



Jahreszahlen der Erdgeschichte

Lotze, Reinhold

Stuttgart, 1922

III. Von der Eiszeit zum Beginn des Kambriums. Verlauf der Eiszeit.
Astronomische Eiszeittheorie von Croll. Eisrückzug in Skandinavien nach
de Geer. Dauer der Nacheiszeit. Alter der baltischen ...

[urn:nbn:de:hbz:466:1-79199](#)

aber sei die Erde aus der Sturm- und Drangzeit heraus in einen gemütlichen Alterszustand eingetreten, und von den an ihr tätigen Kräften werde nicht mehr viel an ihrem Antlitz geändert.

Diese Ansicht ist gegenwärtig von den meisten Forschern verlassen. Die Erde befindet sich durchaus nicht in einer Periode besonderer Ruhe; wesentlich stärker können in der Vorzeit die geologischen Kräfte nicht gewirkt haben, als sie es auch heute noch tun. Ja, eine Anzahl englischer und amerikanischer Geologen vertritt mit guten Gründen die Ansicht, daß wir uns in einer Zeit übernormaler geologischer Tätigkeit befinden. Wir werden später auf die Beprechung dieser wichtigen Frage zurückkommen müssen.

Es wäre gewiß zu kühn, die Frage nach der Dauer geologischer Zeiträume mit den bisherigen Methoden allein lösen zu wollen. Die Verfahren, die bis jetzt beschrieben wurden, sind doch gar zu summarisch. Wir wollen deshalb einen andern Weg einschlagen. Anstatt sofort auf das Ganze zu gehen, wollen wir bescheiden versuchen, zunächst für Ereignisse der jüngsten, uns zeitlich nächstliegenden geologischen Vergangenheit, brauchbare Zahlen zu finden und von da aus langsam weiter zurückzuschreiten.

III. Von der Eiszeit bis zum Beginn des Kambriums.

Unmittelbar vor der geologischen Gegenwart hat ein gewaltiges Ereignis, dessen Nachwirkungen heute noch nicht ganz verschwunden sind, unsere Erde betroffen: Eine ungeheure Vereisung ist über weite Teile der Erdoberfläche weggegangen. Aus den Tälern der Alpen drangen Eisströme von über 1000 m Mächtigkeit hin aus ins Vorland, wo sie sich zu einem riesigen Eisgürtel vereinigten, der im Norden bis nahe zur Linie der heutigen Donau reichte und sie an einigen Punkten (z. B. bei Sigmaringen) sogar noch überschritt. Unsere höheren Mittelgebirge, Vogesen, Schwarzwald, Böhmerwald und Riesengebirge trugen Gletscher, die weit in die Täler hinunterreichten. Das Gewaltigste aber war die ungeheure nordeuropäische Vereisung (Abb. 4). Von den skandinavischen Gebirgen schoben sich die Eismassen über die heutige Ostsee hinweg bis in das Herz Deutschlands. Sie reichten bis an den Harz und in die Lausitz, ja tief nach Polen und in die Ukraine hinein. Ungeheure Schuttmassen wurden von den Gletschern mitgebracht, zum Teil am

Grund mitgeschoben (Grundmoränen), zum Teil auf dem Rücken herangetragen, gelegentlich in einzelnen großen Blöcken (Findlingsblöcke). Fast dem ganzen norddeutschen Tiefland ist durch die Bedeckung mit Gletscherschutt der geologische Stempel aufgedrückt. Das Merkwürdigste aber ist, daß jene Eiszeit nicht einheitlich war, sondern daß viermal nacheinander die Gletscher vorstießen, um sich in der Zwischenzeit jeweils vollständig zurückzuziehen und abzuschmelzen. Wohl sind gewisse Einzelfragen noch nicht gelöst, im allgemeinen aber kann die nebenstehende schematische Darstellung (Abb. 5) als Ausdruck unserer jetzigen Kenntnisse vom Verlauf der Eiszeit angesehen werden. Die Kurve gibt nach den Forschungen Pencks den Verlauf der Schneegrenze für die ganze Eiszeit im alpinen Vereisungsgebiet wieder. Jede Eiszeit wurde durch eine Temperaturerniedrigung verursacht; eine Senkung der Schneegrenze um mehrere hundert Meter war die Folge. In der Zwischeneiszeit stieg jedoch die Temperatur sogar über den Durchschnittsstand der Jetzzeit; die Gletscher zogen sich zurück. Die Kurve bringt deutlich durch die viermalige Senkung und Hebung der Schneegrenze das viermalige Kälter- und Wärmerwerden, das Vorrücken und Abschmelzen der Gletscher zur Darstellung. Die vier Eiszeiten führen nach Penck die Namen Günz-, Mindel-, Riß- und Würmeiszeit, nach Flüßchen der oberschwäbisch-bayrischen Hochebene, an denen ihre Bildungen besonders schön erhalten sind. Von der letzten, uns zeitlich am nächsten liegenden Eiszeit wissen wir natürlich am meisten, denn ihre Ablagerungen liegen zu oberst, während die der früheren Eiszeiten oft tief überschüttet oder gar schon wieder zerstört sind. So wissen wir auch, daß das Abschmelzen der Gletscher vom Höhepunkt der Würmeiszeit ab nicht ohne Unterbrechung erfolgte. Der Gletscher wich bei seinem Abschmelzen nicht gleichmäßig zurück, sondern machte an manchen Stellen eine längere Ruhepause, ja er konnte sogar wieder eine Strecke weit vorstoßen. So wurde das Abschmelzen des Würmgletschers durch den „Bühlvorstoß“ unterbrochen. Die Linie, an der der Eisrand längere Zeit verweilte, ist durch besondere Endmoränenwälle im Gelände gekennzeichnet. So liegen die Moränen des Bühlvorstoßes, der für die Berechnung der Eiszeitdauer von besonderer Wichtigkeit ist, an der Stelle, wo die Alpentäler sich in das Vorland öffnen.

Die Frage nach der Ursache der Vereisung beschäftigt den Geologen, seit er überhaupt von diesem Ereignis weiß. Eine Un-

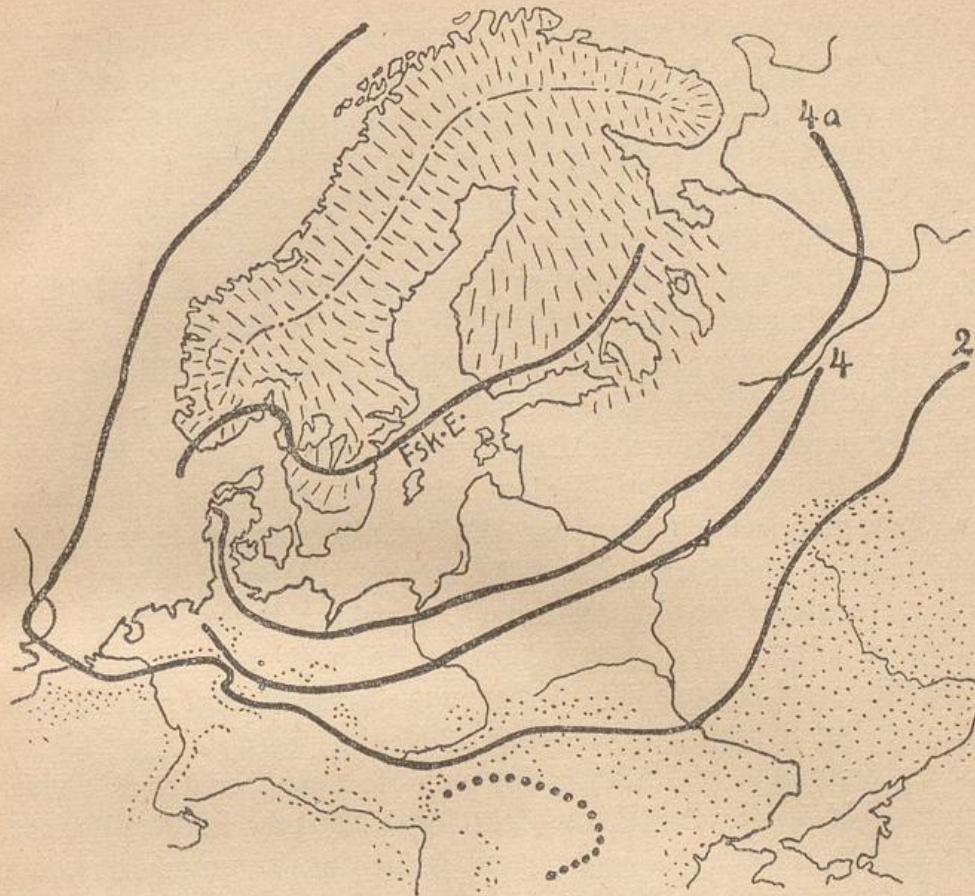


Abb. 4. Das nordeuropäische Vereisungsgebiet.
2 äußerster Stand der 2. (Mindel-) Vereisung. 4 äußerster Stand der 4. (Würm-) Vereisung.
4a baltische Endmoränen. Fsk-E fennoskandinische Endmoränen.
Nach Olbricht.

menge von Theorien hat schon versucht, die Eiszeit mit ihrem mehrmaligen Klimawechsel zu erklären. Es ist ein Gebiet, das der Phantasie — und die ist auch in der Wissenschaft nötig! — den weitesten Spielraum lässt, und wo dem Forscher die Möglichkeit winkt, eines

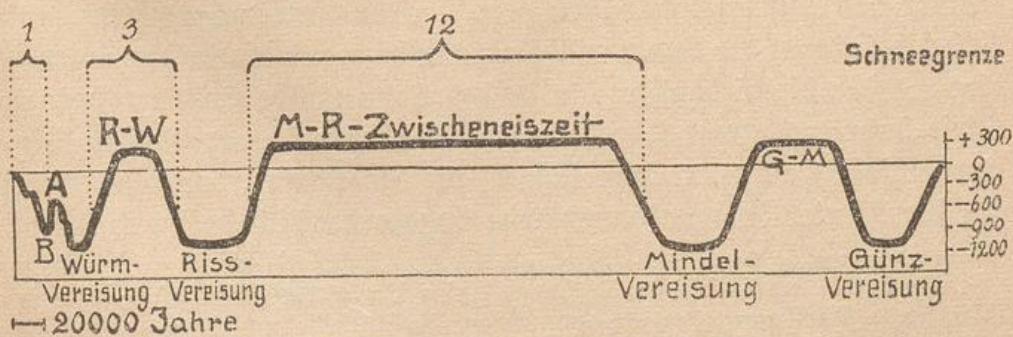


Abb. 5. Klimakurve der Eiszeit nach Penck.
A Acheneschwankung (Rückzug der Gletscher). B Bühlverstoß.

der dunkelsten Geheimnisse der Erdgeschichte aufzuklären. Da gibt es nun Theorien, die nicht nur die Ursache der Eiszeit erklären wollen, sondern die in ihrer mathematischen Durchführung auch gleich den zeitlichen Ablauf der ganzen Erscheinung ergeben. Es sind Theorien, die aus großen astronomischen Vorgängen das Ereignis verständlich zu machen versuchen.

Seit dem großen Schwaben Kepler wissen wir, daß die Erde wie alle Planeten sich in ellipsenförmiger Bahn um die Sonne bewegt; die Sonne steht in einem Brennpunkt der Ellipse. Die Erdachse bildet mit der Ebene der Erdbahn einen Winkel von $66\frac{1}{2}^{\circ}$, und mit parallel bleibender Lage seiner Umdrehungsachse beschreibt unser Weltkörper seinen Umlauf um die Sonne, die ihn streng und fest nach den Gesetzen der Massenanziehung in seiner Bahn erhält. Nun bleibt aber die Gestalt der Erdbahn nicht ewig dieselbe; sie verändert sich in langen, aber messbaren Zeiträumen. Langsam nimmt die Exzentrizität der Bahn zu und ab, d. h. die Bahnellipse wird periodisch flacher und dann wieder mehr kreisförmig. Dabei dreht sich die große Achse der Ellipse in der Ebene der Erdbahn, und schließlich bleibt auch die Lage der Erdachse nicht dauernd sich selbst parallel, die Erde führt vielmehr in einer Periode von 26 000 Jahren die sogenannte Präzessionsbewegung aus, die darauf zurückzuführen ist, daß die Anziehungskraft der Sonne den Äquatorwulst der Erde in die Bahnebene hereinziehen versucht, diese aber als „Kreisel“ mit ihrer Umdrehungsachse ausweicht.*)

Bei den Veränderungen in der Gestalt der Erdbahn setzt nun eine Theorie ein, die von Troll begründet wurde. Er führt dabei ungefähr folgenden Gedankengang durch: Im Maximum der Exzentrizität, das heißt zu der Zeit, in der die Bahnellipse am stärksten von der Kreisform abweicht, besteht ein großer Unterschied in der Dauer der Jahreszeiten. Nach dem zweiten Keplerschen Gesetz muß sich die Erde in der Sonnen Nähe rascher bewegen als in der Sonnenferne. Für die Erdhälfte, die in der Sonnen Nähe Sommer hat, ist diese Jahreszeit zwar sehr heiß, sie eilt aber rasch vorbei; das Winterhalbjahr dauert 36 Tage länger als das Sommerhalbjahr. Dabei ist der Winter in der Sonnenferne außerordentlich kalt und streng.

*) Es ist natürlich im Rahmen dieses Buches "nicht möglich, eine erschöpfende Darlegung der astronomischen Verhältnisse zu geben. Wer sich eingehender für diese Fragen interessiert, sei auf Böllsche „Eiszeit und Klimawechsel“ hingewiesen.

Gegenwärtig befinden wir uns in einer Periode schwacher Exzentrizität, die Erdbahn ist beinahe kreisförmig, und Winter- und Sommerhalbjahr unterscheiden sich daher nur um acht Tage. Der Wechsel der Exzentrizität vollzieht sich in einer Periode von mehreren hunderttausend Jahren. Nun lehrt Troll: Ein Maximum der Exzentrizität hat für die Erde jedesmal eine Eiszeit zur Folge. In dem langen, kalten Winter, den diese Periode für eine Halbkugel mit sich bringt, sammelt sich so viel Schnee und Eis an, daß auch der folgende kurze und heiße Sommer sie nicht zum Verschwinden bringen kann. Im nächsten Jahr verstärkt sich noch diese Wirkung, die Jahr für Jahr weiter zunimmt und schließlich zur Vereisung führt. Währenddessen hat zwar die andere Erdhälfte recht günstige Verhältnisse: kurze, warme Winter und lange, kühle Sommer. Aber in der zweiten Hälfte der Präzessionsperiode, nach 10 500 Jahren,* beginnt für sie die ungünstige Wärmeverteilung, während die erste Halbkugel sich auch in der für sie günstigen Zeit nicht von der angefangenen Vereisung erholen kann. Erst wenn die Erdbahn wieder mehr kreisförmig wird, geht die Vereisung zurück und verschwindet schließlich ganz. Ein Maximum der Exzentrizität mit seinen großen Gegensätzen in der Dauer der Jahreszeiten hat also eine Eiszeit zur Folge, das Minimum mit der gleichmäßigen Verteilung der Wärme eine Zwischeneiszeit. Die Periode, in der der Wechsel vor sich geht, läßt sich berechnen; die vorletzte Eiszeit müßte nach Troll in den Jahren 980 000—720 000, die letzte in den Jahren 240 000 bis 80 000 vor unserer Zeitrechnung gewesen sein.

Das sind die Grundgedanken der Trollschen Theorie; sie ist geistreich und scharfsinnig, aber leider nicht zu halten. Wenn sie richtig wäre, so müßten ja in der ganzen Erdgeschichte regelmäßig Eiszeiten und Zwischeneiszeiten einander ablösen. Nun hat es wohl schon in früheren Perioden der Erdgeschichte Eiszeiten gegeben; die letzte große Eiszeit aber setzt nach einer langen Periode mit warmem, ja heißem Klima beinahe unvermittelt mit ihrer Kälte ein. Kein Geologe wird außerdem die Jahreszahlen, die Troll errechnet, für richtig halten können; das werden uns spätere Ausführungen zur Genüge beweisen. Es kann mit aller Bestimmtheit gesagt werden, daß das Ende der letzten Eiszeit nicht 80 000 Jahre, sondern nur wenig mehr als 10 000 Jahre hinter der Gegenwart zurück-

*) Infolge der Verschiebung des Punkts der Sonnennähe verkürzt sich die Periode der klimatischen Einwirkung von 26000 auf 21000 Jahre.

liegt. Die klimatischen Grundlagen der Theorie sind sogar so unsicher, daß neuerdings ein Forscher (Hildebrand) beweisen wollte, daß die Eiszeit in das Minimum der Exzentrizität fallen müsse! Schließlich hat Troll noch eine Reihe von meteorologischen Faktoren unberücksichtigt gelassen, die von Pilgrim in einer genauen mathematischen Nachprüfung der Theorie sorgfältig in die Rechnung eingestellt wurden. Aber auch sie vermochte die schweren Bedenken gegen die ganze Theorie nicht zu beheben; unser Urteil kann nur das eine sein, daß für die Gewinnung genauer Alterszahlen die astronomischen Theorien z. B. ausscheiden müssen. Wenn wir trotzdem die Trollsche Theorie in den Kreis unserer Betrachtungen gezogen haben, so hat das seinen Grund darin, daß sie ein wunderschönes Beispiel für eine Zeitmessung nach dem Prinzip der Pendeluhr darstellt. Wie das Pendel unter der Einwirkung der Schwerkraft rhythmisch hin und her schwingt, so verändert sich unter dem Einfluß derselben zwischen den Weltkörpern wirkenden Anziehungskraft die Bahn unserer Erde. Es ist ein geheimnisvoll großartiges Bild, wie die Bahnellipse unseres Gestirns nicht fest und starr im Weltraum liegt, sondern wie sie pulsiert, sich abflacht und wieder rundet, wie die Erdachse nicht ständig auf denselben Punkt des Fixsternhimmels weist, sondern langsam und gemessen als Kreiselachse ausweicht und in der Periode von 26 000 Jahren ihre Präzessionsbewegung ausführt. Es ist tatsächlich der Pendelschlag der Weltuhr, der sich hier vor unserem Geistesauge vollzieht: Rhythmische Bewegung unter dem Zwange der Schwerkraft. Aber leider ist unsere Weltuhr recht unvollkommen. Die irdische Pendeluhr besitzt außer dem schwingenden Zeitmesser ein Zählwerk, das mit kunstvoll ineinandergefügten Rädern die Zahl der Schwingungen auf dem Zifferblatt sichtbar in die Erscheinung treten läßt. Unsere Weltpendeluhr schlägt wohl, aber ob und wie sie zählt, das ist uns noch ein Rätsel. Wohl konnte der Mensch vermuten, in den rhythmisch sich folgenden Eiszeiten ihre Schläge zu erkennen. Genauere Überlegung und Nachprüfung läßt uns jedoch diese Annahme wieder verwerfen. Vielleicht ist auch der Einfluß jener astronomischen Vorgänge viel zu geringfügig, um sich deutlich sichtbar in Erscheinungen der Erdoberfläche auszuwirken. Wir gehen daher von den weltumfassenden Theorien über die Eiszeit zur geologischen Einzelforschung über, die aus der peinlich genauen Untersuchung der Erdrinde ihre Schlüsse über die Dauer geologischer Zeiträume zu ziehen versucht.

Während der letzten Eiszeit lag die skandinavische Halbinsel ganz unter einem riesigen Eisschild verborgen, der vom Kamm des Gebirges aus bis weit nach England, Deutschland und Russland hinein sich ausgebreitet hatte und der mit dem Wärmerwerden des Klimas langsam wieder abschmolz, sich auf seinen Ausgangspunkt, die Eisscheide, zurückzog und schließlich ganz verschwand. Einem schwedischen Geologen, de Geer, fiel schon 1878 auf, daß fast das ganze Gebiet der früheren Vereisung zuerst von einem Ton bedeckt ist, der ganz regelmäßig gebänderte Schichtung aufweist. Die Frage war: Wie sind diese Bändertone entstanden, und wie erklärt sich ihre Schichtung? Die Schichten der Tone sind vollständig ungestört, der Gletscher konnte also nicht mehr über sie hinweggegangen sein. Mannigfache Untersuchungen machten es allmählich zur Gewißheit, daß sie im Zusammenhang mit dem abschmelzenden Eis in einem Meer zum Niederschlag gekommen waren.

Als die Eisdecke abschmolz, lag das Land noch unter dem Meeresspiegel, das Stirnende des Gletschers ragte ins Meer hinein (Abb. 6); auf der Oberfläche des Eises sank das Schmelzwasser in Spalten und Rissen in die Tiefe, bahnte sich unterhalb des Gletschers seinen Weg zum Eisrand und führte dabei die leichter ausschwemmabaren Bestandteile der Grundmoräne, Ton und Sand, mit sich. Wo nun dieser Schmelzwasserstrom unter dem Eis hervor ins Meer mündete, da riß er den Sand noch eine kurze Strecke mit sich, um ihn dann liegen zu lassen; die feineren Tonbestandteile wurden erst weiter draußen abgelagert. Im Winter bildeten sich im allgemeinen infolge der geringeren Menge des Schmelzwassers feinkörnige, hauptsächlich tonige Niederschläge, die durch organische Beimengungen dunklere Färbung annahmen, im Frühjahr und Sommer, wo die stärksten Wassermengen arbeiteten, waren die Niederschläge sandiger und von heller Farbe. Im nächsten Jahr kam



Abb. 6. Das Abschmelzen des Eises in Skandinavien. Das Stirnende des Gletschers ragt noch in das „Holdiameer“.

Nach de Geer aus Kanter, Lehrbuch der Geologie.

im Wechsel der Jahreszeiten eine weitere Schicht Ton und Sand zur Ablagerung, die aber infolge des Zurückweichens des Gletschers nach Norden so viel weiter nördlich anfiel, als der Gletscher im Lauf des Jahres zurückgewichen war und ebensoviel weiter nördlich auch wieder aufhörte (vgl. Abb. 7).

Jahr für Jahr bildete sich also eine neue Schicht; alle Schichten, abwechselnd aus dunklen und helleren Lagen von Ton und Sand bestehend, mußten sich dachziegelförmig übereinander lagern, jede folgende weiter im Norden beginnend. Die wunderbar deutlich ausgeprägten Schichten der Bändertone hängen also mit der Periode des Jahres zusammen, sie stellen nichts anderes als *Jahresringe* dar.

Nun handelte es sich aber noch darum, die Zahl all dieser Jahresschichten, die über ganz Schweden weg sich ausbreiteten, zu

N

S

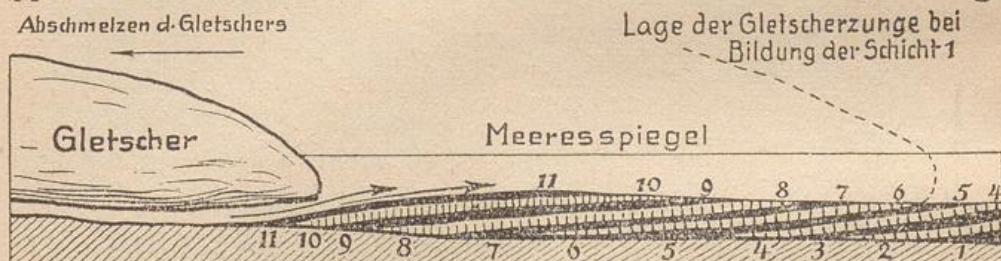
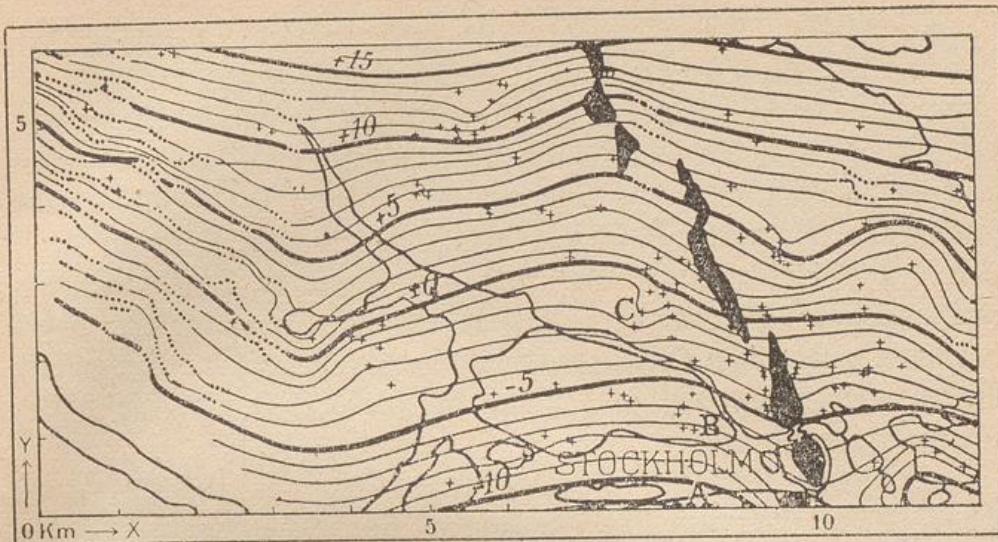


Abb. 7. Bildung der Bändertone.

bestimmen; damit mußte man die Frage beantworten können, wie lange der Gletscher zu ihrer Bildung gebraucht hatte, von der Zeit an, da er noch an der Spitze Schonens stand bis zu dem Augenblick, da sein letzter Rest auf der Eisscheide vollends abschmolz. Es wirkte also die Möglichkeit, durch die Zählung der Schichten die Zahl der Jahre zu bestimmen, die der Gletscher zum Zurückweichen von Schonen bis zur Eisscheide nötig gehabt hatte. Das war keine leichte Aufgabe, denn es handelte sich ja um Schichten, die nirgends zusammenhängend, sondern immer nur an einzelnen Punkten aufgeschlossen waren. Man hätte daran denken können, von Süden nach Norden einen großen Einschnitt herzustellen, und damit nach Art des Bildes 6 einen zusammenhängenden Aufschluß in den Bänderten zu schaffen, längs dessen man die Zahl der Schichten in der schönen dachziegelartigen Überlagerung leicht hätte feststellen können. Daß dies ein ungeheuer kostspieliges Riesenwerk hätte sein müssen, leuchtet ohne weiteres ein. De Geer fand einen ein-



Wintermoränen Eisrandlagen in untersuchte Bänder-
jährlichen Abständen ionprofile
Abb. 8. Zurückweichen des Eises in der Gegend von Stockholm. Nach de Geer.

facheren Weg. In zahlreichen einzelnen Auffällen, in Tongruben, Ziegeleien, Eisenbahneinschnitten wurde von ihm und seinen Schülern, die er sich zur Mitarbeit heranzog, in den Jahren 1905 und 1906 die Mächtigkeit der einzelnen Schichten genau mit dem Meß-

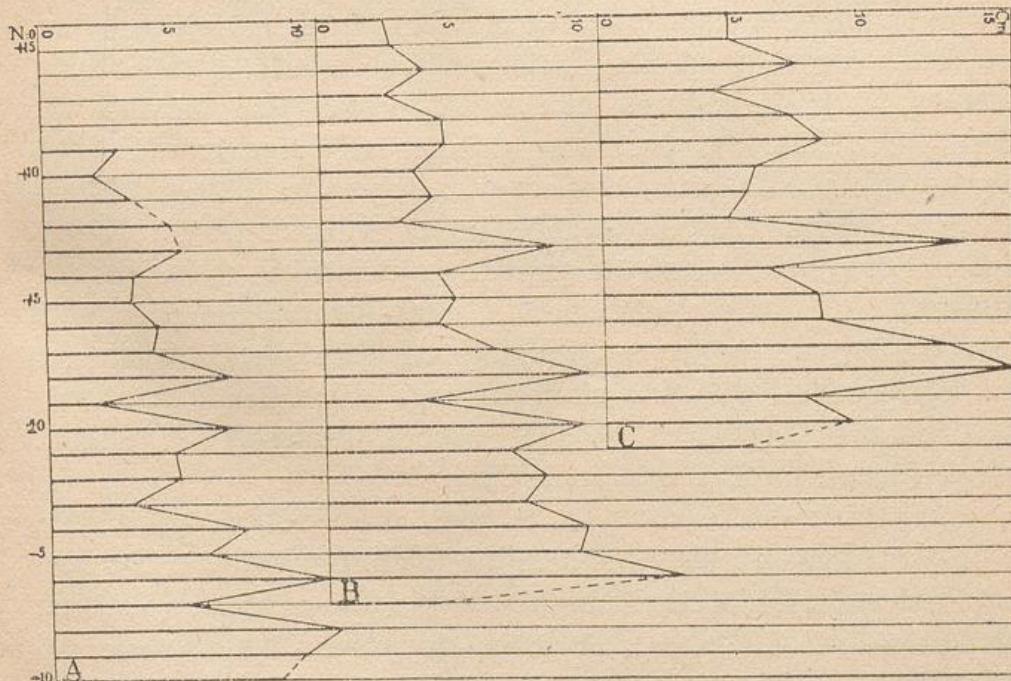


Abb. 9. Mächtigkeiten der Bändertonschichten an den Punkten A, B und C der Karte Abb. 8.
Nach de Geer.

band gemessen. Es zeigte sich bald in benachbarten Aufschlüssen, daß die Mächtigkeitsverhältnisse aufeinanderfolgender Schichten in allen Profilen sich gleich blieben. Das ist auch leicht verständlich und erklärbar, denn das eine Jahr brachte mehr Wasser und damit auch mehr Sand und Ton mit als das andere. Die Abb. 8 und 9 sollen das Verfahren de Geers erklären. In den Punkten A, B und C der Karte wurde die Dicke der einzelnen Tonschichten gemessen, die Mächtigkeiten wurden in einzelnen übereinander angeordneten wagrechten Linien graphisch dargestellt und die Endpunkte miteinander verbunden, so daß sich für die drei Punkte die Bilder Nr. 9 ergaben.

Es zeigte sich, daß die Schichten 1—19 des Punktes B in ihren Mächtigkeitsverhältnissen genau den Schichten 4—22 des Punktes A entsprachen; diese Schichten waren also in gleichen Jahren gebildet worden und mußten einander gleichgestellt werden. Im Profil B fehlten die drei untersten Schichten des Profils A, das Eis hatte somit zum Zurückweichen von A nach B den Zeitraum von drei Jahren gebraucht. Ebenso entsprachen die Schichten 1—18 des Profils C deutlich den Schichten 7—24 des Profils B, es fehlten also im Profil C die sechs untersten Schichten von B; das Eis hatte somit sechs Jahre zum Rückzug von B nach C gebraucht. Durch Aufnahmen einer größeren Anzahl von Schichtprofilen konnte auf diese Weise genau das Zurückweichen des Gletschers bestimmt werden, und so entstand das Kärtchen aus der Gegend von Stockholm (Abb. 8), das die aufeinander folgenden Eisrandlagen für einen Zeitraum von etwa 25 Jahren in Kurven darstellt. Dabei ergab sich noch ein weiteres interessantes Ergebnis: Es fanden mit dieser Aufnahme die zahlreichen kleinen, in Abständen von 100—200 m parallel hintereinander angeordneten Moränenrücken ihre Erklärung; sie zeigen gleichfalls das jährliche Zurückweichen des Gletschers an und sind als sogenannte „Wintermoränen“ in der kalten Jahreszeit gebildet worden, während der Eisrand einige Monate an Ort und Stelle blieb.

Auf diese Weise war es möglich, die Schichten zu zählen, ohne große und kostspielige Einschnitte schaffen zu müssen. De Geer untersuchte die Bändertone längs mehrerer Linien von Schonen bis zur Eisscheide. Es ist ja nicht nötig, die ganze Zählung einer einzigen Linie entlang vorzunehmen, doch muß jedesmal eine neue Linie wieder in gleicher Höhe beginnen; das Bild 10 gibt die von

ihm untersuchten Linien an. Seine Ergebnisse bei der Zählung der Schichten und der Eintragung der Ergebnisse in die Karte waren folgende: im Süden Schwedens, in Schonen, wich der Gletscher im Jahr um 50 m zurück, etwas weiter nördlich um 100 m, in der Gegend des Wener- und Wettersees erfolgte eine Pause im Zurückweichen. In dieser Stillstandszeit, die jedoch nur wenige Jahrhunderte dauerte, häufte der Gletscher den Gürtel der fennoskandinischen Endmoränen auf, der von Kristiania an quer durch Mittelschweden hindurch zu verfolgen ist und jenseits der Ostsee in Finnland seine Fortsetzung findet. Die Zeit des Rückzugs von Schonen bis zu diesen Moränen, die gotiglaziale Epoche, umfasste einen Zeitraum von 3000 Jahren. In der folgenden finnoglazialen Epoche ging der Rückzug wesentlich schneller vor sich; im Jahr betrug er 100 bis 300 m, denn der verhältnismäßig geringe Eisrest, der noch übrig geblieben war, schmolz vollends rasch zusammen. So brauchte der Gletscher zu seinem Rückzug von den fennoskandinischen Endmoränen bis zur Eisscheide, also bis zu seinem völligen Verschwinden, nur noch 2000 Jahre. Für den ganzen Rückzug von Schonen bis zur Eisscheide war demnach ein Zeitraum von 5000 Jahren nötig.

Diese Bestimmung der Zeitdauer eines genau umschriebenen geologischen Vorgangs bedeutet einen außerordentlichen Fortschritt. Hier haben wir es nicht mit einer von unsicherer und zweifelhaften Voraussetzungen ausgehenden Berechnung zu tun, sondern es handelt sich um ein einfaches Abzählen der Spuren, die der Wechsel

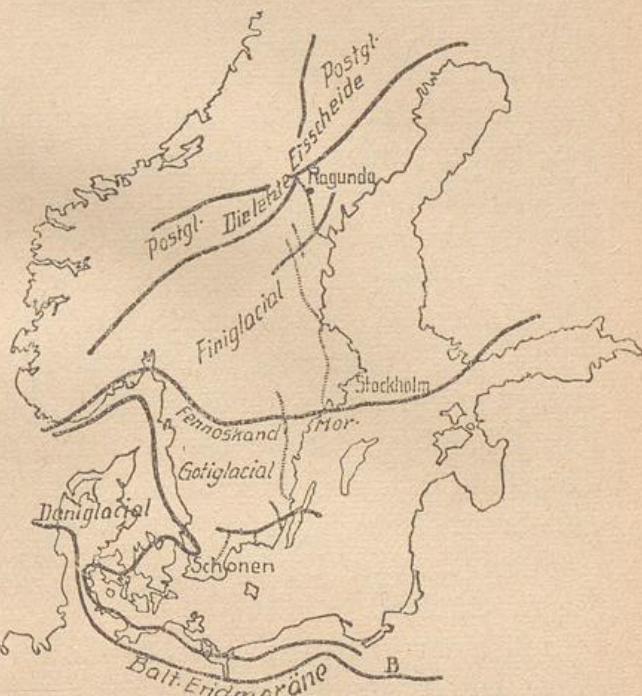


Abb. 10. Zurückweichen des Eises in Skandinavien.
Längs der punktierten Linien erfolgte die Zählung
der Bändertonschichten durch de Geer.

der Jahreszeiten sichtbar hinterlassen hat. So besitzt das Ergebnis de Geers die höchst mögliche Zuverlässigkeit und Sicherheit, die wir von einer geologischen Zeitmessung erwarten können; die Schönheit und Eleganz dieser Methode steht in ihrer Art einzig da. Nachprüfungen ihrer Ergebnisse in Finnland, wo dieselben geologischen Verhältnisse sind, haben zu einer vollkommenen Bestätigung geführt.

Eine Reihe von Wünschen bleibt aber doch noch unerfüllt. Zunächst müssen wir feststellen, daß es nur ein verhältnismäßig kleiner Zeitraum ist, den die Zeitmessung de Geers umfaßt. Daran können wir aber leider nichts ändern. Zu bedauern ist aber auch, daß sie nicht unmittelbar an die Jetztzeit anschließt. Wir wissen wohl, daß das Eis zu seinem Abschmelzen von Südschweden bis zur Eisscheide 5000 Jahre gebraucht hat, wir wissen aber nicht, wieviel Jahre seitdem wieder verstrichen sind. De Geer hat zwar versucht, auch diese Zeit zu bestimmen; er benützte dazu eine ganz ähnliche Methode wie früher für das Zurückweichen des Eises. In dem See Ragnunda, der nicht weit von der Eisscheide entfernt liegt und 1796 trocken gelegt wurde, fand er in dem alten Seeboden eine ganz ähnliche Schichtung, wie sie von den Eismeertonen beschrieben wurde. Es gelang ihm, auch hier die Zahl der Schichten zu zählen; er fand annähernd 7000 Schichten, die einen Zeitraum von 7000 Jahren vom vollständigen Verschwinden des Eises bis zum Jahr 1796 anzeigen würden.

Seit dem Zeitpunkt, da das Eis an der Südspitze von Schonen stand, wären also bis heute rund 12000 Jahre verflossen. Während nun aber die Zahl von 5000 Jahren für die Zeit des Eisrückzugs als eine endgültig und sicher bestimmte Größe gelten kann, sieht auch de Geer die zweite Zahl nicht als ebenso sicher an. Mit ziemlicher Wahrscheinlichkeit kann gesagt werden, daß die Zeit seit dem Verschwinden der Gletscher etwas größer sein muß; im Ostseegebiet hat sich seither eine ganze Reihe von geologischen Ereignissen abgespielt, für die ein zeitlicher Rahmen von 7000 Jahren nicht ausreicht. Aus dem kalten Eismeer, in das die Gletscher ihre Stirn getaucht haben, wurde zuerst durch Hebung des Landes ein Binnensee, der Ancylussee (Abb. 11). Nach dieser Zeit senkte sich das Land wieder und gestattete dem Meer von der Nordsee her erneut den Zutritt; der Geologe nennt diese Periode die Litorinazeit. In interessanter Weise hat ein deutscher Forscher, Heil-

hack, aus den Dünenbildungen an der Swinepforte bei Swinemünde die seit der Litorinasenkung verflossene Zeit berechnet. Er fand dort eine Zahl von etwa 200 kurzen Dünen hintereinander angeordnet, die erst nach der Mitte der Litorinazeit entstanden sein können. Durch Vergleich alter schwedischer Karten aus dem 17. Jahrhundert mit dem heutigen Zustand stellte er fest, daß seit dem Jahr 1700 sechs Dünenketten hinzugewachsen seien, daß also ein solcher Dünenzug 35 Jahre zu seiner Entstehung braucht. Seit der Litorinasenkung wären also 7000 Jahre verstrichen. Für die vorausgehende Ancyluszeit müssen dann mindestens 4000 Jahre angesetzt werden, und wir bekämen so für die Zeit seit dem Abschmelzen der Gletscher $7000 + 4000 = 11\,000$ Jahre.

Eine solche Zahl wird gegenwärtig von der Mehrzahl der Forscher (z. B. Werth, Olbricht, Keilhack) für wahrscheinlicher gehalten als die 7000 Jahre de Geers. Vor 16 000 Jahren wäre demnach das Eis an der Südspitze Schonens gestanden.

Nachdem wir so den unmittelbaren Anschluß an die Gegenwart gefunden haben, soll es vom Zeitpunkt, da das Eis in Schonen stand, einen Schritt weiter in die geologische Vergangenheit zurückgehen.

Die nächste Frage muß nun sein: wie lange brauchte das Eis zum Zurückweichen von dem großen baltischen Endmoränenrücken bis Südschweden? Dieser riesige Endmoränenzug (vgl. Abb. 5) bedeutet sicher einen größeren Einschnitt in der Geschichte der letzten Eiszeit; die meisten Forscher nehmen an, daß er dem Bühvorstoß der alpinen Gletscher zeitlich gleichzusetzen sei.

Es scheint, daß das Eis beim Abschmelzen vom Höhepunkt der Würmeiszeit seine Rückwärtsbewegung durch einen erheblichen Vorstoß wieder unterbrochen hat. Dieser Vorstoß prägt sich, da der Eisrand dann längere Zeit in seiner Lage verweilte, in ganz besonders starken Moränenzügen aus. Nun dürfen wir, um das Zurückweichen der Gletscher vom baltischen Höhenrücken bis

Dr. Loize, Jahreszahlen der Erdgeschichte.

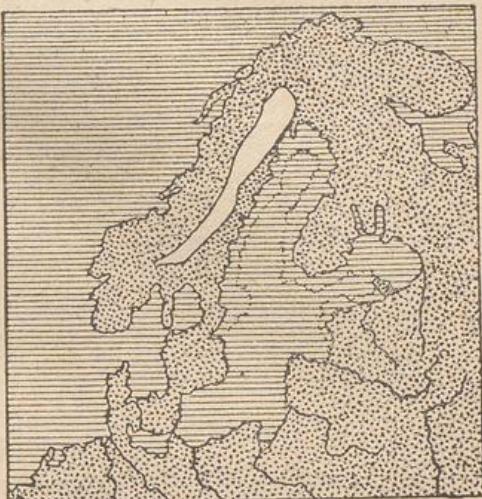


Abb. 11. Beginn der Ancyluszeit. Das Eis kurz vor dem endgültigen Abschmelzen.
Nach de Geer aus Kanfer.

Südschweden zu berechnen, nicht einfach die Rückzugsgeschwindigkeit einsetzen, die von der Geer in Südschweden nachgewiesen wurde (50 m in einem Jahr). Das Eis schmolz zu einem früheren Zeitpunkt, als der ganze Eisschild noch viel größer war, ohne Zweifel viel langsamer ab als später; dies zeigte sich ja auch mit vollkommener Deutlichkeit für den Rückzug des Eises in Schweden. Für seinen Rückzug vom baltischen Höhenrücken bis Schonen können daher etwa 4000 Jahre angesetzt werden; es wären also 20 000 Jahre verflossen, seitdem das Eis in Schleswig, Mecklenburg, Pommern und Masuren stand. Das Mindestmaß für diese Zeit mag, wenn wir statt der 11 000 Jahre seit dem vollständigen Verschwinden der Gletscher nur die 7000 Jahre der Geers einsetzen und für das Zurückweichen vom baltischen Höhenrücken bis Schonen nur 3000 Jahre annehmen, im ganzen $7000 + 5000 + 3000 = 15\,000$ Jahre betragen; das Höchstmaß beträgt etwa 25 000 Jahre. — Diese Abweichungen vom Mittelwert sind noch erträglich.

Je weiter es aber in die Vergangenheit zurückgeht, um

so mehr weichen die Ansichten der Forscher voneinander ab. Während der eine zum Höhepunkt der letzten Eiszeit (der Würmeiszeit) nur noch 2000—4000 Jahre zurückrechnet, kommt der andere bereits auf weitere 10 000—20 000 Jahre. Die geologischen Vorgänge sind eben noch keineswegs bis in alle Einzelheiten geklärt. Ehe wir weiter zurückschreiten, seien auch die Verhältnisse in anderen Vereisungsgebieten näher ins Auge gefaßt.

Auch im Gebiet der Alpen wurde eine Reihe von Versuchen unternommen, Zahlen für die seit der letzten Vergletscherung verflossene Zeit zu gewinnen. Am bekanntesten ist die Rechnung des Schweizer Geologen Heim geworden, der von Untersuchungen am Vierwaldstätter See ausging. Im Gebiet dieses Sees sind fünf hintereinanderliegende Moränenzüge zu beobachten, die alle dem Bühlstadium zugerechnet werden; der äußerste liegt unterhalb des Sees, die vier andern sind durch Lotungen auf dem Seeboden deutlich nachweisbar (Abb. 12). Der innerste und östlichste Moränen-

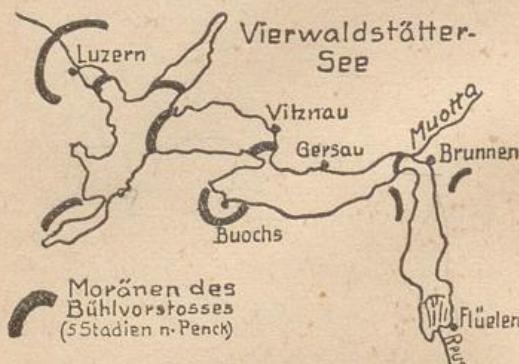


Abb. 12.

rücken schließt das Gebiet des Urner Sees ab, in dem zwei Flüsse ihre Schlamm- und Geröllmassen ablagern: die größere Reuß, die bei Flüelen mündet und die kleinere Muota, die aus dem Kanton Schwyz kommt. Als der Gletscher noch durch das heutige Seebecken strömte, muß er es vollkommen ausgeräumt haben. Seit seinem Rückzug haben aber Reuß und Muota begonnen, jedes ein Delta in den See hineinzubauen und ihn so allmählich auszufüllen. Unter bestimmten Voraussetzungen läßt sich der Kubikinhalt der Deltabildung berechnen. Da auch die jährlich durch die beiden Flüsse in den See geführte Schlamm- und Geröllmasse einigermaßen bekannt ist, so folgt daraus die Zeit, die zur Bildung der Aufschüttungen nötig war. Heim geht sehr vorsichtig in seiner Berechnung vor und erhält 10 000—50 000 Jahre; am wahrscheinlichsten erscheint ihm die Zahl von 16 000 Jahren. So viel Jahre wären also verflossen, seit sich der große Reußgletscher nach dem Bühlvorstoß zurückzog und das Gebiet des Vierwaldstätter Sees freigab.



Abb. 13. Thuner und Brienzer See.

Eine ganz ähnliche Berechnung führte Steck am Thuner und Brienzer See aus; der letztere wurde zur selben Zeit wie der Vierwaldstätter See vom Gletscher verlassen. In den Brienzer See ergießt sich die Aare, in den Thuner See die Kander, die seitlich einmündende Lütschine hat bei Interlaken in den früher einheitlichen See ein Delta hineingebaut, das ihn beim Größerwerden schließlich in zwei einzelne Seebecken trennte (Abb. 13). Steck erhielt für die Zeit, welche die Lütschine zur Aufschüttung ihres Deltas nötig hatte, 20 000 Jahre, für die Bildung des Aaredeltas im Brienzer See 15 000 Jahre.

Von anderen Voraussetzungen ging Nüesch aus, der die Ablagerungen einer Höhle, des Schweizerbildes, untersuchte. Die Höhle wurde erst nach dem Bühlstadium vom Gletscher freigegeben und war von da an eine Behausung des Steinzeitmenschen. In den Schichten, die sich im Lauf der Jahrtausende auf dem Boden der Höhle gebildet hatten, konnte Nüesch durch Funde von Werkzeugen eine Kulturentwicklung der Bewohner von der älteren

Steinzeit bis zur Metallzeit nachweisen. Durch den Vergleich der Mächtigkeit der alten Kulturschichten mit der obersten Metallzeitschicht, für deren Bildungszeit 4000 Jahre angenommen werden können, fand er für die ältesten Schichten ein Alter von 24 000 Jahren.

Vergleicht man alle drei Altersberechnungen aus dem Gebiet der alpinen Vergletscherung, so zeigt sich eine nicht unbefriedigende Übereinstimmung: Die Zeit, als sich die Gletscher nach dem Bühlvorstoß in die Alpentäler zurückgezogen, liegt rund 20 000 Jahre zurück. Dieses Ergebnis stimmt auch nicht schlecht mit dem Alter zusammen, das für die baltischen Endmoränen berechnet wurde; sie sind ja vermutlich dem Bühlvorstoß gleichzusezzen.

Wir wenden uns jetzt noch Nordamerika, dem dritten großen Vereisungsgebiet, zu, das, ähnlich wie Nordeuropa, unter einer ungeheuren Decke von Inlandeis begraben war. Beim Rückzug des Eises, der zur selben Zeit erfolgt sein muß wie in Europa, wurde allmählich das Gebiet der heutigen großen Seen (Abb. 14) eisfrei; ihr Wasser mußte dem Meere zu abschießen. Zwischen dem Erie- und dem tiefer gelegenen Ontariosee bildete sich ein Fluß, der über die dazwischenliegende Geländestufe hinabstürzte. Das war der Anfang der Niagarafälle. Durch die ausstrudelnde Wirkung des stürzenden Wassers wurden am Grund des Falls die weicheren Schichten herausgewaschen, so daß die härteren nachstürzen mußten (Abb. 15). Auf diese Weise schnitt sich der Fall immer weiter rückwärts in die Gesteinstafel ein, und auch heute noch weicht er immer mehr in der Richtung gegen den Eriese zurück. Er hat im Laufe der Zeit eine 11,3 km lange Schlucht eingenagt, die in ihren verschiedenen Teilen die Geschichte ihrer Entstehung noch deutlich erkennen läßt (Abb. 16). Der Fall war anfangs nur 11 m hoch. Da der Fluß damals nur den Eriese entwässerte (die drei andern Seen hatten noch ihren besonderen Abfluß zum Meer), so betrug seine Wassermenge nur 15 % der heutigen. Die Schlucht war eng, das Zurückweichen erfolgte langsam und betrug nur etwa 12 cm im Jahr. Nach wechselnden geologischen Ereignissen kam schließlich das Wasser aller fünf Seen durch den Niagara zum Abfluß, der gegenwärtig in zwei Fällen, dem schwächeren amerikanischen und dem Hufeisenfall, 50 m tief in die Schlucht stürzt, ein urgewaltiges Naturschauspiel bietend. In dem jüngsten Teil der Schlucht wurde das jähr-

liche Zurückweichen des Falls zu 1,37 m berechnet. Eine Reihe von Geologen (Spencer, Taylor, Gilbert) hat auf Grund aller Einzelheiten im Ablauf der geologischen Ereignisse die Zeit zu berechnen versucht, die der Niagara zur Eintiefung der ganzen Schlucht benötigte; sie erhalten Zahlen, die sich zwischen 20 000



Abb. 14.

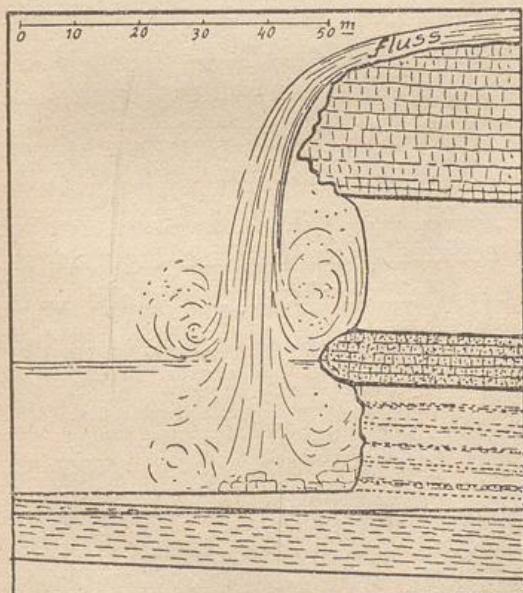


Abb. 15. Ausstrudelnde Wirkung des Wassers der Niagarafälle.

und 40 000 Jahren, im Mittel um 30 000 Jahre bewegen. So lange schon muß demnach die Gegend des Erie- und Ontariosees vom Eise verlassen sein.

Die Zahlen stimmen ungefähr mit dem Ergebnis der Berechnungen überein, die wir für die Zeit seit dem Abschmelzen der Gletscher im europäischen Vereisungsgebiet ausgeführt haben; aller-

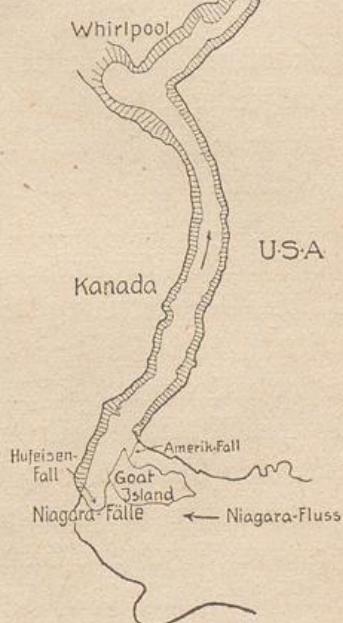


Abb. 16. Schlucht des Niagara-
flusses.

dings scheint sich ein etwas höherer Wert zu ergeben, als wir ihn für das Alter der baltischen Endmoränen und des Bühlvorstoßes gewonnen haben; dies erklärt sich vielleicht so, daß die Gegend des Erie- und Ontariosees schon vor der Bühlzeit vom Gletscher verlassen wurde.

Durch all diese Berechnungen, die sich bis jetzt nur auf die Spät- und Nachheiszeit bezogen haben, werden wir aber ganz von selber weitergeführt zur nächsten Frage: Wie erhalten wir Alterszahlen für die ganze Eiszeit? Je weiter wir zurückgehen, um so schwieriger wird unsere Aufgabe, und es ist leicht verständlich, daß es so sein muß: Das uns zeitlich Nächstliegende übersehen wir mit all seinen Einzelheiten am besten und klarsten. Je weiter wir uns von der Gegenwart entfernen, um so lückenhafter werden unsere Kenntnisse, um so stärker sind die Ablagerungen umgewandelt oder gar teilweise schon wieder abgetragen. Penck, der Erforscher der „Alpen im Eiszeitalter“, geht bei der Berechnung folgendermaßen vor: Er weist darauf hin, daß die Flüsse in der Nachheiszeit und in den verschiedenen Zwischeneiszeiten eine riesige Arbeit geleistet haben. Sie haben die Moränen zum großen Teil aufgearbeitet und mächtige Schottermassen aufgeschüttet, die als Deckenschotter und Terrassenschotter dem Geologen bekannt sind. In den verschiedenen Zwischeneiszeiten und der Nachheiszeit konnte auch die Verwitterung auf die verschiedenen Eiszeitallagerungen einwirken und sie der Länge der Zeit entsprechend mehr oder weniger tief angreifen. Nach dem Maß der von den Flüssen in der Spät- und Nachheiszeit geleisteten Aufschüttungsarbeit und der Stärke der Verwitterung versucht nun Penck, Verhältniszahlen für die Dauer der verschiedenen Zeiten zu gewinnen. Er kommt zu folgendem Ergebnis: Nimmt man die Zeit seit dem Bühlvorstoß, die wir kurz als Nachheiszeit im weiteren Sinn bezeichnen wollen, als Einheit, so war die Riß-Würm-Zwischeneiszeit etwa dreimal so lang, die Mindel-Riß-Zwischeneiszeit etwa zwölftmal so lang, die Günz-Mindel-Zwischeneiszeit wieder etwa dreimal so lang als die Nachheiszeit. Die Zeittdauer aller Zwischeneiszeiten beträgt somit das 18fache der Nachheiszeit. Gewiß hat sich auch jedesmal das Eis bei seinem Vorstoß einige Zeit auf dem höchsten Stand gehalten. Setzt man für diese eigentlichen Eiszeiten ungefähr das Sechs- bis Achtfache der Nachheiszeit an, so kommt man für die ganze Eiszeit auf das 25fache dieser Zeit. Nun haben wir für die Zeit seit dem

Bühlvorstoß die Zahl von 20 000 Jahren errechnet; wir kommen damit für die Dauer der ganzen Eiszeit auf rund 500 000 Jahre.*). Diese Zahl wird zurzeit von den meisten Forschern für ungefähr richtig gehalten, ob sie nun die nordeuropäischen (W e r t h , O l b r i c h t), die alpinen (P e n c k), oder die nordamerikanischen Eiszeitscheinungen (G r a h a m) untersuchen. Penck, dem wir bisher in der Hauptsache gefolgt sind, ist allerdings eher geneigt, die Zahl noch etwas höher anzunehmen und sie auf $\frac{1}{2}$ —1 Million Jahre zu schätzen.

Leider haben die Alterszahlen für die ganze Eiszeit nicht mehr denselben Grad von Zuverlässigkeit wie die für die Nacheiszeit berechneten. Wenn wir für die Zeit seit der Aufschüttung der baltischen Endmoränen mit gutem Gewissen sagen können, daß sie von den angenommenen 20 000 Jahren nicht mehr als um ein Viertel nach oben oder unten abweichen wird, so schwanken unsere Vorstellungen über die Länge der ganzen Eiszeit schon zwischen viel weiteren Grenzen. Mit recht großer Sicherheit können wir jedoch sagen, daß sie zwischen die Grenzen von 200 000 und 1 000 000 Jahren einzuschließen ist. Das Verfahren, das wir bei diesem Übergang auf die ganze Eiszeit angewandt haben, bezeichnet der Mathematiker als E x t r a p o l a - t i o n . Er versteht darunter den Versuch, von dem bekannten Verlauf einer Kurve zwischen zwei gegebenen Punkten auf ihren Verlauf außerhalb dieses bekannten Teils zu schließen. In derselben Lage ist der Geologe: Von der recht gut bekannten Nacheiszeit ausgehend, schließt er auf den außerhalb dieser Zeit liegenden Verlauf der Eiszeitkurve.

Jede neue Erkenntnis hilft weiter, sie wirft auch Licht auf andere Probleme. Wir wissen jetzt ungefähr, wie lange die Eiszeit gedauert hat, und damit vermögen wir an eine Frage heranzugehen, die den Menschen beschäftigt, seit er Erdgeschichte treibt, und die ihm bis zu ihrer vollständigen Lösung keine Ruhe lassen wird. Es ist die Frage: Wie alt ist der Mensch? Vor wieviel Jahren hat es zum erstenmal Wesen auf der Erde gegeben, die wir menschlich nennen müssen? Kein Wunder, daß den Menschen diese Frage besonders interessiert, ist er doch an ihr nicht nur rein wissenschaftlich, sondern sozusagen persönlich beteiligt. Leider

*) Vergleiche hierzu nochmals die Abb. 4, die auf Grund dieser Annahmen gezeichnet ist. Sie versucht, den ganzen Ablauf der Eiszeit in richtigen Zeitverhältnissen darzustellen.

sind wir aber zurzeit noch weit davon entfernt, die Antwort mit der wünschenswerten Bestimmtheit geben zu können. Um das absolute Alter des Menschengeschlechts zu berechnen, müßten wir zuerst sein relatives geologisches Alter einwandfrei kennen. Wir wissen jedoch nicht einmal, ob der Mensch schon im Tertiär gelebt hat oder ob er erst mit der Eiszeit auftrat. Körperliche Überreste des Menschen sind in Tertiärschichten zwar noch nicht gefunden worden, wohl aber Feuersteine, aus deren Gestalt viele Forscher schließen wollen, daß sie künstlich bearbeitet worden seien. Wären diese „Eolithen“ wirklich absichtlich geformte Werkzeuge und nicht bloße Naturprodukte, so könnte ihre Herstellung nur durch ein vernunftbegabtes, in geistiger Hinsicht also menschenähnliches Wesen erfolgt sein. Über die körperliche Beschaffenheit eines solchen Vorfahren des Menschen können wir nichts aussagen, wenn wir ihn nicht am Ende in einem Fund vor uns haben, der 1911 bei Piltdown in England gemacht wurde. Hier wurden ein Schädelstück und der Teil eines Unterkiefers gefunden, über die zunächst ein heftiger Streit entbrannte, ob sie von einem Lebewesen stammten oder zwei Wesen, der Schädel einem Menschen, der Unterkiefer einem Schimpanse, angehört hätten. Neuerdings vergrößerte sich die Wahrscheinlichkeit sehr stark, daß es sich um die Überreste eines einzigen Wesens handle, welches demnach anatomische Merkmale des Menschen und des Affen in sich vereinigt hätte. Leider läßt sich das geologische Alter der Lagerstätte, in welcher der Eoanthropus Dawsoni (Dawsons „Mensch der Morgenröte“) gefunden wurde, nicht genau bestimmen. Wenn die Vermutung zutrifft, daß die Schichten in den letzten Zeiten des Tertiärs oder auf der Grenze von Tertiär und Eiszeit gebildet worden seien, so hätten wir hier den ältesten Rest eines menschenähnlichen Wesens vor uns; sein Alter könnte auf $\frac{1}{2}$ —1 Million Jahre, vielleicht sogar noch höher, angesetzt werden.

Der älteste ganz sichere Menschenfund stammt von Mauer bei Heidelberg aus Schottern und Sanden einer alten, vom Fluß schon längst verlassenen Neckarschlinge. Leider ist es auch ein kümmerlicher Rest, nur ein Unterkiefer, der aber gut erhalten ist und außerordentlich interessante Merkmale aufweist. Ungeheuer stark und massig, ohne Kinn, muß er einem Wesen gehört haben, das noch recht roh und tierisch ausgesehen haben mag; die Form der Zähne ist jedoch durchaus menschlich. Auch das Alter des Homo Heidelbergensis ist

nicht mit völliger Sicherheit bekannt. Es läßt sich immerhin sagen, daß er der ersten oder zweiten Zwischeneiszeit angehören muß; die übrigen Fossilreste, die in den Sanden gefunden wurden, sprechen für die erste (Günz-Mindel-) Zwischeneiszeit. Das würde dem Menschen von Heidelberg auf alle Fälle ein Alter von mehreren Jahrhunderttausenden sichern. Erst in jüngeren Ablagerungen der Eiszeit werden die Überreste des Menschen häufiger, zugleich auch die Zeugnisse seiner Kunstfertigkeit: Feuersteinwerkzeuge, aus denen wir uns ein Bild der Kulturentwicklung machen können. Nach dem Fortschritt in der Verarbeitung der Feuersteine sind eine Reihe von Kulturstufen aufgestellt worden. Vielleicht war der Heidelberger Mensch Träger der ersten Stufe der älteren Steinzeitkultur; für die späteren Stufen dieser Epoche war es die bekannte Neandertalrasse, von der Überreste aus der letzten Zwischeneiszeit in guter und vollständiger Erhaltung gefunden wurden. Diese Menschenreste haben demnach ein Alter von 50 000—100 000 Jahren.

Gegen das Ende der letzten Eiszeit wurde dann die Neandertalrasse von Menschen abgelöst, die man anatomisch kaum mehr vom heute lebenden Europäer unterscheiden kann. Zusammenfassend können wir also sagen, daß das Auftreten des Menschen nach dem heutigen Stand unserer Kenntnisse ungefähr mit dem Beginn der Eiszeit zusammenfällt; sein Alter wird also rund $\frac{1}{2}$ —1 Million Jahre betragen. Die ersten Stufen der Kulturentwicklung müssen ungeheuer lange Zeiträume umfaßt haben. Die ältere Steinzeit reicht in unseren Gegenden bis ungefähr zum Jahre 10 000 v. Chr., sie hat also gewiß mehrere hunderttausend Jahre gedauert, während die jüngere Steinzeit nur wenige Jahrtausende umfaßt und die Metallzeit, in der wir jetzt stehen, erst auf ein Alter von etwa 3—4 Jahrtausenden zurückblicken kann. Es sind merkwürdige und unerwartete Verhältnisse, in die wir durch die geologische Zeitmessung einen Einblick gewinnen.

Noch an eine andere Frage können wir nach dem, was wir über den Verlauf der Eiszeit erfahren haben, herantreten. Es ist die Frage: An was für einem Punkt der geologischen Entwicklung stehen wir heute? Haben wir die Eiszeit endgültig hinter uns gelassen und können wir ohne Sorge für kommende Generationen in die Zukunft schauen? Oder sind wir am Ende nur in einer Zwischeneiszeit, der nach einer Reihe von Jahrtausenden wieder eine neue Vereisung folgen wird? Auch zur Beantwortung dieser Frage reichen unsere Kenntnisse nicht aus. Um sie sicher und entscheidend beant-

worten zu können, müßten wir die Ursache der mehrmaligen Vereisung kennen. Wir könnten dann feststellen, ob diese Ursache endgültig oder nur zeitweilig weggefallen ist, und damit die fernere Entwicklung voraussagen. Von einer Einsicht in die Ursachen der Eiszeit sind wir jedoch meilenweit entfernt, und über den zukünftigen Verlauf der Klimakurve können wir höchstens Vermutungen äußern. Da wir das innere Gesetz der Kurve in Abb. 4 nicht kennen, so wissen wir nicht, wie sie in den nächsten Jahrtausenden oder Jahrzehntausenden nach links weiter verlaufen wird. Sie kann auf der heutigen Höhe bleiben oder sogar noch etwas steigen, sie kann sich aber früher oder später auch wieder nach unten senken. Es ist möglich, daß wir über die große Eiszeit endgültig hinweg sind, es ist ebenso denkbar, daß wir in einigen Jahrzehntausenden wieder einer neuen Vereisung unterliegen. Auf alle Fälle aber gibt uns die kurze Zeit seit dem Abschmelzen der Eismassen auf ihren heutigen Stand — es mögen 11 000 Jahre sein — nicht das Recht zu der Behauptung, daß die Gefahr endgültig vorbei sei. Ist ja allein die letzte Zwischeneiszeit nach den Forschungen Pencks dreimal, die vorletzte zwölftmal so lang gewesen wie die Spät- und Nacheiszeit. Die Klimaschwankungen, die wir auch in der Jetztzeit noch beobachten, und die zu einem zeitweiligen Vorrücken oder Zurückweichen der heutigen Gletscher führen, sind zu unbedeutend in ihrer Auswirkung und zeitlichen Dauer, als daß wir daraus irgendwelche Prophezeiungen ableiten könnten. Die Menschheit geht also einer recht unsicheren Zukunft entgegen, und es liegt durchaus im Bereich der Möglichkeit, daß in einigen Jahrtausenden oder Jahrzehntausenden die Gletscher Skandinaviens wieder zu wachsen beginnen, von den Höhen herabfließen, die ganze Halbinsel bedecken, über die Ostsee schreiten und in das blühende norddeutsche Land einbrechen, alles zerstörend und unter starren Eismassen begrabend. Es ist nur gut, daß wir Menschen von heute uns noch keine Sorgen darüber zu machen brauchen.

Nach diesen Betrachtungen soll es aber mutig noch weiter zurückgehen in die geologische Vorzeit. In der Eiszeit fühlt sich der Geologe immer noch ganz nahe der Gegenwart. Ihre Lebewesen sind fast alle heute noch vorhanden, die Tier- und Pflanzenwelt zu Beginn der Eiszeit unterscheidet sich kaum wesentlich von der heutigen. Je weiter wir jedoch zurückschreiten, um so fremdartiger wird die Lebewelt, die wir in versteinerten Überresten vorfinden. Die Methode, mit der wir

auch für frühere Perioden Alterszahlen gewinnen wollen, ist dieselbe, mit der wir von der Nachzeit aus den Übergang auf die ganze Eiszeit vollzogen haben: Wir schätzen das Verhältnis der Zeitdauer verschiedener Perioden ab und kommen dann unter Verwendung der zuerst gefundenen absoluten Zahlen auf ihren zeitlichen Abstand von der Jetztzeit. Diese Art der Altersberechnung soll zunächst für das Tertiär durchgeführt werden. Penck hat einen Weg hierfür angegeben. Er erhält durch Abschätzung der geologischen Arbeit und der Entwicklung der Lebewesen Vergleichszahlen für die Dauer von Eiszeit und Tertiär. Für das Pliozän nimmt er die 3—4fache, für das Miozän die 6—8fache Dauer der Eiszeit an. Wird diese zu $\frac{1}{2}$ Million Jahre angesetzt, so erhalten wir für Miozän und Pliozän die Dauer von $4\frac{1}{2}$ —6 Millionen Jahren. Ohne Zweifel sind Oligozän und Eozän, denen von den Nordamerikanern neuerdings noch ein Paleozän vorausgestellt wird, zusammen mindestens doppelt so lang. Das ganze Tertiär würde demnach einen Zeitraum von $13\frac{1}{2}$ —18 Millionen Jahren umfassen. Dabei wurde jedoch mit einem Mittelwert der Eiszeit gerechnet; setzt man auch die Grenzwerte von 200 000 und 1 000 000 Jahren in die Rechnung ein, so erhält man für das Tertiär Werte zwischen 5 und 36 Millionen Jahren.

Auf andere Weise ging Lyell vor. Um Verhältniszahlen zu finden, untersuchte er, wieviele von den Muschelarten der verschiedenen Schichten des Tertiärs sich bis heute erhalten haben, wieviele dagegen ausgestorben sind. Seit Beginn der Eiszeit sind nur wenige Prozent verschwunden, seit Beginn des Miozäns oder gar des Eozäns dagegen sehr viele. Durch genaue Zählungen der noch lebenden und der ausgestorbenen Formen kam Lyell zu der Annahme, der Beginn des Untermiozäns müsse 20mal so weit zurückliegen als der Beginn der Eiszeit, der Beginn des Eozäns sogar 60mal so weit. Die Dauer des Tertiärs würde also 12—60 Millionen Jahre betragen, der wahrscheinlichste Mittelwert wäre 30 Millionen Jahre.

Ganz ähnlich verfuhr Matthew, ein amerikanischer Säugetierforscher, der die Entwicklung der Pferde zur Gewinnung eines Verhältnismaßstabs benützte. Die Stammesgeschichte des Pferdes ist ja von jeher eines der „Paradepferde“ der Entwicklungslehre gewesen. Aus den versteinerten Überresten lässt sich eine fast lückenlose Reihe verschiedener Formen bilden, die, von einem fünfzehigten Ahnen ausgehend, unter allmählicher Rückbildung der äußeren Zehen und immer stärkerer Ausbildung der mittleren Zehe zum heutigen Pferd führt.

Matthew versuchte nun, die Unterschiede zwischen den einzelnen Formen dieser Entwicklungsreihe in ein zahlenmäßiges Verhältnis zu bringen und kam dabei zu der Aufstellung folgender Tabelle:

Equus caballus	1	Gegenwart
Equus Scotti	10	Beginn der Eiszeit
Hipparion	10	Pliozän
Meryhippus	15	Obermiozän
Parahippus	5	Untermiozän
Miohippus	5	Oberoligozän
Mesohippus	15	Unteroligozän
Epihippus	10	Obereozän
Orohippus	10	Mitteleozän
Eohippus	10	Untereozän.

Wir lesen aus ihr folgendes heraus: der Unterschied zwischen dem heute lebenden Pferd (*Equus caballus*) und dem Pferd, das zu Beginn der Eiszeit lebte (*Equus Scotti*), ist recht gering; er werde = 1 gesetzt. Viel stärker ist *Equus Scotti* von seinem Vorfahren im Pliozän, dem *Hipparion* verschieden. Ihr Unterschied kann der Zahl 10 gleichgesetzt werden; die Entwicklung von *Hipparion* zu *Equus Scotti* muß daher 10mal so lang gedauert haben als die von *Hipparion* zu *Meryhippus*, während dessen Unterschied von *Parahippus* mindestens 15 Einheiten beträgt. Die Zahlen der Tabelle geben also Verhältnisgrößen für die Unterschiede der einzelnen Formen und damit für die Zeitdauer der Einzelentwicklungen. Das Ergebnis ist, daß seit dem Untereozän etwa 80mal so viel Zeit verstrichen ist wie seit dem Beginn der Eiszeit. Das ganze Tertiär (einschließlich des Paleozäns) wäre etwa das 100fache dieser Zeit. Die Einsetzung der Zahlen für die Eiszeit ergibt also eine Dauer des Tertiärs von 20–100 Millionen Jahren, der Mittelwert wäre 50 Millionen Jahre. Nun liegt allerdings der Rechnung die Voraussetzung zugrunde, daß sich die Entwicklung der Pferde während des ganzen Tertiärs in demselben Tempo vollzogen habe wie seit dem Beginn der Eiszeit, daß also die „biologische Uhr“, wie wir sie heißen wollen, einen gleichmäßigen Gang aufweise. Das ist gewiß nicht selbstverständlich. Es gibt Stämme im Tierreich, die sich zu gewissen Zeiten ungeheuer rasch entwickelt haben und dann wieder lange Zeit in der Entwicklung scheinbar still gestanden sind. Was die Ursachen derartiger Vorgänge sind, wissen wir nicht; Lebewesen sind eben keine mathematisch berechenbaren Uhrwerke.

Außerdem fällt es natürlich sehr schwer, die Unterschiede von Lebensformen in Zahlen zu fassen. Es muß aber doch gesagt werden, daß der Stammbaum der Pferde eine solch ruhige, konsequente und zielfischere Entwicklung aufweist, daß die Berechnungen Mathew's sicher nicht ohne weiteres von der Hand zu weisen sind.

Für das Tertiär berechnet also Penck einen Mittelwert von 15 Millionen Jahren, nach Lyell ergeben sich etwa 30 Millionen Jahre, nach Matthew 50 Millionen Jahre; die äußersten Grenzwerte aller Berechnungen betragen 5,4—100 Millionen Jahre. Es zeigt sich damit die Erscheinung, die schon einmal kurz gestreift wurde: Zu der Unsicherheit der Ausgangszahl kommt die Unsicherheit der Verhältniszahlen hinzu, und durch Multiplikation rücken die Grenzen, zwischen denen die wirkliche Zahl liegen muß, immer weiter auseinander. Mit jedem neuen Rückwärtschreiten wird die ganze Rechnung unsicherer. Immerhin können wir mit ziemlich großer Wahrscheinlichkeit sagen, daß die Zeitspanne des Tertiärs jedenfalls schon nach Zehnern von Jahrmillionen zu bemessen ist. Mit 20—40 Millionen Jahren werden wir von der Wahrheit nicht allzuweit entfernt sein.

Den Abschluß der Berechnungen soll der Übergang vom Tertiär auf die ganze Reihe der übrigen Formationen bilden. Schon Lyell, der Begründer der modernen Geologie, hat diesen weiteren Schritt gewagt. Er erhielt für das Unterkarbon ein Alter von 160 Millionen Jahren, für das Unterkambrium ein solches von 240 Millionen Jahren. Dana stellte für die Zeitspanne der einzelnen Formationen folgende Verhältniszahlen auf: wird das Tertiär zur Einheit genommen, so sind Kreide, Jura und Trias je etwa ebenso lang, die mesozoische Periode dauerte also dreimal so lang als das Tertiär. Perm und Karbon entsprechen in ihrer Zeitspanne ebenfalls dem Tertiär, dagegen war das Devon zweimal, Silur und Kambrium je viermal so lang. Die ganze paläozoische Periode umfaßt daher das 12fache, die Erdgeschichte seit Beginn des Kambriums etwa das 16fache der Zeitspanne des Tertiärs. Setzen wir für das Tertiär den Mittelwert von 30 Millionen Jahren, so ergibt dies für das Alter der ältesten kambrischen Schichten 480 Millionen Jahre.

Etwas andere Verhältniszahlen gibt Walcott an. Er setzt für das Tertiär 1, für das Mesozoikum 2,5, für das Paläozoikum 6; die Erdgeschichte seit dem Kambrium entspricht also der Zahl $9\frac{1}{2}$,

und für das Alter des Kambriums würden sich 285 Millionen Jahre ergeben. Ganz ähnliche Zahlen wie Dana nennt Häckel. Er setzt für die Zeit seit dem Beginn des Lebens bis heute die Zahl 100. Davon entfallen auf die Zeit bis zum Beginn des Kambriums 52 Teile, auf das Paläozoikum 34 Teile, das Mesozoikum 11 Teile, auf das Tertiär 3 Teile, die Eiszeit 0,1 Teil. Das ergibt für das Alter des Kambriums etwa 480 Millionen Jahre. Die Zeit, die seit Beginn des Lebens verflossen ist, wollen wir für die Berechnung außer Betracht lassen.

Fassen wir die verschiedenen Ergebnisse zusammen, so erhalten wir, von dem Wert von 30 Millionen Jahren für das Tertiär ausgehend, einen Zeitraum von 285—480 Millionen Jahren, von den Grenzwerten (5,4 und 100 Millionen Jahren) ausgehend 50—1600 Millionen Jahre seit dem Beginn des Kambriums.

Die Erscheinung, die wir schon besprochen haben, zeigt sich jetzt am stärksten: mit jeder weiteren Extrapolation werden die Grenzen weiter, die Zahlen unsicherer. Doch dürfen wir den Wert der gewonnenen Zahlen auch nicht gar zu sehr unterschätzen. Es ist nicht anzunehmen, daß bei all den Vermutungen und Rechnungen immer gerade die niedrige oder die höchste Zahl die richtige gewesen sei; in den meisten Fällen wird eine mittlere Zahl das Richtige treffen, und wo die wirklichen Zahlen von der Mitte abweichen, da wird sich wohl nach den Regeln der Wahrscheinlichkeit eine zu niedrige mit einer zu hohen Zahl wieder ausgleichen, so daß zum Schluß die Wahrheit doch ungefähr in der Mitte liegen wird. So können wir mit ziemlicher Sicherheit für das Alter des Kambriums einige Hunderte von Jahrtausenden ansetzen. Wir kennen zwar noch nicht die genaue Größe selber, aber doch die Größenordnung der seit dem Kambrium verflossenen Zeit. Weiter wollen wir aber nicht zurückgehen, denn die Unsicherheiten, die uns im Präkambrium erwarten, sind derartig groß, daß wir die Hoffnung auf ein einigermaßen brauchbares Resultat von vornherein aufgeben müssen. Wir können zunächst nur sagen, daß das Präkambrium ungeheure Zeiträume umfassen muß, denen gegenüber vielleicht die ganze übrige Erdgeschichte auf ein kleines Maß zusammenschrumpft.

Ein gewisses Unbehagen können wir aber trotz allem bei der nunmehr bis zum Ende durchgeföhrten Methode der Extrapolation nicht los werden. Die einzige ganz sichere Grundlage für die Berechnung sind eben allein die 5000 Jahre, die das Eis zu seinem

Zurückweichen von Schonen bis zur Eisscheide brauchte. Von dieser Zahl aus mußten wir nach der einen Seite den nicht unmittelbar gegebenen Anschluß an die Gegenwart finden, nach der anderen Seite hin zurück in die geologische Vergangenheit schließen.

Wie weit haben wir uns von unserer unbedeutenden Berechnungsgrundlage aus zurückgewagt! Es bedeutet eine Grundschwierigkeit der Methode, die mit Vergleichungen und Schätzungen immer weiter zurückgreift, daß die Gefahr der perspektivischen Fehler, wie wir sie nennen wollen, kaum umgangen werden kann: das Nächstliegende übersehen wir verhältnismäßig klar und deutlich, das Fernliegende rückt schon mehr zusammen, und das Fernste, das in Wirklichkeit den weitaus größten Raum einnimmt, gibt uns gar keine Einzelheiten mehr. So sind wir nur zu sehr geneigt, die nächstliegende Vergangenheit wegen der Fülle der aus ihr bekannten Ereignisse zu überschätzen, die fernliegende Vergangenheit wegen der Geringfügigkeit des aus ihr Bekannten zu unterschätzen. Ja, wenn uns die Möglichkeit gegeben wäre, weit draußen in der grauen Ferne geologischer Vergangenheit auch nur einen Punkt fest zu bestimmen und mit absoluter Sicherheit sein Alter anzugeben, dann wären wir über alle Schwierigkeiten der Schätzung und der Extrapolation mit einem Schlag hinaus. Mit der Bestimmung jenes Punktes wäre uns ein fester Rahmen gegeben, in den wir die gesamte geologische Geschichte einspannen könnten.

Und diese Möglichkeit besteht! Das nächste Kapitel soll zeigen, wie uns wunderbare Fortschritte der Physik und Chemie die Mittel dazu in die Hand geben.

IV. Geologische Zeitmessung auf Grund radioaktiver Vorgänge.

Es ist kaum mehr als ein Vierteljahrhundert vergangen, seit im physikalischen Institut der Universität Würzburg eine Entdeckung gemacht wurde, die zu den glücklichsten der ganzen Wissenschaftsgeschichte gehört und die in ihren Folgen für die Entwicklung der Physik und Chemie von der allergrößten Bedeutung werden sollte.

Im Jahr 1895 fand Professor Röntgen, daß von der Wand der Geißlerschen Röhren, mit denen er experimentierte, Strahlen