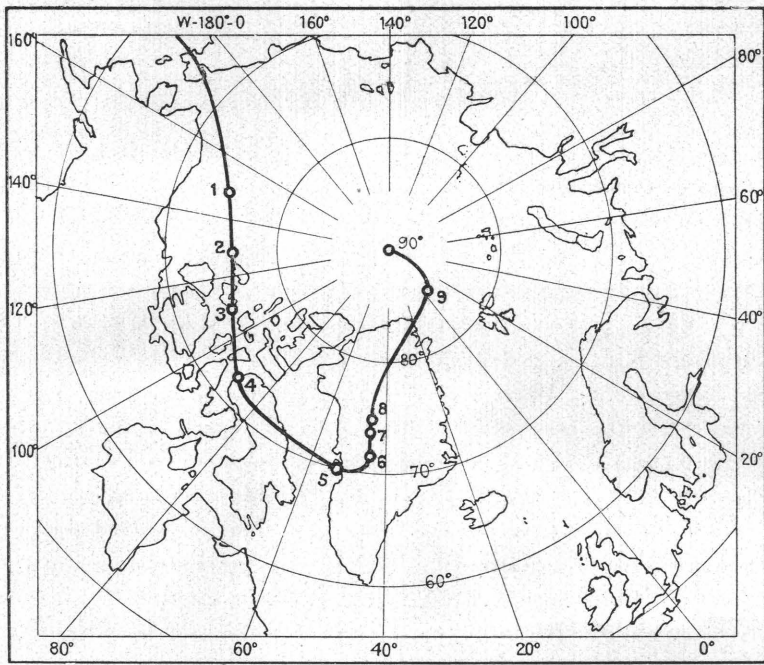


Fig. 36. Weg des Nordpols, bezogen auf Europa.

1 Miozän, 2—4 Pliozän (4 Kansan), 5 Günz, 6 Mindel, 7 Riß, 8 Würm, 9 Balt. Vorstoß.

jeder Eiszeit mit den gleichen Tieren versorgt wurden. Für Nordamerika war dies nur die eine Quelle neben Mexiko und dem Antillenland; für Europa aber war der Weg nach Süden durch Mittelmeer und Sahara versperrt, die freilich damals weniger unwirtlich als jetzt war. Europa war also auf die Zuwanderung aus dem Landstreifen von Alaska bis Persien angewiesen, und diese war nicht nur durch den weiten Weg, sondern zeitweise auch durch das Kaspische Meer beschränkt, das bis Kasan reichte. Das Ergebnis war das schnelle Verschwinden der reichen pliozänen Tierwelt aus Europa und dessen heutige Armut an Tier- und Pflanzenarten, verglichen mit Japan und Nordamerika.

Wir können den Gang der Vergletscherungen auf der Nordhalbkugel, seitdem festes Land in die nördliche Polarzone eingetreten ist, durch das Diagramm Fig. 37 veranschaulichen. Unter Columb. ist eine wahrscheinliche, aber nur erst durch schwache Spuren in British-Columbia erkannte Eiszeit im früheren Pliozän verstanden.

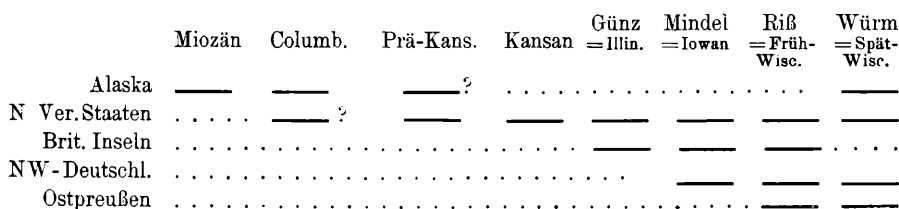


Fig. 37

In der langen Zeit von vor 590 000 bis vor 71 000 Jahren hat sich, danach zu urteilen, der Pol nur langsam bewegt. Der Abstand der Endmoränen zwischen Illinoian bei Indianapolis und Spät-Wisconsin bei Saginaw beträgt nach der Karte auf S. 331 von Chamberlin und Salisbury 450 km, anderswo meist noch weniger, und wir haben keine Veranlassung zu glauben, daß irgendeine dieser Vereisungen in niedrigere damalige Breiten gedrungen sei, als die anderen. Wir erhalten so für Spät-Wisconsin = Würm den Pol auf 75° N 45° W. Dort lag er wohl noch vor 71 000 Jahren; vor 30 000 bis 15 000 aber nahmen wir ihn in 85° N 10° O an. Dies gibt eine sprungweise Verschiebung in der Zwischenzeit um $1510:40 = 3,8$ km im Jahrtausend; und nach 15 000, da er schon vor der historischen Zeit, also vor etwa 5000 Jahren zur Ruhe gekommen ist, erhalten wir sogar eine Verschiebung um $550:10 = 5,5$ km im Jahrtausend.

Diese schnelle Breitenabnahme Nordamerikas nach der Spät-Wisconsin-Zeit hat wohl zur Champlain-Überflutung beigetragen, wenn diese auch zum größeren Teile durch die vorhergehende Niederdrückung des Nordens durch die Eislast bedingt war. Würde aber letztere Ursache allein die wirksame sein, so müßten wir eine ebensolche Überflutung nach jeder Eiszeit erwarten, was doch nicht — d. h. nicht in dem Maße — der Fall gewesen zu sein scheint. Vor dem Pol sinkt, hinter ihm steigt der Meeresspiegel, bis wieder Ausgleich erfolgt.¹⁾

Bei diesen Pollagen fielen die Spät-Wisconsin-Moränen bei Chicago, die jetzt in 41° Breite liegen, auf 53° Breite, wenn wir Amerika in seiner jetzigen Lage nähmen. Es ist indessen ziemlich wahrscheinlich, daß auch die Abwanderung Amerikas, in ursächlichem Zusammenhang mit der Polwanderung, großenteils in den gleichen zwei Sprüngen wie

1) Vgl. A. Wegener, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. 3. Aufl. Braunschweig 1922. S. 85/86.

diese (vor und nach dem europäischen Eiszeitalter) geschah, so daß wir dessen Abtritt von Grönland erst nach dem Spät-Wisconsin annehmen haben. Das gibt eine weitere wahrscheinliche Breitenabnahme von mindestens 5° , so daß wir für den Spät-Wisconsin-Eisrand bei Chicago dieselbe Breite von 58° erhalten, wie für den in der letzten Eiszeit in Norddeutschland. Das ist scheinbar mehr, als wir zur Erklärung des jetzigen Breitenunterschieds dieser Moränen von $> 10^\circ$ brauchen. Denn durch Golfstrom und Westwinde sind selbst die Sommerisothermen, auf die es hier ankommt, in Mitteleuropa bis zu 6° nördlicher gerückt als bei Chicago; und wenn auch schwächer als jetzt, wegen der geringeren Breite des Atlantik, werden dieselben Ursachen auch damals schon so gewirkt haben. Allein wir müssen auch für die amerikanischen Vereisungen niedrigere Temperaturen am Eisrande annehmen, als für die europäischen. Denn auch bei ihrem östlichen Vereisungszentrum lag der Gebirgskern, an den sie sich anlehnen konnten (Grönland), viel weiter ab. Der südliche skandinavische Gebirgsknoten lag vom Eisrande in Deutschland etwa 1200 km entfernt; das grönländische Hochland aber, selbst wenn es dicht vor dem Labrador-schelf lag, mindestens 2700 km von Chicago. Eine um 6° höhere Sommertemperatur am Abschmelzende des europäischen Inlandeises, wie sie etwa dem erwähnten Breitenunterschied der jetzigen Isothermen entspricht, steht damit in keinem Widerspruch.

Legen wir den Kansan-Pol vermutungsweise auf 72°N , 90°W , so kommen dessen fernste Moränen, nördlich von Cairo, ohne Verschiebung auf 57° , mit dieser auf etwa 63° Breite. Wir müssen aber eine so hohe Breite besonders für diese Vereisung fordern, da sie vom Keewatin-Zentrum, ohne Mitwirkung eines Gebirges und noch ohne Mitwirkung von Grönland, erfolgte. Das Labrador- oder vielmehr Grönland-Zentrum kam erst im Illinoian zur Geltung, warum, ist noch nicht erklärt.¹⁾ Umgekehrt fehlte das Keewatin-Zentrum im Wisconsin, wenigstens im späteren.²⁾

Eine Verschiebung des Äquators auf dem Atlantischen Ozean nach Süden mußte auf das europäische Klima, auch wenn Europa von der Verminderung der Strahlung wenig betroffen wurde, eine starke Wirkung durch die Änderung der Meeresströmungen haben. Die jetzige einzig dastehende thermische Bevorzugung des Nordatlantischen Ozeans und Europas hat ihren Grund zum größten Teil darin, daß die warmen

1) Diese Verschiedenheit zwischen den zwei Eiszeiten bezeichnet Leverett a. a. O. S. 342 als „perhaps the most remarkable of all the discordances“ im amerikanischen Glazial und als „one of the leading problems for American glacialists“. Wir glauben zwar nicht, daß sie durch die geringe Polverlegung völlig erklärt wird, aber letztere hat jedenfalls in diesem Sinne mitgewirkt.

2) Tyrrell in: „Die Veränderungen des Klimas usw.“ S.II.

Wassermassen der Äquatorialzone, die von den Passaten nach Westen gepreßt werden, durch die Lage von Südamerika ganz vorwiegend nach Norden abgeleitet, jenseits 30° N von den Westwinden erfaßt und Europa zugetrieben werden. Der Golfstrom ist ein Teil dieser großen Trift. Lag der Äquator 10 bis 20° südlicher, südlich vom Kap Roque, so kam der ganze Südäquatorialstrom, ja sogar ein Teil des Nordäquatorialstroms, dem Südatlantischen Ozean zugute, der Golfstrom war viel schwächer und südlicher gelegen, auf 60° Breite mußte dagegen unter dem Einfluß vorwaltender östlicher Winde von der Eisantizyklone der Strom nach Westen setzen. Polarwasser wird dieser Strom im Altquartär indessen nicht geführt haben, weil Grönland noch zu wenig von Europa abgerückt war, so daß die Temperatur von Labrador höher gewesen sein mag, als seine Polnähe unter den jetzigen Bedingungen bewirkt haben würde. Mit zunehmender Breite des Atlantik wird der Gegensatz zwischen seinen Ost- und Westküsten gewachsen sein.

Die Verlagerung des Äquatorialstroms war natürlich bedingt durch eine Verlagerung des Passatsystems und des äquatorialen Stillengürtels. Diese Verlagerung dürfte wahrscheinlich noch stärker gewesen sein, als die des Äquators selbst. Denn sobald der Temperaturunterschied zwischen Nord- und Südatlantik gemildert wird, wird auch der jetzt extrem nach Nord ausgewichene Stillengürtel sich dem Äquator nähern. Die Wirkung einer Südwärtswanderung des Äquators würde eine gradweise sein, da der Brasilienstrom stetig wachsen, der Guyanastrom abnehmen würde. Man könnte also meinen, für Europa vielleicht mit einer noch kleineren Breitenänderung auszukommen, als oben angenommen wurde. Allein da die große Warmwasserheizung vorwiegend dem Winter Europas, und nur wenig dem Sommer Europas und Nordamerikas zugute kommt, so würde doch eine Änderung bei Kap Roque auf die Vereisung zu wenig Wirkung haben, und wir müssen daher in der größeren Polnähe festhalten.

Auf der Südhalbkugel (vgl. S. 222) traten die Strahlungsminima nicht so ausgesprochen paarweise auf, wie die auf der Nordhalbkugel. Da anscheinend im Norden die mächtige Entwicklung der Eiskappen mit diesem paarweisen Auftreten zusammenhing, indem das erste Minimum das zweite unterstützte (vgl. S. 218), so dürften die Strahlungsminima auf der Südhalbkugel im allgemeinen von geringerer Wirkung gewesen sein. Das letzte war vor 30 000 Jahren, vor dem Baltischen Vorstoß, zu einer Zeit, als der Pol noch mindestens 5° nach der Seite der Ostantarktis vom jetzigen abstand. Die Breitenlage Südamerikas war aber schon fast dieselbe wie jetzt, und die Strahlung so wie jetzt in 5° höherer Breite.

Günstig für Eiszeiten waren die Verhältnisse des Frühquartärs in

Australien, weil die Verlängerung des Meridians 50° W durch die Mitte dieses Kontinents geht und er damals noch um einige Grade südlicher lag; aber seine Breite war doch nicht hoch genug, um selbständiges Inlandeis zu erzeugen, und auf seiner Polseite lag der tiefe Ozean.

Die Änderungen der sommerlichen Sonnenstrahlung bei gleichbleibender geographischer Breite sind in der Tafel am Schluß dieses

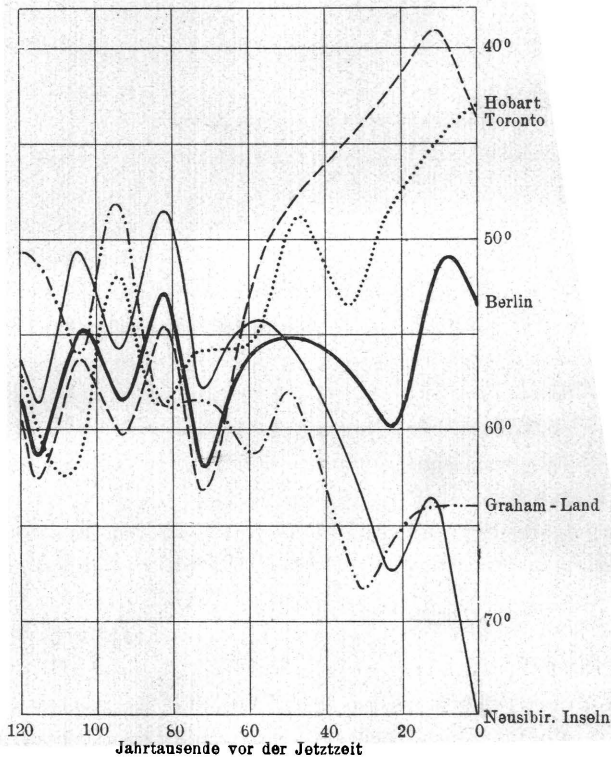


Fig. 38. Stärke der Sonnenstrahlung in Breitenäquivalenten mit Berücksichtigung der Änderungen der Breite

Buches dargestellt, und zwar in Breitenäquivalenten. Fügen wir zu diesen fiktiven Änderungen der Breite deren wirkliche Änderungen infolge der Polwanderungen hinzu, so erhalten wir den säkularen Gang der Strahlung am bestimmten Ort. Fig. 38 zeigt diesen für einige der interessantesten Beispiele seit den beiden Hauptvorstößen der Würm-Eiszeit.

Berlin, jetzt 9 Breitengrade nördlich von Toronto, hatte danach in der Eiszeit ungefähr die gleiche Sonnenstrahlung wie dieses. Dennoch lag Berlin $1\frac{1}{2}$ Grad außerhalb, Toronto $1\frac{1}{2}$ Grade innerhalb des Eisrandes dieser letzten Vereisung. Dieser Unterschied von 2° , und nur

2°, in der Breitenlage des Eisrandes erklärt sich aus dem oben Gesagten. Gegenwärtig liegen die Isothermen des Sommerhalbjahrs bei Toronto sogar um 8° südlicher als bei Berlin; dieser Unterschied zwischen der Ost- und Westseite des Atlantik wird auch damals bestanden haben, aber aus den angegebenen Gründen viel kleiner gewesen sein als jetzt.

Der Unterschied der Strahlungsminima bei Berlin vor 72 000 und 22 000 Jahren erscheint gegenüber dem Verhalten des Eises zu gering; allein für das letztere war der betreffende Unterschied weiter im Norden entscheidend, und unsere Tafel zeigt in der Tat, daß er in 60° und 65° Breite erheblich größer war.

Daß die letzte Zeit der warmen Sommer bei Toronto viel stärker ausgeprägt war als bei Berlin, entspricht, wie wir sehen werden, den geologischen Tatsachen.

Einen ähnlichen Aufstieg der Kurve während der letzten 120 000 Jahre, wie an diesen Orten, finden wir bei deren Antipoden in Tasmanien (Hobart). Daß dort dennoch nur Spuren von Gebirgsverletscherung, aber keine solchen eines Inlandeises gefunden werden, ist erklärlich: Berlin und Toronto wurden durch den Rand eines auf ihrer Polseite entstandenen mächtigen Eiskuchens begraben bzw. bedroht. Auf der Polseite von Tasmanien aber lag auch damals tiefes Meer.

In den zu obigen Gegenden periöken Erdvierteln liegt naturgemäß die Sache ganz anders: statt zu steigen, sinken die Kurven bis zur Jetztzeit, wenn auch die Schwankungen naturgemäß bei den Neusibirischen Inseln nordhemisphärisch, bei Graham-Land südhemisphärisch sind. Auf den ersteren schwankte vor 100 000 Jahren die Strahlung um die jetzige von Berlin herum. Und auf Graham-Land erreichte sie noch vor 95 000 Jahren auf kurze Zeit einen fast dem 48. Breitengrad entsprechenden Wert. Daß sie im Früh-Quartär hier noch größer war, haben wir gesehen. Vor 30 000 Jahren aber erreichte sie hier ein Minimum, dem die noch so frischen Glazialspuren in Patagonien entsprechen.

D. Das Ende der Eiszeit und die Postglazialzeit

Die wichtigste Erscheinung aus der Zeit nach dem letzten, dem „baltischen“ Eisvorstoß war jedenfalls das Maximum sommerlicher Sonnenstrahlung, das ohne Breitenänderung vor etwa 10 000 Jahren eingetreten sein muß und durch die Breitenabnahme für Europa auf eine merklich spätere Zeit verspätet zu sein scheint.

In diese Zeit fällt einerseits das erstaunlich schnelle Abschmelzen des Inlandeises über Schweden und andererseits die Ausbreitung der Eiche und Haselnuß über ihre jetzigen Grenzen hinaus. Wie diese beiden Erscheinungen zeitlich zueinander stehen, ist leider noch nicht festgestellt.

De Geer veröffentlichte seine aufsehenerregenden Zählungen der Jahrgänge des Rückganges des Eisrandes in einer Rede auf dem XI. Internationalen Geologenkongreß und einem Aufsatz in dem zur Vorbereitung auf diesen herausgegebenen Bande.¹⁾ In einem klaren Referat hat kürzlich Brückner über diese Untersuchungen berichtet²⁾, in dem man auch über die späteren Zählungen von Lidén, Carlzon u. A. im nördlichen Schweden (1913) und von Sauramo in Finnland (1918) Angaben findet. Da der Witterungscharakter der Jahrgänge in Schweden und Finnland gewöhnlich derselbe ist, war ein Anschluß der Zählungen aus beiden Ländern möglich.

„Fassen wir“, sagt Brückner a. a. O., „die Ergebnisse De Geers und seiner Schüler kurz zusammen, so dauerte der Rückzug des Eises während der gotiglazialen Zeit, das ist von den Endmoränen im mittleren Schonen bis zum Südrand der großen mittelschwedischen Moränen, rund 3000 Jahre, und der Rückzug während der finiglazialen Zeit 2000 Jahre. Das gibt zusammen 5000 Jahre. Dazu ist die Zeit hinzuzurechnen, die zum Aufbau der mittelschwedischen Moränenzone erforderlich war, rund 700 Jahre, so daß sich für die ganze Rückzugszeit ein Betrag von 5700 Jahren ergibt. Sonach erhält man folgende ungefähre Chronologie:“

„Finiglaziale Zeit.	6 700 bis 4 700 v. Chr.“)
Zeit der mittelschwedischen Moränen	7 400 bis 6 700 v. Chr.
Gotiglaziale Zeit	10 400 bis 7 400 v. Chr.“

Im südlichsten Schweden war der Rückgang des Eisrandes noch langsam, im Durchschnitt 50 m jährlich. Bei Stockholm aber wurden jährlich etwa 250 m, weiter nördlich 300 und 400 m Land eisfrei.

„War es im südlichen Schweden und Finnland das glaziale Yoldiamer, in dem die Bändertone zur Ablagerung kamen, so tritt an seine Stelle später beim weiteren Zurückweichen des Eises der Ancylussee als Süßwassersee, in dem sich die Ablagerungen in gleicher Weise bildeten. Lidén vermochte auch noch über die Grenzen des Ancylussees hinaus die Jahressedimente an den fluviatilen Ablagerungen des Angermanelf zu verfolgen.“

Der Anschluß der Zählungen an die Jetztzeit gelang De Geer durch Zählung der Jahresschichten in dem 1796 abgelassenen Ragunda-

1) Comptes Rendus, S. 24, Stockholm 1911, und „Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit“, S. 303. Stockholm 1910.

2) Ed. Brückner, Geochronologische Untersuchungen über die Dauer der Postglazialzeit in Schweden, in Finnland und in Nordamerika. Zeitschr. f. Gletscherkunde, 12. Bd. 1921/22.

3) Das „Ende der Eiszeit“, nämlich der Zerfall des Inlandeises in zwei Gebirgsvergletscherungen ist nach De Geer und Lidén vor 6600 Jahren = 4700 v. Chr. angenommen.

see. Er fand, daß die Umgebung des Sees vor rund 7000 Jahren eisfrei geworden sei. Der Zerfall des Inlandeises wurde darauf von Lidén auf noch 400 Jahre später, also nur 6600 Jahre vor unserer Zeit bestimmt. Ernst Antevs¹⁾, einer der Teilnehmer an den Zählungen, setzt neuerdings De Geers Zeitpunkte um 1500 Jahre früher. Eine solche Zurückschiebung würde deren Stellung zum Klima-Optimum und zur Entwicklung der Flora ein wenig erleichtern. Leider aber gibt Antevs keine Begründung dafür.

Eine etwa 4000 Jahre längere Dauer nimmt Werth²⁾ in seinem eben erscheinenden Buche: „Der fossile Mensch“ für die Postglazialzeit in Anspruch, indem er wie folgt rechnet: Keilhack kam auf Grund des durch parallele Dünenzüge markierten Landzuwachses an der Swinemündung auf 7000 Jahre allein für die Zeit seit dem Höhepunkt der Litorina-Senkung. Die Ancycluszeit nebst dem Rest der Litorinazeit („das Mesolithicum“) werde man nach den bedeutenden geologischen Vorgängen in ihr nicht auf weniger als 4000 Jahre schätzen können, also 11 000 Jahre für die Postglazialzeit. Durch Zeitschätzungen in den Alpen findet Werth dieses bestätigt. Wir wollen indessen an De Geers niedrigen Werten vorläufig festhalten und zusehen, wie sie sich mit der Strahlungskurve und der anzunehmenden Breitenabnahme in Einklang setzen lassen.

Die Fig. 39, die wir Brückners Aufsatz entnehmen, zeigt die Lage des Eisrandes zu den verschiedenen Zeiten. Die Doppellinie in Mittelschweden—Finnland zeigt den Süd- und Nordrand des dortigen Moränengürtels. In dieselbe Figur haben wir nun auch Ergebnisse der andern, etwas älteren Forschungsreihe der schwedischen Botaniker eingezeichnet. Auf dem gestrichelten Raume ist die Haselnuß in postglazialer Zeit vorgekommen, während sie jetzt dort fehlt³⁾, sein Südoststrand ist ihre jetzige Grenze. Ungefähr dieselben Grenzen gelten auch für die Eiche, von der starke Stämme in den Torfmooren weit jenseits ihres jetzigen Verbreitungsgebiets gefunden werden. Die Temperatur der Vegetationszeit (Mai/September) bestimmte G. Andersson für die Zeit, da die Haselnuß ihre nördlichste Verbreitung gewann, recht genau zu $2\frac{1}{2}^{\circ}$ höher als die jetzige⁴⁾, und er konnte diese Periode auf das Ende der Ancycluszeit oder den Beginn der Litorinazeit festlegen.

Das Maximum der Ekliptiksschiefe wurde vor etwa 9000 Jahren

1) E. Antevs, On the late glacial and post-glacial history of the Baltic. Sonderabdruck ohne Quelle und Jahr.

2) E. Werth, Der fossile Mensch, S. 458, Berlin 1923.

3) Gunnar Andersson in: Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit, S. 295. Stockholm 1910.

4) Ebenda S. 29.

erreicht, das Maximum der Strahlung aber früher, und zwar, weil $e \sin \Pi$ sein Maximum vor 11 400 Jahren hatte, schon vor mehr als 10 000 Jahren. Auch wenn wir nun die notwendige Breitenänderung möglichst spät, auf 15 000 bis 5000 Jahre vor der Jetztzeit ansetzen, so finden wir doch, daß die sommerliche Sonnenstrahlung ihren heutigen Wert schon vor 12 000 Jahren erreichte und bis vor kurzem über diesem blieb. Daß nun trotzdem am Eisrande in Schonen eine Dryasflora und später in Mittelschweden nur Kiefern und Birken wuchsen, während

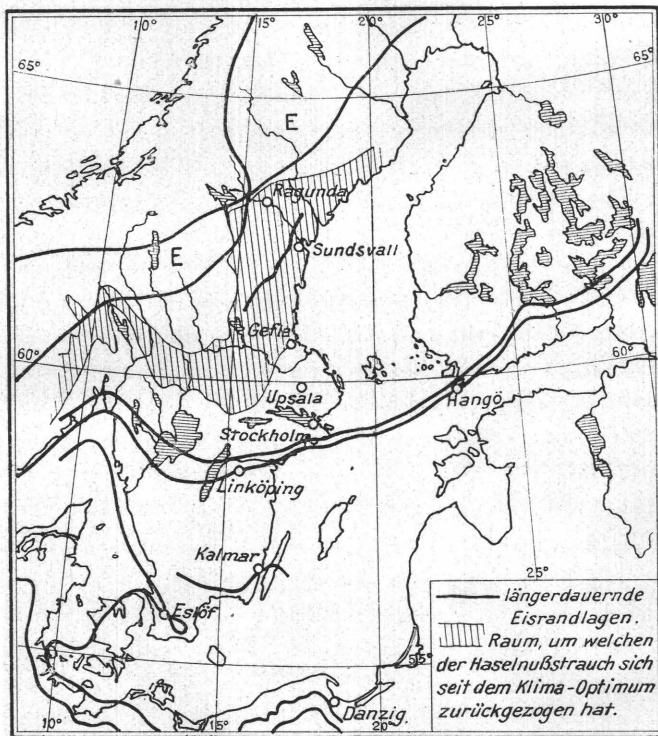


Fig. 39. Letzter Rückgang des Inlandeises über Fennoscandia
E Gebirgsvergletscherung nach Schluß der Eiszeit

hiernach auch Eiche und Haselnuß bis zum Eisrande selbst hätten vordringen können, daran dürften die wohl noch immer vorwaltenden Nordostwinde die Schuld haben. Denn wenigstens für den Anfang, als noch ganz Schweden unter Eis lag, müssen wir eine überwiegende, wenn auch mit dem Schwinden des Landeises rasch abnehmende, Bildung von Anticyklonen über diesem annehmen.¹⁾ Erst in der Litorina-

1) Nach den Torfmoorfunden sagt Gunnar Andersson in: „Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit“, S. 29, Stockholm 1910: „Eines scheint sicher zu sein, daß nämlich die Temperatur auch zunahm, nachdem

zeit traten, bei abnehmender Sonnenstrahlung, die feuchtwarmen Westwinde der Jetztzeit ein. Diesen Winden, und nicht der geringen Raumentnahme der Nord- und Ostsee, müssen wir die größere Feuchtigkeit der Litorinazeit hauptsächlich zuschreiben. Die Winter wurden nun wärmer, die Buche konnte sich ausbreiten.

Der lange schwedisch-finnische Moränengürtel, der die Seen aufstaut, verlangt eine unter allen Umständen nach Jahrhunderten zu bemessende Unterbrechung im schnellen Rückzug des Eisrandes, also wohl eine Zeit bedeutend kühlerer Sommer. Aus der Stockwell'schen Formel ergeben sich aber in den letzten 120 000 Jahren bestimmt nur drei Minima der Strahlung. Für diesen letzten Kälterückfall und ebenso für die verschiedenen Rückzugsstadien der Alpenvergletscherung, bis auf eines, findet sich also in den bekannten astronomischen Tatsachen keine Begründung; ihre Erklärung muß anderweitig gesucht werden.

Wir kommen so auch für Schweden zu ganz demselben einfachen Bilde, das Kupffer (nach einem Zitat in „Die Veränd. usw.“ S. 294) für die ehemals russischen Ostseeprovinzen in die Worte faßt:

„Aus der Verbreitung zahlreicher Pflanzenarten im ostbaltischen Gebiete und aus einigen bisher erfolgten Funden subfossiler Pflanzenreste können wir mit hinlänglicher Sicherheit schließen, daß nach dem Ausgange der letzten baltischen Vereisung fünf Perioden aufeinandergefolgt sind, die folgendermaßen benannt und gekennzeichnet werden können:

1. Die kalte Periode, deren Klima und Flora denen der gegenwärtigen Eismeerküste ähnelte.

2. Die kühle Periode, während der hier wohl das Klima und zum Teil auch die Flora des nördlichen russisch-sibirischen Waldgürtels geherrscht haben dürfte.

3. Die trockene [und, setzen wir hinzu, sommerheiße!] Periode, die hierzulande zwar keinen eigentlichen Steppencharakter getragen hat, aber in bezug auf Klima und Flora dem heutigen Mittelrußland ähnlich gewesen sein mag.

4. Die feuchtwarme Periode, die ein an die westeuropäischen Küsten erinnerndes Klima und eine dementsprechende Vegetation mit sich gebracht hat.

5. Die geschichtliche Periode, die uns aus der Gegenwart wohl bekannt ist.“

Unter dem „Ausgange der Vereisung“ ist die Befreiung des Landes vom Inlandeis zu verstehen. Die Zeitabschnitte dürften auch für Skan-

der in den zentralen Teilen Nordschwedens zurückgebliebene Eisrest endgültig abgeschmolzen war.“

dinavien und Deutschland gelten, nur mit verschiedenen Jahreszahlen, dem Rückgange des Eises entsprechend.

Der wunderbar schnelle und ununterbrochene Rückgang der Eisgrenze, wie ihn De Geer für die Zeit vor etwa 9000 Jahren entdeckt hat, ist nur dadurch erklärlich, daß dieser Eisrest in die Zeit sowohl starker sommerlicher Strahlung, als der raschen Breitenabnahme hineingeraten war. Dasselbe zeigt sich auch in den Alpen dadurch, daß fast bis zu den jetzigen Gletscherenden, auf einer Strecke von 60 bis 70 km, Moränen fehlen, also kein Stillstand im Rückzug der Eisgrenze stattgefunden hat.¹⁾

Die Zählungen der Jahrgänge sind von De Geer und seinen Schülern natürlich nicht an einem einzigen Aufschluß gewonnen, sondern aus vielen Stücken durch Wiedererkennung der wechselnden dünnen und dicken Lagen zusammengesetzt worden — eine gefährliche Methode, die aber bei benachbarten Aufschlüssen eines Landes und bei großer Sorgfalt genügend sicher sein wird. Sie nimmt an, daß die Dicke der Ablagerung von der Witterung des betreffenden Jahres abhängt, die natürlich über Schweden ziemlich einheitlich ist. Ganz ausgeschlossen ist es aber, mit dieser Methode gleiche Jahrgänge in Amerika und Europa zu erkennen, oder selbst die Südhalbkugel anzuschließen, wie dies De Geer neuerdings will.²⁾ Denn schon zwischen Europa und den östlichen Vereinigten Staaten findet ebenso oft Übereinstimmung wie Gegensatz im Witterungscharakter der Jahrgänge statt. Die Deutsche Seewarte hat dies vor mehreren Jahrzehnten durch fortlaufende Vergleichung der Temperaturabweichungen auf beiden Seiten des Ozeans gezeigt³⁾, nachdem Dove deren Gegensatz sogar als Regel erklärt hatte. Eingehend ist die Frage vor kurzem von Behler⁴⁾ untersucht worden. In West- und Mitteleuropa zeigen in 57 % der Fälle die Monatsmittel der Temperatur gleichsinnige Abweichung vom Normalwert, wie die gleichzeitigen in den östlichen Vereinigten Staaten, in 43 % entgegengesetzte. Zwischen Skandinavien und den Grönland-Labrador-Stationen überwiegt der Gegensatz sogar sehr bedeutend: gleichsinnig sind die Abweichungen hier nur in 31 % (im Winter sogar nur 25 %), ungleichsinnig in 69 % der Fälle. Die von Dove längst erkannten großen Felder der + und — Abweichung haben eben in ihrer wechselnden Lage ihre Grenze bald auf dem Ozean, bald

1) Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, Bd. IV der Geogr. Abh., herausg. von Penck. Wien 1890.

2) Geol. Förr. Stockholm. Förhandl. 43, S. 70. 1921.

3) Annalen der Hydrogr. und Marit. Meteorologie, 1877—85.

4) A. Behler, Die unperiodischen Temperaturschwankungen von längerer Dauer an der Westseite Europas und der Ostseite Nordamerikas im Zusammenhang mit der Luftdruckverteilung. Archiv d. Seewarte 40, Nr. 3. 1922.

auf den Festländern; im Norden fällt sie wegen des „Aktionszentrums“ Island überwiegend auf den Ozean. Dazu kommt, daß De Geer das Endstadium der schwedischen mit dem Maximalstadium der amerikanischen Vergletscherung vergleicht, die viele Jahrtausende vor ihrem Ende die gemessenen Ablagerungen schuf. Auf Grund einiger zufälliger Ähnlichkeiten in den Jahresschichten steht De Geer nicht an, das Abschmelzen des laurentischen Eiskuchens einfach für entsprechend später als das des skandinavischen zu erklären. Wann die gewaltige Eismasse auf Labrador dann geschmolzen sein soll, bleibt unerklärt.

So außerordentlich also der Fortschritt durch Anwendung von De Geers Methode auf Schweden auch war, weil sie zuerst wirkliche Bestimmungen an die Stelle von Schätzungen und Vermutungen setzte, so können wir der Hereinziehung Nordamerikas in dieselbe Chronologie durchaus nicht zustimmen.

Beim Abschmelzen des Inlandeises wurde an vielen Stellen das Land nicht gleich freigelegt. Vielmehr bildeten sich, weil das Eis die natürlichen Entwässerungskanäle teils selbst versperrte, teils mit Moränenmaterial zuschüttete, ausgedehnte Stauseen an dessen Rande, die die Trockenheit der vom Eis herabkommenden Winde milderten. Am besten bekannt sind die Vorläufer der jetzigen großen Seen von Nordamerika. Bei ihrer ersten Entstehung flossen sie zum Mississippi ab; in der weiteren Entwicklung wechselten diese Abflüsse mannigfaltig.

Daß nach dem Verschwinden des Eises die Temperatur nicht, wie zuerst natürlich angenommen wurde, allmählich bis zur jetzigen Höhe gestiegen ist, sondern daß die Sommer in der Zwischenzeit viel wärmer gewesen sind als jetzt, das steht außer Zweifel. Es steht dies auch durchaus in Übereinstimmung mit der Strahlungskurve; ja wir müssen sogar, um die von ihr geforderte Abkühlung bis zur Jetztzeit zu mildern, die Breitenabnahme Europas mindestens zur Hälfte auf die Zeit nach 10 000 vor heute legen. Strittig ist aber, ob es nur eine oder zwei solche wärmeren und trockeneren Zeiten gegeben hat, wie letzteres die Schule Blytt-Sernander auf Grund der Torf-, Seekreide- und Tuffablagerungen behauptet.¹⁾ Aus der Sonnenstrahlung ist ein solcher mehrmaliger Wechsel nicht zu erklären. Wird er durch die Beobachtung unzweifelhaft nachgewiesen, so muß man natürlich auch das vorläufig Unerklärliche gelten lassen. Allein auch

1) Die Reihenfolge der von R. Sernander aufgestellten Klimate s. unten in den Tabellen S. 244 u. 248. Die Aufstellung ist vor allem erfolgt auf Grund des Vorkommens von Baumstümpfen in gewissen Höhenlagen mancher Moore, die für deren zeitweises Austrocknen sprechen. Die Beweiskraft dieser „Stubbenhorizonte“ und ihr Zusammenhang werden besonders von Gunnar Andersson bestritten.

über die Deutung der Beobachtungstatsachen sind die Meinungen geteilt, und namhafte Forscher in Skandinavien wie in Deutschland stehen für nur eine einfache Zeit der warmen Sommer und kalten Winter ein, wie wir dieses auch nach der Strahlungskurve erwarten müssen. Daß diese Zeit auch trockener als die Jetztzeit war, ist vielleicht nur der entsprechend der höheren Temperatur gesteigerten Verdunstung zuzuschreiben. Denn mit dem Verschwinden des Inlandeises war die Veranlassung für die erhöhte Ausbildung von Anticyklonen über Skandinavien verschwunden, und die Zugstraßen der barometrischen Minima und die mittlere Druckverteilung müssen ungefähr ihre jetzige Lage eingenommen haben. Eine Druckverteilung, wie sie Brooks für die Zeit 5000 v. Chr. zeichnet¹⁾, und die der vorausgehenden glazialen gleicht, ist gänzlich unbegründet, nachdem das Eis über Skandinavien bis auf Gebirgsgletscher verschwunden war, wenn auch in den mit den heißen Sommern verbundenen kalten Wintern antizyklonales Wetter häufiger gewesen sein mag als heute. Der Temperaturunterschied zwischen Pol und Äquator, also die treibende Kraft des Luftkreislaufs, war zudem in dieser Zeit wegen der größeren Ekliptikschiefe zwar im Sommer kleiner, aber im Winter, zur Zeit der Stürme, größer als jetzt. Also wird jene Zeit sicher auch nicht weniger stürmisch gewesen sein als die jetzige. Daß die Insel Ingö, nahe beim Nordkap, jenseits der jetzigen Baumgrenze, im Klima-Optimum bewaldet war²⁾, erklärt sich daher nicht, wie Brooks meint, aus der geringen Windstärke, sondern aus der höheren Sommertemperatur jener Zeit.

Die vom Inlandeis bedeckten Länder haben sich unter seiner Last schließlich um 100 bis 500 m gesenkt; durch das dabei zur Seite gequetschte Tiefenmaterial wurden die anstoßenden Gebiete etwas gehoben.³⁾ So kam durch Hebung Dänemarks und der norddeutschen Küste zeitweise die Absperrung der Ostsee vom Ozean als Ancylussee zustande, dessen Wasserfläche doch größer war als die der Ostsee. Die Steigung des von der Eislast befreiten Landes brachte dann in der Litorina-Zeit durch ihre Saugwirkung die Senkung am Südrande und dadurch die Öffnung der Ostsee nach dem Ozean hervor, von dem nun wärmeres Wasser einströmte. Durch die Zähigkeit des Tiefenmaterials verspäteten sich diese Bewegungen so, daß auch in Norwegen die Senkung bis ins Klima-Optimum fortgedauert hat.⁴⁾

1) Quart. Journ. R. Met. Soc., S. 180. Juli 1921.

2) Holmboe in: „Die Veränderungen des Klimas usw.“, S. 337.

3) Köppen, Das System der Bodenbewegungen und Klimawechsel des Quartärs im Ostseebecken. Zeitschr. für Gletscherkunde, Bd. XII, S. 98.

4) Holmboe, a. a. O., S. 338. Die Baumgrenze im norwegischen Gebirge lag im Klima-Optimum 300 m über der jetzigen, aber, da das Land fast 200 m tiefer lag als jetzt, nur 100 m höher über dem Meere, was auffallend wenig ist.

Diese Änderungen in der Ausdehnung von Wasser und Land, sowie in der Meereshöhe haben natürlich auch ihre Wirkung auf das Klima der Gegenden gehabt. Allein diese Wirkung war jedenfalls gering gegenüber jener der astronomischen Bedingungen, und wir können auf sie nicht näher eingehen.

Wir wollen nun kurz die Zeugnisse aus den einzelnen Ländern in der Umgebung des Nordatlantischen Ozeans durchgehen. Dabei werden wir auch über die angebliche mehrmalige Klimaschwankung, so unwahrscheinlich sie uns scheint, in übersichtlichen Tabellen berichten.

Über Grönland und Spitzbergen spricht sich Gunnar Andersson¹⁾ so aus: „Besonders ist die warme postglaziale Periode zu betonen, die der Jetztzeit vorhergegangen ist, denn von dieser hat man vielerorts Spuren gefunden. Es gilt dies vor allem für die Meeresablagerungen rings um das Nördliche Eismeer herum. Vorzüglich sind es die leicht erkennbaren Schalen und Schalenfragmente von *Mytilus edulis*, die an vielen Stellen beobachtet worden sind . . . Die wichtigsten erwähnten Funde sind die Nathorst's in dem großen Franz-Josef-Fjord-Komplex auf Ostgrönland und die vielen schwedischen Funde auf Spitzbergen von 1861 an bis auf unsere Tage, wobei auch *Cyprina islandica* und *Litorina litorea* angetroffen worden sind, die man lebend dort nie gefunden hat. Weiter nach Osten ist *Mytilus* von G. Andersson auf König Karl-Land und von Nansen auf Franz-Josef-Land gefunden worden.“ Sodann betont G. Andersson den Fund von Resten von *Pelvetia*, einer Alge, die jetzt weder auf Spitzbergen, noch auf Grönland, wohl aber bis zum nördlichsten Norwegen vorkommt, und fährt fort: „In denselben nun gehobenen Deltabildungen, in denen *Pelvetia* vorkam, hat Andersson zahlreiche Fruchtsteine der Krähenbeere (*Empetrum nigrum*) gefunden, die jetzt dort oben äußerst selten ist und niemals Früchte ansetzt. Die weitverbreitete Sterilität spitzbergischer Pflanzen hat auch seit lange die Aufmerksamkeit verschiedener Forscher auf sich gezogen.“²⁾ Es ergibt sich, daß von den 125 Gefäßpflanzen der Inselgruppe beinahe ein Drittel sicher oder wahrscheinlich nicht imstande ist, sich weiter zu verbreiten oder verlorene Standorte zu ersetzen. „Es scheint unmöglich, dies zu verstehen, wenn man nicht annimmt, daß die hiesige Flora eine in starker Dezimierung begriffene ist, die vor nicht sehr langer Zeit unter günstigeren Verhältnissen gelebt hat.“ Vielleicht ist hierbei doch die Wirkung einzelner, ganz abnorm warmer Sommer unterschätzt. Doch kommen auch andere Beobachtungen den obigen zu Hilfe.

1) Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit, S. XVII und 410. Stockholm 1910.

2) Dasselbe hat für Nowaja Semlja K. E. v. Baer vor langer Zeit bemerkt.

Alle Torfmoorbildung hat jetzt auf Spitzbergen aufgehört.¹⁾ Aber um den Eisfjord finden sich Torfmoore von der Mächtigkeit bis zu 2,4 m, deren Bildung nur in günstigerem Klima als dem jetzigen vor sich gegangen sein kann.

In Nordgrönland finden sich von Nathorst entdeckte „mächtige Torflager“ bei Kap York, über die sich stellenweise das Inlandeis ausgebreitet hat. Aus welcher Zeit diese stammen, ist unbekannt. Das „Klima-Optimum“ Skandinaviens kann sich wegen der Polwanderung

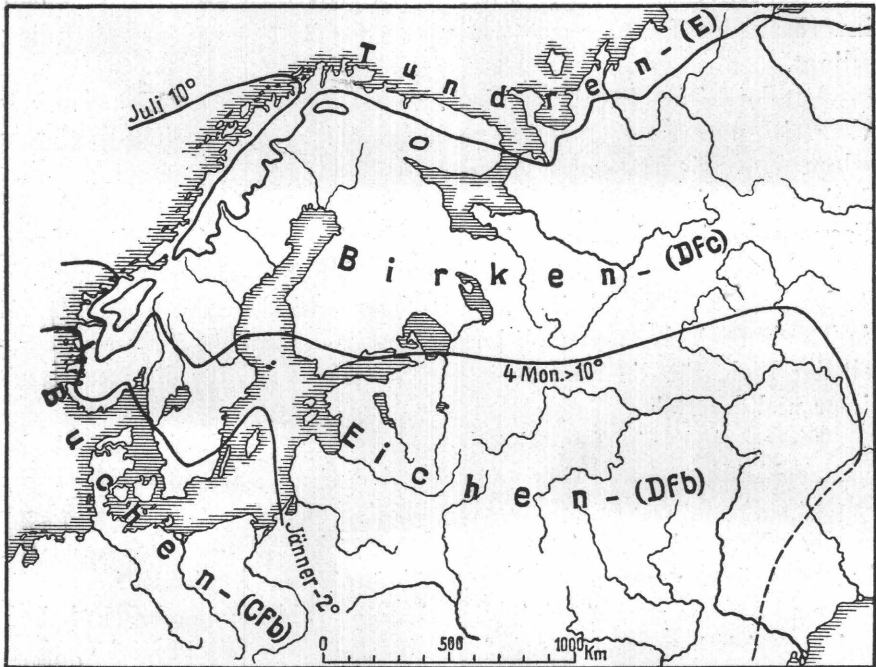


Fig. 40. Jetzige Klimate von Nord- und Osteuropa nach Köppens Bezeichnung

auf Grönland nur schwach und spät geäußert haben. Möglich, daß die für die Bronzezeit, also nur 2000 bis 3000 vor der Jetztzeit, behauptete größere Wärme als vor- und nachher auch in Grönland eintraf, und auf einer geringen Polschwankung auf Ostasien zu beruhte; in Stockwells Formel findet sie keine Erklärung.

Die Aufeinanderfolge der Klimate seit der letzten Eiszeit, die sich an den Pflanzenresten in Südsandinavien und in Deutschland nachweisen läßt, entspricht vollständig der Stufenfolge, die man heute auf einer Reise von der Murman-Küste des Eismeres über Finnland und Estland nach Norddeutschland durchleben kann, nämlich dem Übergang vom Tundren- zum Birken-, Eichen- und Buchen-Klima, nach Köppens Klassifikation.

1) G. Andersson in: Die Veränderungen des Klimas usw., S. XVII.
Köppen-Wegener, Die Klimate der geologischen Vorzeit

Das Kärtchen Fig. 40, auf dem die heutige Ausdehnung dieser Klimate eingezeichnet und ihren Namen auch die Buchstaben beigegefügt sind, die sie in Köppens Schema haben, veranschaulicht dieses. Das Auftreten der Birke in den Pflanzenfunden bedeutet, daß das Mittel des wärmsten Monats über 10°C steigt; das der Eiche, daß die Dauer der Temperatur über 10°C auf mehr als vier Monate steigt; das der Buche, daß die Temperatur des Januars (im vieljährigen Mittel) von nun an nicht unter etwa $-3\frac{1}{2}^{\circ}\text{C}$ liegt, wobei die Sommerwärme abgenommen haben kann. Das Verhalten der Kiefer¹⁾ und Fichte (innerhalb der Baumgrenze) ist nicht durch Temperaturverhältnisse bedingt.

Mit der Birke (*Betula alba* bzw. *odorata*) kommen die Kiefer (*Pinus sylvestris*) und Espe (*Populus tremula*), mit der Stieleiche (*Quercus pedunculata*) die Haselnuß (*Corylus avellana*), die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) und die Wassernuß (*Trapa natans*); hinter der Rotbuche (*Fagus sylvatica*) kommen, in einigem Abstände, die Eibe (*Taxus baccata*), der Efeu (*Hedera helix*) und der Hülsenstrauch oder die Stechpalme (*Ilex aquifolium*). Von Tieren sind charakteristisch für die Tundrenzeit das Ren und der Riesenhirsch, für die Birken-Kiefernzeit der Elch, für die Eichenzeit der Rothirsch und für die Buchenzeit dieser und das Reh.

Dieses sind die feststehenden Hauptzüge in dem Wechsel des Pflanzenkleides unserer Gegenden seit der Eiszeit, der zuerst 1842 von Japetus Steenstrup in den dänischen Mooren nachgewiesen wurde. Nur zeigt es sich unzweifelhaft, daß in der Eichenzeit die Sommer wärmer waren als jetzt. Die weiteren Komplikationen, die Steenstrup und Spätere in dies einfache Bild hineingebracht haben, beziehen sich hauptsächlich auf die Wechsel von feucht und trocken, und für diese besitzen wir nicht die gute äußere Kontrolle, die wir für die Temperatur in der Strahlung haben. Der Einfluß der abwechselnden Trockenlegungen und Überflutungen in der Ost- und Nordsee auf das Klima wird überschätzt, da es sich doch nur um verhältnismäßig kleine Strecken und um Klimaunterschiede, wie etwa zwischen Hamburg und Hannover, Swinemünde und Berlin, handelt.

Die Wandlungen des Klimas von Nordwest-Deutschland, wie sie sich in dessen Mooren zeigen, faßt Stoller mit folgenden Worten zusammen²⁾:

„1. Die Zeit des Abschmelzens des jüngsten Landeises war in Nordwest-Deutschland verhältnismäßig kurz. Das Klima war in jener

1) In der Nähe der Baumgrenze überwiegen in ozeanischem Klima die Birken, in kontinentalerem die Nadelhölzer — in Europa die Kiefer, in Sibirien zwei Lärchen.

2) O. Stoller, Die Beziehungen der nordwestdeutschen Moore zum nacheiszeitlichen Klima. Zeitschr. D. Geol. Ges. 1910, S. 180.

Periode trocken und kalt, doch keineswegs arktisch, besaß vielmehr während der vier bis fünf Monate dauernden Vegetationsperiode der höheren Pflanzen zu Anfang eine mittlere Temperatur von 3 bis 6 °C und gegen Ende von etwa 8 °C . . . Pflanzengeschichtlich ist diese Zeit im Süden unseres Gebietes als Steppenperiode, im Norden als Dryasperiode gekennzeichnet. Sie fällt mit einem Teil, vielleicht der ersten Hälfte, der Yoldiazeit zusammen.

2. Eine lange Periode mit feuchtem, anfänglich kühlem Klima und langsamer, aber stetiger Wärmesteigerung schloß sich an. Über das ganze Gebiet verbreitete sich eine geschlossene Pflanzendecke. Es ist die Zeit der Birken- und Kiefernwälder und der Bildung ausgedehnter Hochmoore. Die Eiche dringt allmählich siegreich von S nach N vor, so daß sie am Ende der Periode der herrschende Waldbaum ist. Die Mitteltemperatur für die Monate Mai bis September beträgt gegen Ende dieser Zeit mindestens 12 °C (jetzt 15½ °C). Die Birken-Kiefern-Periode Norddeutschlands entspricht ungefähr der zweiten Hälfte der Yoldiazeit und der ersten Hälfte der Ancyluszeit.

3. Die nächste Periode war von kürzerer Dauer und zeichnete sich durch ein warmes und verhältnismäßig trockenes Klima aus. Es ist die Zeit der unbestrittenen Herrschaft der Eiche und des Stillstandes im Wachstum der Hochmoore [Bildung des Grenztorfes¹⁾] in unserem Gebiet. Die Temperatur stieg rasch, wahrscheinlich bis zu einer Höhe von 17 °C für die Monate Mai bis September. Die Eichen-Periode Nordwest-Deutschlands umfaßt ungefähr die zweite Hälfte der Ancyluszeit und den Anfang der Litorinazeit.

4. Es folgte eine Periode mit feuchtwarmem Klima, in der die Buche sich in unserem Gebiet ausbreitete, ohne indes die Vorherrschaft zu erlangen. Die alten Hochmoore beginnen aufs neue ihr Höhenwachstum, zahlreiche Flach- und Hochmoore entstehen neu. Die Erle

1) Über diesen sagt Stoller, ebenda S. 187: „Der Grenztorf ist eine meist gering mächtige Torfschicht, die im Sphagnetumturf vieler nordwestdeutschen Hochmoore eingeschaltet, aber nicht durch die natürlichen ökologischen Verhältnisse unter gleichbleibender Feuchtigkeit der Hochmoore bedingt ist. Er zeigt sowohl durch seine Zusammensetzung als auch durch seinen besonders hohen Zersetzungsgrad an, daß er in einer Periode entstand, die sich durch eine gewisse Trockenheit auszeichnete gegenüber den Zeiten vor und nach seiner Bildung. Wo in den betreffenden Hochmooren keine besondere, charakteristische, durch ihre abweichenden Komponenten gekennzeichnete Neubildung aus jener Trockenperiode festzustellen ist, wo vielmehr der jüngere Sphagnetumturf den älteren direkt, diskordant überlagert, da ist infolge einer intensiven Zersetzung der obersten Partien des älteren Sphagnetumtorfes (quasi Verwitterungsrinde) doch in den meisten Fällen die Schichtgrenze zwischen beiden Torfen so genau zu ermitteln, daß sie z.B. bei der geologischen Kartierung des Bourtanger Moores selbst in den Bohrungen gut erkannt werden konnte.“ (C. A. Weber ist geneigt, die Entstehung des Grenztorfes erst nach der „Litorinasenkung“, ungefähr am Ende der jüngeren Steinzeit anzunehmen.)

wird unumstrittener Bruchwaldbaum. Ob die Temperatur noch eine wesentliche Steigerung erfahren, insbesondere ob sie den heute im Gebiet herrschenden Wärmegrad überschritten hat, ist aus der Pflanzenführung der Moore nicht zu beweisen. Die Erlen-Buchen-Periode herrschte in Nordwest-Deutschland jedenfalls schon zur mittleren Litorinazeit.“

Vergleichen wir Stollers Darstellung mit der Strahlungskurve, so wird 1. die Zeit des Abschmelzens 70 000 bis 50 000 Jahre vor unserer Zeit fallen, 2. die Birken- und Kiefern-Periode die Zeit vor 50 000 bis 15 000 Jahren ausfüllen und 3. die Eichenzeit 10 000 bis vielleicht 4000 Jahre zurückliegen, worauf 4. die Buchenzeit eintrat. Die Beobachtung stimmt also sehr gut zu den astronomischen Daten, nur sind 2 und 1 länger als man wohl bisher glaubte, und ist die stetige Wärmesteigerung während 2 sehr zweifelhaft, vielmehr war sie von 3 durch eine kältere Zeit, die der Alleröd-Schwankung entsprach, getrennt.

Für Schweden stellen wir nach Högbom¹⁾ in der folgenden Tabelle die Zählungen von De Geer und die Anschauungen von Munthe (Wassertiere), Blytt und Sernander (Torfmoore) und Montelius (Artefakte) nebeneinander.

Chronologie nach De Geer u. Liden Jahre vor der Jetztzeit		Entwicklung der Ostsee nach Munthe	Klima nach Blytt u. Sernander	Archäologie nach Montelius
0			Subatlantische Zeit: feucht und kalt	Eisenalter
1000		Mya- und Lim- naeus-Zeit (etwa 3500 Jahre)	Subboreale Zeit: trocken und warm „wie Zentralrußland“	Bronzealter (1800—500 v. Chr.) Steinkistenzeit Ganggräberzeit
2000				
3000				
4000	Postglazial	Litorinazeit (etwa 7500 Jahre)	Atlantische Zeit: warm — maritim	Dolmenalter Schwed. Steinzeit n. Einwand. d. Menschen
5000				
6000				
7000		Ancyluszeit (etwa 6000 Jahre)	Boreale Zeit: warm und trocken	—
8000	Finiglazial			
9000		Yoldiameer	Subarktisch	
		Eissee		
10000	Gotiglazial	Verbindung mit Weißem Meer	Arktisch wie Südgrönland	—
11000				
12000		Eissee		
	Daniglazial	Becken von In- landeis ausgefüllt	—	—

1) A. G. Högbom, Handbuch der regionalen Geologie. Bd. IV Abt. 3, Fennoskandia, S. 114. Heidelberg 1913.

In einem kürzlich erschienenen Aufsatz stellt Brooks¹⁾ folgendes als Gesamtergebnis der neueren Untersuchungen für NW-Europa hin:

Phase	Klima	Zeit (vor Jetztzeit)
1. Die letzte große Eiszeit	Arktisch	32 000—20 000
2. Rückzug der Gletscher	Streng kontinental	20 000—8 000
3. Kontinentale Phase	Kontinental	8 000—6 000
4. Maritime Phase	Warm und feucht ²⁾	6 000—5 000
5. Jüngere Waldphase	Warm und trocken	5 000—3 700
6. Torfmoor-Phase	Kühler und feuchter	3 700—1 600
7. Rezente Phase	Trockener werdend	1 600—

Dagegen sollen nach O. Petterssons Theorie der Wirkungen innerer Gezeiten im Meere auf das Wetter die stürmischen — also wohl auch regenreichen — Zeiträume sich um folgende Maxima gruppieren: 3500, 2100 und 350 v. Chr., und 1434 n. Chr. Das um 350 v. Chr. fällt in den Höhepunkt der „Torfmoor-Phase“ von Brooks, von dem dieser sagt: „Die nordischen Sagas und die deutschen Mythen deuten auf ein strenges Klima um 650 bis 400 v. Chr., das eine frühe Zivilisation zerstörte. Das war die ‚Götterdämmerung‘, als Frost und Schnee für Generationen die Welt beherrschte. Es war die ältere Eisenzeit, als die Kultur in NW-Europa sehr zurückging.“

Eine jüngere neolithische Trockenzeit, die bis in die Bronzezeit³⁾ gereicht haben soll, wird von manchen daraus erschlossen, daß die schnelle Entwicklung des Ackerbaues des neolithischen Menschen auf das Vorhandensein von ausgedehnten waldfreien Strecken, auf „Steppen“ in Mitteldeutschland deute. Auch vorher hatte der Mensch den zusammenhängenden Urwald gemieden und an Meeresküsten, an Seen und Flußläufen sich seine Nahrung gesammelt und gefischt.

Wie in Schweden, ist das Klima-Optimum auch in Finnland und Rußland mehrfach bezeugt durch die weitere Verbreitung der Wassernuß und der Eiche. In den Torfmooren am See Bologoje (halbwegs zwischen Petersburg und Moskau) sind Wurzeln von *Quercus pedunculata* in Massen gefunden worden, während die Eiche gegenwärtig bei Bologoje eine Seltenheit ist und jedenfalls nicht in Torfmooren wächst; ja sogar bei Wologda hat man mächtige fossile Stämme

1) C. E. P. Brooks, *The Evolution of Climate in NW Europe*. Quart. Journ. R. Meteor. Soc., S. 173. 1921.

2) Dies war die Litorinazeit, mit einem Tiefstand des Landes im südlichen Ostseegebiet.

3) In Süddeutschland (im Ries) lag nach der Schätzung Frickhingers die Bronzezeit 2000—1200 Jahre v. Chr., das Neolithicum 6000—2000, das Azilien (Ofnet) 10 000 Jahre v. Chr.

von Eichen gefunden, während sie jetzt nur in Kümmerformen südlich von da bis zum Flusse Leshnja vordringt.¹⁾

In Mitteleuropa konnten die warmen Sommer keine so deutlichen Spuren hinterlassen wie in Schweden und Rußland, denn es fehlen ihm Verbreitungsgrenzen leicht kenntlicher Pflanzen, die durch die Sommerwärme gesetzt sind, während sie dort für Eiche, Haselnuß und Schwarzerle vorhanden sind. Doch haben Pflanzeogeographen, wie Aug. Schulz, auch aus der jetzigen inselförmigen Verbreitung vieler Pflanzen in eingehenden Untersuchungen auf Klimawechsel in Deutschland geschlossen. Denn bei solchen Pflanzen, deren Samen nicht auf weite Transporte eingerichtet sind, ist es wahrscheinlich, daß diese Inseln Reste früherer zusammenhängender Verbreitung sind.

In dieser Weise ist längst aus dem Vorkommen südlicher Pflanzen in den Alpen jenseits jetzt für sie unübersteigbarer Pässe geschlossen worden, daß sie früher auch auf diesen Pässen wachsen konnten. So kann man aus versprengten Pflanzenvorkommen am oberen Isonzo und bei Raibl schließen, daß die illyrische Flora einst bis Tarvis gereicht hat.

Die bis zu 1 m starken Lagen von Schwarzerde auf Löß in Rheinhessen und Mittelschlesien, die postglazial sind, aber zum Teil 4 m tief begraben sind, stammen wohl auch aus dieser Zeit der warmen Sommer. Diese warmen Sommer waren aber, infolge der großen Ekliptikschiefe, mit kalten Wintern verknüpft, und das ist die Ursache dafür, daß die Buche, deren Nordgrenze nicht, wie die der Eiche, durch die Sommer-, sondern durch die Wintertemperatur bedingt wird, in dieser Zeit bei uns noch fehlte. Erst als mit abnehmender Ekliptikschiefe die jährliche Schwankung der Temperatur abnahm, und als der letzte Rest des skandinavischen Inlandeises und seiner Antizyklone verschwunden war, konnte die Buche in Norddeutschland und Dänemark die Eiche aus ihrer Vorherrschaft verdrängen. Die Kiefer, die nur auf den großen „Sandr“-Flächen vor den Endmoränen herrschte, wurde später durch die Forstkultur weiter verbreitet.

Für die Schweiz, wo die Buche ebenfalls spät eingewandert ist und sich noch jetzt auszubreiten scheint, leugnet Brockmann-Jerosch alle Änderung der Jahrestemperatur (in und) seit der Eiszeit.²⁾ Das Klima sei nur trockener und kontinentaler geworden. Nach brieflicher Mitteilung von Prof. Brückner dagegen hat dieser in neuerer Zeit eine Senkung der Baumgrenze um etwa 150 m, zum Teil sogar mehr, in so vielen Teilen der Alpen festgestellt, daß er „heute die Ursache hierfür doch nur in einer Klimaverschlechterung sehen kann“.

1) Leo Berg, Das Problem der Klimaänderung in geschichtl. Zeit. Pencks Geograph. Abhandl., Bd. 10. Leipzig und Berlin 1914.

2) Die Veränderungen des Klimas usw., S. 55—71. Stockholm 1910.

In den Karpathenländern ist die Klimaänderung wenig an der Temperatur, aber deutlich an einem dauernden Feuchterwerden des Klimas erkennbar. Nach Murgoci¹⁾ ist der Wald in Rumänien, besonders in neuerer Zeit, in die Steppe erobernd vorgedrungen. In der ersten Zeit nach der Lößbildung war das Klima noch sehr trocken, und entstanden dunkelfarbige alkalische Böden und Roterden; später, bei zunehmender Feuchtigkeit, wurden Roterde, Braunerde und Tschernosjom gebildet. Das heutige Klima ist das feuchteste.

Auch in Rußland ist längs dem Nordrande des Schwarzerdegebiets der Wald, wo er sich selbst überlassen ist, heute im Vordringen gegen die Steppe begriffen.

Beim Abschluß dieser Schrift kommt uns ein soeben erschienenenes Werk von zwei Schülern Rutger Sernanders²⁾ zu, das sich auch für Mitteleuropa auf den Standpunkt der mehrfachen Klimaänderung stellt und ihn besonders auf die Moore Oberbayerns anwendet. Aus den 26 Spalten seiner Schlußtafel wählen wir sieben zur etwas gekürzten Wiedergabe aus. Gewiß ist das Zusammenarbeiten eines süddeutschen und eines skandinavischen Forschers, wie es hier vorliegt, der beste Weg, zu vergleichbaren Beobachtungen zu gelangen. Wir geben diese Tabelle, wie die von Brooks, „zur Nachricht“, ohne dazu Stellung zu nehmen. Wir haben bereits gesagt, daß in der Strahlungskurve für eine zweimalige Temperaturwelle kein Platz ist, und auch der große Übergang von trocken zu feucht beim Verschwinden der Eisantizyklone ein einmaliger war. Die einmalige Welle ist daher wahrscheinlicher.

Die Fig. 41 zeigt den wahrscheinlichen Gang der Strahlung und der Temperatur seit 25 000 Jahren, unter Annahme einer Breitenabnahme von 5° zwischen 15 000 und 5000 Jahren vor der Jetztzeit. Beiderlei Werte sind ausgedrückt durch die jetzt ihnen entsprechende geologische Breite. Für die Temperatur kommt noch hinzu:

a) der Einfluß der antizyklonalen Winde, solange das Inlandeis besteht; mit dessen Kleinerwerden nimmt er allmählich ab;

b) die Kälte auf dem Inlandeis. Beide Einflüsse sind der Anschaulichkeit wegen sehr niedrig auf nur 5° angesetzt.

Von der Wirkung der Änderung der Seehöhe durch die Eisdecke wollen wir absehen.

Es sind genommen:

ein Ort in jetzt 60° Breite, der vor 9000 Jahren vom Eise befreit sein möge (Upsala);

ein Ort in jetzt 54° Breite, der vor 17 000 Jahren eisfrei geworden sein möge (Rostock);

1) Die Veränderungen des Klimas usw., S. 151. Stockholm 1910.

2) Helmut Gams und Rolf Nordhagen, Postglaziale Klimaänderungen und Erdkrustenbewegungen in Mitteleuropa. 336 Seiten und 28 Tafeln. München 1923.

Schweden nach Sernander	Dänemark nach K. Jessen	Nordl. Moore nach C. A. Weber	Chiemsee- Möser	Kritzelried im Glattal (Schweiz)	Entwicklung der Vegetation in Mitteleuropa	Kulturen
Arktische Zeit: Dryas-Flora	Dryaszeit	Tomnude mit Dryas, Kalk- mude, Schiltorf, Torf und Leber- mude	—	Dryas-Ton	Zwergstrauchheiden mit Salix-Arten, Betulanausw. (Dryas-Flora)	Solutrén Magdalenen Renfleurzeit
Subarktische Zeit: Föhre und Birke	Espenzeit Einwanderung der Föhre		Gytta- Bildungen	Föhre und Weiß- birke	Einwanderung von Föhre und Fichte, Weißbirke und Hasel, Verschwinden d. Dryas-Flora	
Boreale Zeit: Trocken-warmes kontinentales Klima. Einwand. der Eiche	Föhrenzeit Eiche, Linde, Erle, Hasel wandern ein	Föhren- und Birkenwald, oft Brandlagen. Erlenbruchtorf	Bruch- waldtorf	Lebertorf, vorherrsch. Föhre, daneben Trauben- eiche und Linde	Rasche Ausbreitung der Föhrenwälder, Einwand. der Eichen und Linden, in den Alpen Ausbreitung v. Lärche und Arve	Azilen-Tardenoisien, im Alpenvorland fast fehlend. (Ren ausgestorben)
Atlantische Zeit: Maritimes, feuch- warmes Klima. Laubwälder wie in der subborealen Periode		Älterer Sphag- numtorf, unten oft mit Scheuch- zeria	Radicelellentorf mit sehr viel Weißtannen- pollen	Lebertorf, die Föhre wird von der Eiche zurückgedrängt	Eichenwälder, am Alpenrand und in den Voralpen größte Häufigkeit der Erle. Ein- wanderung der Weißtanne und Buche	Campanien, im Alpenvorland fast ganz fehlend (Hiatus)
Subboreale Zeit: Trockenes und warmes Klima, gegen das Ende Klimapessimum. Größte Ausbreitung der Xero- thermen, v. Corylus u. a. Erhöhung d. Baumgren- zen, Eichenmischwälder	Einwanderung der Buche	Grenzhorizont. Austrocknung und Verwitterung der älteren Torf- schichten	Nadelwald- schicht (Aus- trocknungs- horizont), Zer- setzung des Radicelellen- torfs	Schnoffer Über- gang zu terr. Bild. (Braunmoostorf u. Wald). Austrock- nung der Gytja in der Eichenzeit	Vorherrsch. Eichenwälder, in trockenen Gegenden und auf den Mooren Föhren- wälder. Waldgrenze erhöht. Zunehm. Lichtung der Wäl- der, Ausbreitung der Xero- thermen, blühend. Ackerbau	Erste Wiederbasiede- lung d. Alpenvorlandes Vollneolithium Bronzezeit Blühender Bergbau. Verkehr über heute vergleichscharte Pässe. Frühe Hallstattzeit
Subatlantische Zeit: Feuchtes und besonders anfangs kaltes Klima. Klimaverschlechterung, die Fichte breitet sich aus, Pflanzen Norrlands wandern südwärts	Buchenzeit Aussterben der Föhre	Unten Scheuch- zeria-, Sphagnum cuspidatum-Torf Jüngere Sphagnum-Torf	Zunehmest Scheuchzeria- Torf, höher Sphagnum- Eriophorum vaginatum- Torf, darin röm. Bohnweg	Sphagnum- Eriophorum-Torf, z. T. über Bruch- waldtorf	Größte Häufigkeit der Buche und des Bergahorns, Wieder- ausbreitung der Rot- und Weißtanne, Aussterben von Tropa u. a.	Mittel- und Spät- Hallstattzeit. La Tene-Zeit Frühgeschichtliche Zeit
Neuzzeit: Trockener	—	—	Moorwald	Föhren und Heide	Austrocknung der Moore	Mittelalter, Neuzzeit

ein Ort in jetzt $52\frac{1}{2}^{\circ}$ Breite, den das Inlandeis damals nicht erreicht hat (Berlin).

Die Lufttemperatur an einem Orte in 54° Breite, eben nördlich der baltischen Moränen, betrug hiernach: vor 23 000 Jahren (auf dem Eise) so viel, wie jetzt 72° Br. zukommt, vor 11 000 Jahren dagegen so viel wie heute und vor 7000 Jahren so viel, wie einer 3° südlicheren Lage (51° Br.) zukommt.

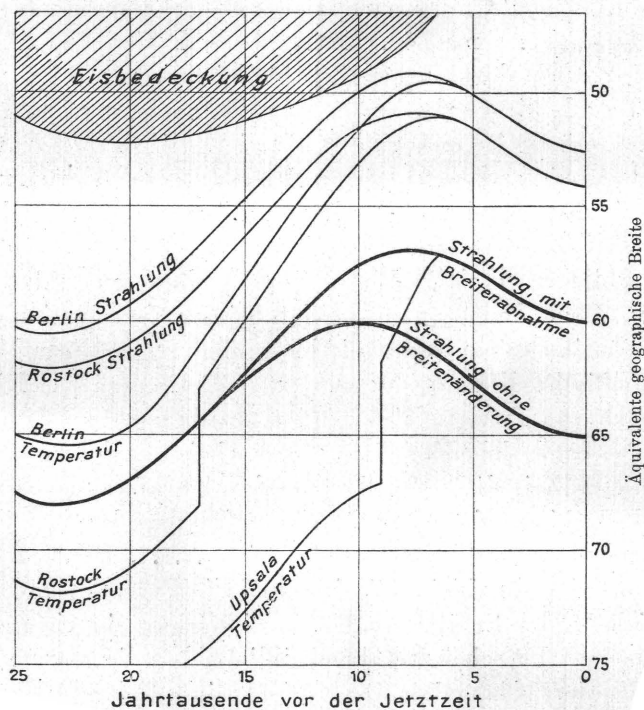


Fig. 41. Sonnenstrahlung und wahrscheinliche Temperatur der untersten Luftschicht an drei Punkten des Ostseegebiets beim letzten Rückgang des Inlandeises, ausgedrückt in Breitengraden

In der Ecke oben links ist für dieselbe Zeitskala die Ausdehnung des Inlandeises in willkürlichem Maß, nach unten wachsend, eingezeichnet.

Man erkennt aus der Figur leicht, daß nach De Geers Rechnung das Maximum der Bestrahlung Mittelschweden noch teils unter Eis, teils unter den abkühlenden Nordostwinden gefunden haben muß, und daß dessen Klima nur etwa 4000 Jahre lang merklich wärmere Sommer als die Jetztzeit gehabt haben kann. Biologen mögen entscheiden, ob für die weite Ausbreitung schwerfrüchtiger Bäume, wie Eiche und Haselnuß, ein so kurzer Zeitraum genügt haben kann. Jedenfalls würde

die Auffassung erleichtert werden, wenn es gelänge, mit ausreichender Begründung De Geers Zahlen um einige Jahrtausende zurückzuschieben.

Da im östlichen Nordamerika die Temperatur mit wachsender Breite viel stärker abnimmt als in Europa, so äußerte sich dort die Änderung der Breite stärker als in Europa, wozu kommt, daß nach unserer Annahme die Breitenänderung dort größer war. Es scheinen noch andere Ursachen, insbesondere die sehr rezente Südwärtsverschiebung des Kontinents, mitgewirkt zu haben, um die Änderung so außerordentlich stark zu machen. Die warme Periode nach der letzten Eiszeit war auch dort ausgeprägt, vielleicht sogar noch mehr als in Europa, aber da die Torfmoore in Amerika noch kaum untersucht sind, sind es hauptsächlich Land- und Wassertiere, die dafür anzuführen sind.

In dem oft erwähnten Sammelwerke: „Die Veränderungen des Klimas seit dem Maximum der letzten Eiszeit“, das aus Veranlassung des XI. Internationalen Geologenkongresses in Stockholm (1910) erschien, schildert Oliver Hay diese Änderungen mit den Worten (S. 374): „Wir können annehmen, daß bei der Kulmination der warmen Post-Wisconsin-Periode vom Golf bis zu den großen Seen Mastodonten, der Columbische Elefant, *Megalonyx*, *Castoroides* (der Riesen-Biber) und Herden von *Peccaris* sich fanden, zusammen mit Vertretern jetzt in unserem Lande lebender Arten. So scheint es denn wahrscheinlich, daß zu dieser Zeit die Gegend längs den Südufern der Seen Ontario, Erie und Michigan sich eines Klimas erfreuten, das dem jetzt in Tennessee und Arkansas herrschenden glich Warum *Megalonyx*, *Mastodon*, der Columbische Elefant und die *Peccari* vom Genus *Platygonus* nicht in den Staaten am Golf weiterlebten, ist ein noch zu lösendes Problem. Es scheint wahrscheinlich, daß die warme postglaziale Epoche mit der „Champlain-Depression“ eines Teils des Ostrandes vom nordamerikanischen Kontinent zusammenfiel, wie dieses Dana annahm; aber bewiesen kann dieses kaum werden.“

Das (einfache oder doppelte) „Klima-Optimum“, d. h. die wärmeren Sommer und kälteren Winter in Nord- und Mitteleuropa zwischen der letzten Eiszeit und heute, ist die letzte sicher festgestellte Klimaänderung von jahrtausendelanger Dauer. Alle für die spätere Zeit behaupteten Änderungen, abgesehen von Klimaschwankungen von höchstens hundertjähriger Länge, sind durchaus unsicher, so viel auch darüber geschrieben worden ist.

Unzweifelhaft hat der Mensch durch Ausroden der Wälder, durch Ackerbau und Viehzucht stark in die Natur und den Wasserhaushalt des Bodens eingegriffen. Eine andere Frage ist es aber, ob auch die Verteilung und Menge der Niederschläge sich in dieser Zeit geändert hat.

Auch in bezug auf die Temperatur lassen uns hier unsere Strahlungskurven insofern im Stich, als die Tatsachen uns zwingen, eine Abnahme der geographischen Breite von Europa in sehr junger Zeit anzunehmen, durch welche zwar die von den Kurven geforderte Zunahme der Strahlung in der Zeit vor 21 000 bis vor 10 000 Jahren verstärkt, ihre Abnahme seit 10 000 Jahren aber entsprechend abgeschwächt und die größte Sommerstrahlung uns näher gerückt wurde, und zwar um so mehr, je später wir jene Zeit der Breitenabnahme ansetzen. Wir haben gesehen, daß, wenn wir diese auf 15 000 bis 5000 vor der Jetztzeit setzen, die wärmsten Sommer sich bis gegen — 7000 oder — 8000 verspäten. Die Sonnenstrahlung nahm dann von 11 000 bis 8000 Jahren vor der Jetztzeit nicht mehr wesentlich zu, und die Erwärmung mußte, solange noch Schweden und Finnland mehr oder weniger eisbedeckt waren, zurückgehalten werden, in der weiteren Umgebung¹⁾ des Eiskuchens durch die antizyklonalen Winde, und auf ihm selbst noch viel mehr durch die abkühlende Wirkung des Eises, das durch seine Ausstrahlung und seinen Verbrauch an Schmelzwärme die Temperatur niedrig hält (s. Fig. 41).

Wir kommen nun zur geschichtlichen Zeit.

Es ist sonderbar, daß nicht zahlreichere und sicherere Zeugnisse aus historischer Zeit für ein Kühlerwerden der Sommer in Europa vorliegen. Denn, ein Gleichbleiben der Breite und der Sonnenkonstante vorausgesetzt, mußte die sommerliche Sonnenstrahlung hier wegen dauernder Abnahme der Ekliptikschiefe und Wachstums der sommerlichen Sonnennähe die merkliche Einbuße, die sie seit 10 000 Jahren erlitten hat, auch in den letzten 5000 Jahren fortgesetzt haben. Die Angabe, daß in der Bronzezeit Nordeuropas die Sommer wärmer waren als jetzt, ist also wahrscheinlich zutreffend. Wenn aber diese Zeit auch wärmer war als die vorhergehende, so ist dieses vorläufig noch unerklärt. Das Aufhören des Weinbaues in Norddeutschland seit dem Mittelalter hat man nur durch Verfeinerung des Geschmacks und Zunahme des Verkehrs erklären wollen; vielleicht trägt aber die erwähnte Abnahme der Sonnenstrahlung ganz oder teilweise die Schuld daran.

Mit der größeren Sonnenstrahlung im Sommer war geringere Sonnenstrahlung im Winter verknüpft. Die auffallenden Nachrichten aus dem Mittelalter über Zufrieren der Ostsee sind Gegenstand sehr sorgfältiger Untersuchungen geworden²⁾, die die Übertreibungen auf ein

1) Die nähere war vom kalten Yoldiameer eingenommen, dessen Gewässer unter dem Einfluß derselben Winde eine Strömung aus dem Eismeer zur Nordsee gehabt haben müssen.

2) Neben älteren vgl. besonders Speerscheider: Om Isforholdene i Danske Farvande i ældre og nyere Tid. Meddelels. Nr. 2 des Dän. Met. Inst.

richtiges Maß zurückgeführt haben. Was übrig bleibt, kann vielleicht zum Teil auf dieser Ursache beruhen.

Der allgemeine Eindruck alter Leute, daß in ihrer Jugend noch richtige Winter und richtige Sommer waren, hat mit diesem Maritimerwerden des Klimas seit 10 000 Jahren nichts zu tun, auch dort, wo er richtig ist. Denn die kurze Spanne eines Menschenlebens bedeutet gegenüber jenen langsamen Änderungen nichts.

Für periodische Änderungen der Temperatur von hundertjähriger — 80- bis 200jähriger — Dauer liegen Andeutungen vor, die aber ganz unsicher sind. Die kurzen Perioden von durchschnittlich 34,8 und 11,1 Jahren Dauer gehören nicht in den Rahmen dieses Buches. Der Tatbestand läßt sich dahin zusammenfassen, daß immer ein Teil der Erdoberfläche wärmer, ein anderer kälter ist, als im vieljährigen Durchschnitt, daß aber — grobenteils unperiodisch, zu einem kleinen Teile aber auch periodisch — die Gebiete positiver und negativer Temperaturabweichung sich verschieben und abwechselnd einschrumpfen, ohne, soviel wir urteilen können, jemals zu verschwinden. Die Wahrscheinlichkeit, in ein solches Gebiet hineinzukommen, schwankt also für den einzelnen Ort, ohne sich jemals bis zur Gewißheit zu steigern. Die bestimmte Gegend kann also auch in den Jahren, wo die Periode Wärme verlangt, kalt bleiben, wenn für die Erde als Ganzes die Periode vielleicht zutroffen ist.

Weit mehr, als über Änderung der Temperatur, ist über Änderung der Regenverhältnisse in historischer Zeit geschrieben worden, und zwar fast durchweg im Sinne einer zunehmenden Trockenheit. Diese Auffassung hat sich schon früh am Studium der klassischen Literatur gebildet. Die Alten sahen das Klima der Mittelmeerländer als das normale an und Deutschland erschien ihnen trübe und feucht. Umgekehrt finden die Deutschen jetzt Trockenheit und Heiterkeit im Sommer am Mittelmeer, von der die Alten als von etwas Selbstverständlichem nicht sprechen. Aber auch die Trümmer der blühenden Städte Mesopotamiens liegen jetzt in kahler Steppe. Alles dies mußte den Eindruck erwecken, daß das Klima sich geändert habe. Aber die genauere Untersuchung hat gelehrt, daß die Alten auch das Fluß nannten, was wir einen Bach nennen würden, wenn er nur im Winter viel Wasser führt, und daß Ruinen antiker Gebäude am Rande von abflußlosen Salzsümpfen in Algerien zu finden sind; deren Wasserstand kann also im Altertum nicht viel höher gewesen sein. Die Kultur Mesopotamiens hat offenbar ganz auf künstlicher Bewässerung beruht, und ihr Verfall war die Folge von Kriegen und Verwüstungen. Sie ist auch nach Jahrtausenden auf einige Zeit unter den Arabern wieder aufgeblüht. Der Verfall der Bodenkultur und damit auch des Staates im alten Rom und in Spanien nach der Conquista war eine Folge des

falschen Bodenrechts, das die Latifundienbildung gestattete, und nicht einer Änderung des Klimas.

Ganz sicher haben in geschichtlicher Zeit bedeutende Schwankungen im Regenreichtum stattgefunden. So stand das Wasser des Kaspischen Meeres 1815 um 2 m höher und 1843 bis 1846 sowie 1851 bis 1860 fast 1 m tiefer als 1877, und aus älterer Zeit sind noch bedeutend größere Schwankungen bezeugt.¹⁾ Allein für eine fortschreitende Änderung finden sich nirgends sichere Anzeichen: In den Jahren 915 bis 921 stand das Kaspische Meer 8 m, 1306/07 11 m über dem Jetztstande, aber dazwischen im 12. Jahrhundert 5 m unter diesem.

Die beobachteten und behaupteten Änderungen in der Feuchtigkeit von Europa und Innerasien hat L. Berg in einer Schrift²⁾ behandelt, die als Heft 2 des 10. Bandes von Pencks Geogr. Abhandl. erschienen ist. Da wir fast in allem, auch in der Polemik gegen Huntington, ihm zustimmen, und die Schrift leicht zugänglich ist, möge es genügen, auf sie zu verweisen und nur ihre Schlußsätze anzuführen.

„1. Vergleicht man die gegenwärtige Epoche mit der Eiszeit, so wird man fast auf dem ganzen Festlande eine Verringerung der Binnengewässer und der atmosphärischen Niederschläge³⁾ konstatieren können.

2. Eine ununterbrochene Austrocknung hat seit dem Ende der Eiszeit nicht stattgefunden; der gegenwärtigen Epoche ging eine solche mit noch trockenerem und wärmerem Klima voraus.

3. Während der historischen Zeit ist nirgends eine Klimaänderung zugunsten einer fortschreitenden Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur der Luft oder einer Verminderung der atmosphärischen Niederschläge zu bemerken. Das Klima bleibt entweder beständig (abgesehen von Schwankungen, deren Periode höchstens einige Jahrzehnte beträgt), oder es läßt sich sogar eine gewisse Tendenz zu einem Fechterwerden konstatieren.

4. Es kann daher weder von einem ununterbrochenen Austrocknen der Erde seit der Beendigung der Eiszeit noch von einem ununterbrochenen Austrocknen im Laufe der geschichtlichen Zeit die Rede sein.“

Dieselbe Ansicht vertreten für Gegenden, die scheinbar besonders stark für eine Austrocknung sprechen, Sven Hedin für Persien⁴⁾ und P a r t s c h für Palmyra.⁵⁾

1) Brückner, Klimaschwankungen seit 1700, S. 62. Wien 1890.

2) Leo Berg, Das Problem der Klimaänderung in geschichtl. Zeit. Leipzig und Berlin 1914.

3) Letzteres ist zum Teil zweifelhaft. Der Wasserreichtum eines Landes nimmt bei Erniedrigung der Temperatur auch ohne Zunahme der Niederschläge, durch Verringerung der Verdunstung, zu.

4) Die Veränderungen des Klimas usw., S. 431. Stockholm 1910.

5) Verhandl. d. Sächs. Akad. d. Wiss. zu Leipzig, phil.-histor. Klasse, 74. Bd., S. 1. 1922.

E. Die Größe der Ekliptiksschiefe (ϵ) und des Produkts aus Exzentrizität der Erdbahn (e) und Sinus der Perihellänge (Π), von 800 000 Jahren vor bis zu 30 000 Jahren nach der Jetztzeit. Nach Pilgrim.

Jahr- tausende vor 1850	$e \sin \Pi$	ϵ	Jahr- tausende vor 1850	$e \sin \Pi$	ϵ	Jahr- tausende vor 1850	$e \sin \Pi$	ϵ
800	— ·0165	22° 38'	650	— ·0178	23° 39'	525	·0109	23° 41'
795	·0153	22° 49'	643	·0335	23° 10'	520	— ·0029	23° 9'
790	·0070	23° 12'	640	·0168	22° 55'	515	— ·0010	22° 47'
785	— ·0045	23° 39'	635	— ·0245	22° 47'	510	— ·0050	22° 37'
780	·0043	23° 58'	633	— ·0263	22° 47'	507	— ·0114	22° 49'
775	— ·0035	23° 50'	630	— ·0086	22° 52'	505	— ·0118	22° 57'
770	— ·0177	23° 29'	625	·0177	23° 19'	500	·0095	23° 25'
765	·0072	23° 1'	620	·0000	23° 47'	496	·0250	23° 39'
760	·0291	22° 40'	616	— ·0134	23° 54'	495	·0247	23° 44'
755	— ·0065	22° 40'	615	— ·0118	23° 55'	490	·0089	23° 53'
750	— ·0373	22° 53'	610	·0125	23° 48'	485	— 0351	23° 34'
745	·0042	23° 28'	608	·0177	23° 37'	480	·0000	23° 8'
740	·0409	23° 49'	605	·0091	23° 18'	475	·0413	22° 48'
735	·0000	23° 58'	600	— ·0257	22° 46'	470	·0022	22° 38'
730	— ·0401	23° 52'	599	— ·0280	22° 44'	465	— ·0431	22° 56'
725	— ·0040	23° 22'	595	·0071	22° 34'	460	— ·0074	23° 22'
720	·0360	22° 50'	590	·0378	22° 38'	455	·0400	23° 51'
715	·0020	22° 37'	585	·0081	23° 9'	454	·0411	23° 57'
710	— ·0306	22° 42'	580	— ·0473	23° 43'	450	·0141	24° 5'
705	·0033	23° 9'	579	— ·0488	23° 46'	445	— ·0330	23° 34'
700	·0245	23° 39'	575	— ·0127	24° 3'	443,5	— ·0356	23° 23'
695	— ·0097	23° 49'	570	·0488	24° 6'	440	— ·0156	22° 55'
692	— ·0242	23° 49'	569	·0520	23° 59'	435	·0256	22° 29'
690	— ·0203	23° 47'	565	·0203	23° 36'	433,5	·0278	22° 22'
685	·0171	23° 25'	560	— ·0455	22° 59'	430	·0111	22° 22'
682,5	·0270	23° 13'	558	— ·0505	22° 51'	425	— ·0196	22° 57'
680	·0189	23° 1'	555	— ·0240	22° 34'	420	— ·0051	23° 40'
675	— ·0250	22° 52'	550	·0390	22° 25'	415	·0128	24° 9'
673	— ·0322	22° 51'	548	·0439	22° 35'	410	·0018	24° 15'
670	— ·0182	22° 54'	545	·0226	22° 53'	406	— ·0104	23° 35'
665	·0305	23° 13'	540	— ·0282	23° 29'	405	— ·0092	23° 44'
664	·0356	23° 20'	538	— ·0327	23° 41'	400	·0091	23° 4'
660	·0181	23° 34'	535	— ·0200	23° 55'	398	·0133	22° 51'
655	— ·0313	23° 42'	530	·0145	24° 6'	395	·0074	22° 33'
653	— ·0362	23° 43'	527	·0179	23° 52'	390	— 0168	22° 18'

Jahr- tausende vor 1850	$e \sin II$	ϵ	Jahr- tausende vor 1850	$\epsilon \sin II$	ϵ	Jahr- tausende vor 1850	$e \sin II$	ϵ
389	— 0185	22° 21'	240	— 0191	23° 15'	90	0166	24° 18'
385	— 0055	22° 42'	235	— 0088	22° 27'	85	— 0310	23° 55'
380	0204	23° 18'	231	0322	22° 2'	83	— 0364	23° 39'
375	0045	23° 54'	230	0315	22° 0'	80	— 0238	23° 17'
370	— 0217	24° 16'	225	— 0089	22° 31'	75	0203	22° 39'
365	— 0038	23° 58'	220	— 0403	23° 20'	72	0292	22° 20'
360	0210	23° 25'	215	0000	24° 1'	70	0232	22° 14'
355	0000	22° 45'	210	0444	24° 25'	65	— 0099	22° 29'
350	— 0196	22° 18'	209,4	0451	24° 24'	61	— 0194	22° 56'
345	0078	22° 39'	205	0157	24° 0'	60	— 0181	23° 2'
342	0207	23° 2'	200	— 0405	23° 20'	55	— 0010	23° 49'
340	0174	23° 14'	198,3	— 0460	23° 8'	50	0102	24° 25'
335	— 0147	23° 50'	195	— 0268	22° 45'	47,6	0110	24° 25'
332,4	— 0240	24° 7'	190	0314	22° 23'	45	0092	24° 13'
330	— 0180	24° 11'	187,4	0435	22° 30'	40	0007	23° 39'
325	0210	23° 46'	185	0330	22° 36'	35	— 0119	22° 49'
322,6	0292	23° 29'	180	— 0206	23° 5'	33,5	— 0138	22° 37'
320	0204	23° 9'	176	— 0384	23° 31'	30	— 0094	22° 10'
315	— 0252	22° 43'	175	— 0355	23° 40'	25	0122	22° 25'
313	— 0337	22° 32'	170	0004	24° 6'	22,3	0182	22° 44'
310	— 0219	22° 31'	165	0318	23° 58'	20	0149	23° 0'
305	0279	22° 56'	160	0118	23° 32'	15	— 0098	23° 43'
303	0360	23° 11'	155	— 0213	22° 53'	11,4	— 0195	24° 5'
300	0236	23° 30'	152,3	— 0265	22° 37'	10	— 0179	24° 14'
295	— 0340	23° 53'	150	— 0213	22° 24'	8,8	—	24° 15'
290	— 0259	24° 2'	145	— 0075	22° 39'	5	0049	23° 59'
285	0173	23° 40'	140	0259	23° 12'	0,6	0170	23° 31'
281,6	0285	23° 18'	135	0085	23° 52'	0	0165	23° 28'
280	0245	23° 8'	130	— 0243	24° 18'			
275	— 0084	22° 38'	127,6	— 0308	24° 8'	nach 1850		
270,7	— 0198	22° 22'	125	— 0249	23° 41'	5	— 0020	22° 35'
270	— 0181	22° 22'	120	0148	23° 9'	9,6	— 0118	22° 33'
265	0000	22° 39'	116	0363	22° 41'	10	— 0114	22° 32'
260	0088	23° 21'	115	0354	22° 33'	15	0010	22° 45'
257	0099	23° 47'	110	— 0060	22° 15'	18,8	0061	23° 5'
255	0100	24° 3'	105	— 0401	22° 42'	20	0049	23° 10'
250	0042	24° 28'	100	— 0043	23° 28'	25	— 0039	23° 39'
245	— 0136	24° 0'	95	0391	24° 2'	26	— 0044	23° 44'
242,3	— 0209	23° 36'	94	0403	24° 8'	30	0007	23° 59'

Erklärung der Tafel

Die drei Zackenlinien I, II und III rühren von Prof. Milankovitch her und geben die Zahlen seiner Tabelle im Abschnitt B des Kapitels Quartär (S. 214) wieder. Die Änderungen der Strahlung sind durch entsprechende Änderungen der nördlichen geographischen Breite dargestellt, mit abwärts wachsenden Breiten, um die Strahlung (und die Temperatur) aufwärts wachsen zu lassen. Die Werte stellen die Strahlungsmengen während der $182\frac{1}{2}$ Tage stärkster Strahlung dar.

Die beiden Kurvengruppen IV und V geben in den dicken Linien den säkularen Gang der angenäherten sommerlichen Strahlungswerte für 65° Breite wieder, und zwar

Gruppe IV für nördliche, Gruppe V für südliche
Breite,

sowie deren Entstehung aus den beiden Wellen von ϵ und $e \sin \Pi$ ¹⁾ nach den eben dort gegebenen Entwicklungen. Diese Wellen sind in Nord- und Südbreite identisch, aber die kürzere Welle der $e \sin \Pi$ fällt im Süden umgekehrt. Die Zahlenwerte dieser beiden Elemente findet man auf S. 254 und 255 angegeben.

Aus diesen beiden Fundamentalkurven von ϵ und $e \sin \Pi$ ist die angenäherte Strahlungskurve als deren arithmetisches Mittel abgeleitet. Durch Änderung der relativen Amplitude der Fundamentalkurven kann dasselbe für andere ektropische Breiten geschehen. Da diese Kurven für das astronomische Sommerhalbjahr gelten, so stellen sie wegen dessen Verschiebungen gegen die Strahlungswelle und wegen dessen wechselnder Länge den säkularen Gang der Sonnenstrahlung nicht genau, aber doch, wie ein Vergleich von IV und II zeigt, mit recht großer Annäherung dar. Die Strahlungswelle der südlichen Halbkugel V stimmt nur darin mit IV überein, daß große Schwankungen nur in Zeiten großer e vorkommen.

1) ϵ = Ekliptikschiefe, e = Exzentrizität der Erdbahn, Π = Länge des Perihels.

Sonnenstrahlung des Sommerhalbjahres in höheren Breiten im Quartär seit 650000 Jahren

