



Jahreszahlen der Erdgeschichte

Lotze, Reinhold

Stuttgart, 1922

II. Geologische Zeitmessung durch Abtragung und Aufschüttung. Bildung der Steinkohlen und des Erdöls. Abtragung des schwäbischen Stufenlandes. Gesamtleistung aller Flüsse. Das Alter des Ozeans. ...

[urn:nbn:de:hbz:466:1-79199](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:hbz:466:1-79199)

Die Pendeluhrn stellen eine zweite Art von Zeitmessern dar. Langsam, in immer gleichem Rhythmus, schwingt das Pendel unter der Einwirkung der Anziehungskraft der Erde hin und her. Damit es von der Reibung nicht zum Stillstand gebracht wird, erhält es im Innern des Werks bei jeder Schwingung einen neuen kleinen Anstoß. Wählt man ein Pendel von passender Länge, so kann man erreichen, daß es genau eine Sekunde zur Schwingung braucht; mit Hilfe sinnreicher Zahnradübertragung wird die Zahl seiner Schwingungen durch Zeiger zur Erscheinung gebracht. Die Bewegung dieser Zeiger bedeutet eigentlich nichts anderes als ein Abzählen der Pendelschwingungen unter Zusammenfassung von 60 und 60×60 Schwingungen zu größeren Einheiten.

Das Prinzip der Pendeluhr beruht also auf dem Abzählen einer Bewegung, die unter dem Einfluß der Schwerkraft periodisch erfolgt. Wir werden wunderbar geheimnisvolle Bewegungen unseres Weltkörpers kennen lernen, die ebenso durch die Schwerkraft hervorgerufen werden und die vielleicht als Grundlage geologischer Zeitmessung dienen können. Es fragt sich nur, wie solche zweifellos vorhandene Bewegungen abgezählt werden sollen. Für die kleine Periode des Jahres vermag schon jeder Baum diese Aufgabe zu lösen. Schneidet man einen Baumstamm quer durch, so zeigt sich das bekannte regelmäßige Bild der Jahresringe, an denen ohne weiteres das Alter des Baums in Jahren abgelesen werden kann; jeden Frühling bildet er eine weiche breite, jeden Herbst eine harte dünne Holzschicht. Wir werden auch geologische Jahresringe kennen lernen, die in der Art, wie sie dem Forscher Aufschluß über geologische Zeiträume geben, zwei Prinzipien der Zeitmessung vereinigen: Aufschüttung und Rhythmus.

Und nun soll der Versuch gewagt werden, mit Hilfe der Zeitmesser, die uns die Geologie kennen lehrt, die ungeheuren Zeiträume der Vergangenheit in Maß und Zahl zu fassen!

II. Geologische Zeitmessung durch Abtragung und Aufschüttung.

Wir versehen uns im Geist ins Ruhrrevier. Mit dem Förderkorb geht's tausend hinunter in die dunklen Tiefen eines Kohlenbergwerks. In dem Wirrsal unterirdischer Gänge arbeiten wir uns

vor bis ans äußerste Ende, wo vom Häuer das kostbare schwarze Mineral losgebrochen wird. Und staunend sehen wir, daß wir nicht etwa mitten drin in der massiven Kohle stehen, sondern daß sie nur eine Schicht (ein „Flöz“) von kaum 1 Meter Mächtigkeit bildet. Steigen wir allerdings in eine höhere oder tiefere Strecke des Bergwerks, so finden wir zwischen Sandsteinen und Schiefertönen noch eine ganze Reihe anderer Flöze eingebettet, mächtigere, bis zu einer Dicke von 2 Meter, die einen leichten, bequemen Abbau erlauben, und schwächere von 10—20 cm Mächtigkeit, bei denen sich der Abbau überhaupt nicht lohnt. Fragen wir den Geologen, der von allen Schächten und Tiefbohrungen des ganzen Kohlenreviers den Aufbau des Gebirges kennt, nach der Zahl der Kohlenschichten, so sagt er uns, daß im ganzen 176 Flöze übereinander liegen, durch Gesteine, die in einem Meere gebildet wurden, voneinander getrennt. Wie sollen wir das deuten? Die Wissenschaft lehrt uns, daß sich die Kohlen in mächtigen Waldmooren aus einer fremdartig anmutenden Pflanzenwelt gebildet haben, langsam und in ungeheuren Zeiträumen. Ein hundertjähriger kräftiger Buchenwald würde bei der Verkohlung nur eine Schicht von 16 mm ergeben. Nun senkte sich das Land; das Meer brach herein; Schlamm und Sand lagerten sich über dem jungen Kohlenlager ab und schützten es so vor der Zerstörung. Dann hob sich das Land wieder, das Wasser lief ab, und von neuem erwuchs der Sumpfwald, bildete sich Kohle, bis das Meer wieder hereinbrach und auch die neue Kohle zudeckte. Und das 176mal! Wie ein langsames Atemholen der scheinbar starren Erde mutet dieses Auf und Ab an, und daß dieser Wechsel von Steinkohlensumpfwald und Meer ungeheure Zeiträume umfaßt haben muß, ist uns ohne weiteres klar. Dabei zählt man im Saarkohlengebiet sogar 325 Flöze, und die ganze Zeit, die zur Bildung all dieser wechselnden Schichten nötig war, bedeutet in der geologischen Zeitrechnung nur einen verhältnismäßig kleinen Teil einer einzigen geologischen Periode!

Ein anderes Bild: Zu Tausenden ragen in Baku am Kaspischen Meer auf engstem Raum die Erdölbohrtürme in die Luft, und zwölf Milliarden Liter Rohöl haben sie in der Zeit vor dem Krieg jährlich zutage gefördert. Nun entsteht das Erdöl nach der Ansicht der heutigen Wissenschaft aus den Überresten abgestorbener Meerestiere. Wir können nicht annehmen, daß jene Meere wesentlich dichter bevölkert gewesen seien als unsere heutigen. Was für ungeheure Zeit-

räume müssen aber verstrichen sein, bis sich der Meeresboden mit derartig riesenhaften Mengen solcher Stoffe vollsaugen konnte! Und auch hier wieder müssen wir dasselbe feststellen wie bei den Steinkohlen: Die Zeit, die zur Bildung der erdölführenden Schichten nötig war, ist geringfügig im Rahmen der ganzen Erdgeschichte.

Wir wollen aber doch versuchen, von diesen ersten, ganz allgemeinen Vorstellungen von der langen Dauer geologischer Zeiträume zu bestimmten, faßbaren Zahlen zu gelangen; die zahlenmäßige Untersuchung der geologischen Wirkung des fließenden Wassers soll uns diesen Fortschritt bringen. Überall, wo es in Bächen, Flüssen und Strömen zum Meere eilt, schafft es Stoffe aus dem Land hinaus, trägt dadurch ganz allmählich sein Einzugsgebiet ab (Vorgang der Denudation) und führt alles ins Meer, wo sich das mitgeführte Material niederschlägt und langsam neue Gesteinsschichten aufbaut (Vorgang der Sedimentation). Eine sehr genaue zahlenmäßige Untersuchung über die geologische Arbeit eines Flusses wurde von Schürmann vor wenigen Jahren am Neckar ausgeführt. Während eines ganzen Jahres berechnete er Tag für Tag auf Grund genauer Methoden die Wassermengen, die der Fluß aus dem Schwabenland hinaus zum Rhein führt, und Tag für Tag entnahm er ihm Proben, aus denen er den Gehalt des Wassers an aufgelösten und schwebenden Bestandteilen sorgfältig bestimmte. Während die gelösten Bestandteile hauptsächlich Salze aller Art sind, die das Wasser bei seiner Berührung mit dem Gestein ausgelaugt hat (vor allem Kalk), sind die schwebenden Stoffe feinste Ton- und Sandteilchen, die als „Flußtrübe“ mechanisch vom Wasser mitgenommen werden und die es besonders bei Hochwasser bis zur vollständigen Undurchsichtigkeit trüben können. Das Ergebnis der Untersuchungen war, daß der Neckar unterhalb Heilbronn im Jahr 1,584 Millionen Tonnen fester Stoffe aus dem Lande hinausführt.

Bei einem spezifischen Gewicht von 2,5 nimmt diese Stoffmenge einen Raum von etwas über 600 000 Kubikmeter ein; würde man sie in gleichmäßiger Dicke über das ganze Einzugsgebiet des Flusses (12 340 Quadratkilometer) ausbreiten, so ergäbe sich eine Schicht von $\frac{1}{20}$ mm Mächtigkeit. Wenn also der Neckar sein ganzes Flußgebiet gleichmäßig erniedrigen würde, so würde er in einem Jahr $\frac{1}{20}$ mm, in 20 Jahren 1 mm, in 2000 Jahren eine Schicht von 1 m Mächtigkeit abtragen. Zur Abtragung von 100 m würde er infolgedessen 2 Millionen Jahre brauchen.

Nun können wir auf hochinteressante Weise feststellen, wie das ganze Gebiet zwischen Schwäbischer Alb und Odenwald in nicht allzuweit zurückliegender geologischer Vergangenheit ausgesehen haben muß. Zu den merkwürdigsten geologischen Erscheinungen der Erde zählt das Vulkangebiet der mittleren Schwäbischen Alb (um Kirchheim und Urach), in dem die Erdrinde von nicht weniger als 125 vulkanischen Explosionsröhren durchsetzt wird; sie zeigen sich von vulkanischem Material (Basalt) und von Gesteinsbruchstücken der durchschlägenen Schichten erfüllt. Eine Anzahl dieser Röhren steckt noch ganz innerhalb des Körpers der Alb, die sich südlich vom schwäbischen Keuperland über einem Unterbau von schwarzem und braunem Jura in wundervoller landschaftlicher Schönheit als eine steile,

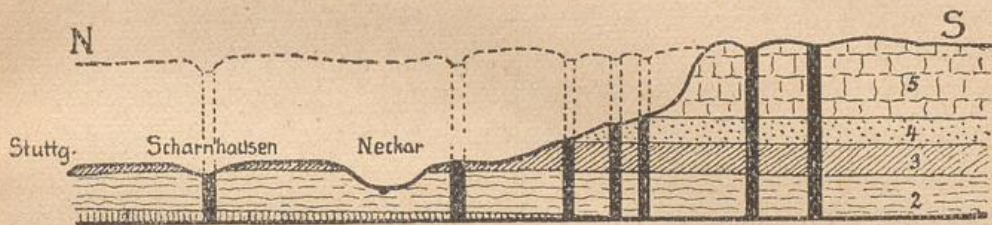


Abb. 2. Querschnitt durch die Schwäbische Alb und ihr Vorland mit vulkanischen Durchschlagsröhren. Zur Zeit der Eruption muß noch eine Gesteinsdecke, wie sie durch die gestrichelte Linie angedeutet ist, über dem Vorland gelegen haben. 1 Muschelkalk, 2 Keuper, 3 Schwarzer Jura, 4 Brauner Jura, 5 Weißer Jura.

von Felszinnen gekrönte Mauer von Weißjura aufbaut; die übrigen liegen im Vorland (vgl. Abb. 2). Der nördlichste der Vulkanöfene findet sich bei Scharnhausen (südlich von Stuttgart), über 20 km vom jetzigen Albrand entfernt, in den Keuper eingesenkt und trotzdem noch Brocken von weißem Jura enthaltend. Dieser Weiße Jura, ein viel jüngeres Gestein als der Keuper, in dessen Höhe er nun in der Vulkanröhre steckt, muß bei der Explosion von oben her in das offene Loch hereingefallen sein. Es müssen also damals noch die Schichten des Weißen Jura über der ganzen Gegend gelegen haben, und das gibt uns den sicheren Beweis, daß zu jener Zeit der Albrand, wenn er schon in der heutigen Art bestand, noch mindestens 20 km weiter nördlich gelegen sein muß. Weitere Beobachtungen machen es wahrscheinlich, daß das ganze schwäbische Stufenland zwischen Odenwald und Alb damals noch von einer Gesteinsdecke von mehreren hundert Metern Mächtigkeit bedeckt war. Hier können wir nun wieder mit der Rechnung einsetzen: 100 m deckt der Neckar in 2 Millionen Jahren ab; es werden also seit jener Vulkankatastrophe, die im Obermiozän, also schon gegen das Ende der

Tertiärzeit,*) stattgefunden hat, ungefähr 4—6 Millionen Jahre verfloßen sein.

Damit sind wir zum erstenmal auf das Zeitmaß gekommen, mit dem der Geologe rechnet, und an das sich auch der Leser gewöhnen muß, die Jahrmillion. Daß es nicht nur ein gedankenloses Umsichwerfen mit großen Zahlen ist, wenn in der Geologie von Jahrmillionen geredet wird, das zeigt schon dieser erste Versuch einer rechnerischen Lösung unserer Frage klar und deutlich, obwohl sich an ihn von kritisch gestimmten Geistern noch manches Wenn und Aber anknüpfen läßt. Aber daß Jahrtausende oder Jahrhunderttausende in der Erdgeschichte nicht zureichen, ist uns jetzt schon klar geworden. Die erste Vorstellung von der Größenordnung geologischer Zeiträume ist gewonnen, und das bedeutet eine neue Erkenntnis!

Wenn der Neckar 20 000 Jahre braucht, um sein Gebiet um 1 m zu erniedrigen, so ist er damit weder ein rascher noch ein besonders langsamer Arbeiter; seine Leistung bedeutet einen guten Durchschnitt. Ein Alpenfluß, der mit ganz anderer Wucht zu Tale stürzt und die Trümmer des rasch verwitternden Hochgebirges in die Ebene schafft, wird mehr leisten als der Neckar, der durch ein Mittelgebirgsland fließt, während ein langsam dahinfließender Strom des Flachlands nicht auf die Leistung des Neckars kommen wird. Es sind sehr lehrreiche Zahlen, die in dieser Beziehung von den Geologen gefunden wurden. Der erfolgreichste bekannte Zerstörer ist der Irawadi (Hinterindien), der sein Stromgebiet schon in 1300 Jahren um 1 m erniedrigt. Ihm kommen die Alpenflüsse Po und Reuß nahe, die in 2800 und 3000 Jahren dieselbe Arbeit verrichten, während das Gebiet der Hudson-Bai von seinen Flüssen erst in 165 000 Jahren um 1 m erniedrigt wird.

Es soll nun aber der kühne Versuch gewagt werden, für die ganze Erde die Abtragung zu berechnen. Wenn dabei auch viele Zahlen nicht ganz richtig sein werden, so müssen wir eben hoffen, daß ein Fehler nach der einen Seite wieder durch einen entgegengesetzten aufgehoben wird, und daß auf diese Weise doch eine Zahl von leidlicher Genauigkeit herauskommt. Will man wissen, was die gesamten Ströme der Erde im Jahr an Abtragungsarbeit leisten, so ist es nötig, zweierlei zu kennen: Die jährliche Wassermenge aller

*) Vergleiche hierzu, wie bei allen andern geologischen Altersangaben, die Formationstafel auf Seite 7.

Flüsse und den Gehalt ihres Wassers an Gelöstem und Aufgeschwemmtem. Es ist klar, daß nur für wenige Stromsysteme solche Messungen vorliegen, wie vom Neckar. An ihre Stelle muß eine vorsichtige Schätzung treten, die aber in einer Reihe von meteorologischen, geographischen und geologischen Tatsachen zuverlässige Grundlagen hat. Nachdem schon die englischen Geologen Mellard Reade und Murray die Berechnung versucht hatten, gab in neuerer Zeit der amerikanische Geologe Clarke die zuverlässigsten Zahlen. Er erhielt unter möglichst genauer Berücksichtigung aller Verhältnisse für die Flüsse der ganzen Erde eine Jahresleistung von 2500 Millionen Tonnen gelöster und 6000 Millionen Tonnen schwebender fester Stoffe, was eine Gesamtjahresleistung von 8500 Mill. Tonnen ergibt. Würde diese Stoffmenge, die von den Flüssen in einem Jahr ins Meer getragen wird, über das von ihnen entwässerte Festland ausgebreitet, so erhielte man eine gleichmäßige Schicht von $\frac{1}{28}$ — $\frac{1}{30}$ mm Dicke; es vergeht also ein Zeitraum von 28 000 bis 30 000 Jahren, bis die Erdoberfläche von den Flüssen durchschnittlich um 1 m erniedrigt wird. Zu der Arbeit der Flüsse kommt noch die zerstörende Wirkung der Meereswogen an der Küste hinzu, die gleichfalls dem Meere Stoffe zu Sedimentgesteinen liefert und die Gesamtmenge der ihm jährlich zugeführten Stoffe auf etwa 9000 Millionen Tonnen erhöht. Über das Schicksal aller dieser Stoffe können wir aussagen, daß ein Teil der gelösten Stoffe, vor allem die Chloride (in erster Linie Natriumchlorid = Kochsalz) in Lösung bleibt und damit den Salzgehalt des Meeres erhöht, während z. B. der größte Teil des gelösten kohlen-sauren Kalks sich ausscheidet. Die aufgeschwemmten Stoffe setzen sich natürlich ohne weiteres im Meere ab und bilden die sog. mechanischen Sedimente. Clarke versuchte auch, die Menge der verschiedenen neu gebildeten Gesteinsarten zu berechnen, und fand, daß von den 9000 Millionen Tonnen 70% ($6300 \cdot 10^6$ Tonnen) zu Ton- und Schiefergesteinen werden, 16% ($1440 \cdot 10^6$ Tonnen) zu Sandsteinen und 14% ($1260 \cdot 10^6$ Tonnen) zu Kalkstein.

Um Zahlen für die Zeitdauer geologischer Vorgänge zu gewinnen, halten wir uns nun zuerst an die gelösten Stoffe. Joly hat 1899 einen scheinbar sehr einfachen Weg angegeben, um das Alter des Ozeans zu berechnen. Sein Gedankengang ist folgender: Als sich bei zunehmender Abkühlung der Erde das Wasser in flüssiger Form an der Oberfläche niederschlug, da bestand dieser

Urozean aus chemisch reinem Wasser, er war also ohne Salzbeimischung. Die Salze kamen auf die Weise in das Meer, daß die Verwitterung eine Reihe von Stoffen aus den Urgesteinen (Gneis, Granit) herauslöste und ins Meer führte. Die einen schieden sich hier aus und bildeten Gesteine, andere aber, vor allem die Alkalisalze (Salze des Natriums und Kaliums) blieben in Lösung und verursachen nun den Salzgehalt des Meeres. Die größte Rolle spielt dabei das Kochsalz (Chlornatrium). Auch heute noch werden von den Flüssen Natriumsalze in das Meer geführt, die aus der Verwitterung der Urgesteine stammen und den Salzgehalt des Meeres andauernd langsam vermehren. Wir kennen den Gehalt des ganzen Ozeans an Natriumsalzen (der Prozentgehalt des Meeres an Salzen ist bekannt, die Wassermenge des ganzen Ozeans läßt sich unschwierig berechnen) und die Menge des von den Flüssen jährlich ins Meer geführten Salzes. Dividieren wir beides, so erhalten wir die Zahl der Jahre, die nötig waren, um den Salzgehalt des Meeres bis zur heutigen Höhe anzuwachsen zu lassen. Die Berechnung geschieht nach folgender einfacher Gleichung:

Natrium im Ozean

jährl. Menge des Natriums in den Flüssen = Alter des Ozeans.
Durch Einsetzung der für die Mengen der Natriumsalze bekannten Zahlen erhalten wir:

$$\frac{14,13 \cdot 10^{12} \text{ t}}{158,357 \cdot 10^3 \text{ t}} = 89\,222\,900 \text{ Jahre.}$$

Die Methode scheint sehr einfach und einleuchtend zu sein, sie hat aber ganz bedenkliche Schwierigkeiten. Vor allem gründet sie sich auf die Annahme, daß das von den Flüssen in den Ozean geführte Salz einzig und allein aus der Verwitterung der Urgesteine stamme. Nun läßt sich nachweisen, daß ein großer Teil dieses Salzes nicht daher, sondern aus dem Meere stammt und als „zyklisches Salz“ einen Kreislauf vom Meer zum Land und wieder ins Meer ausführt. Vor allem reißt der Meerwind kleine Tröpfchen von Seewasser mit sich und trägt auf diese Weise Salz weit ins Land hinein. Für den Sambharasalzsee in Indien, der 400 km landeinwärts liegt und eine Fläche von 5700 qkm einnimmt, wurde berechnet, daß er jährlich durch den Wind 3000 Tonnen Seesalz zugeführt bekommt. Ein anderer Teil des Salzes der Flüsse stammt aus Salzlagern in den Sedimenten, die ihrerseits wieder aus der Eindunstung von Meerwasser hervorgegangen sind. Auch dieses

Salz fließt also zum zweiten- oder öfterenmal dem Meere zu. Alles zyklische Salz darf natürlich nicht in die Berechnung eingestellt werden. Nach dem einen Forscher (Joly) soll seine Menge 33 %, nach andern 95 % oder gar 99 % der von den Flüssen mitgebrachten Salzmenge betragen. Damit verringert sich die anzurechnende Menge des Natriums im Flußwasser ganz außerordentlich, und damit steigt nach einer einfachen mathematischen Überlegung das Alter des Ozeans bis zu ungeheuren Zahlen an. Bei der Annahme von 99 % zyklischem Salz wäre es das 100fache, also gegen 9000 Millionen Jahre. Wenn die Ergebnisse in einem solch ungeheuer weiten Spielraum sich bewegen, so wird es ganz aussichtslos, auf diese Weise zu einigermaßen brauchbaren Zahlen zu gelangen.

Versuchen wir es deshalb mit den im Meere gebildeten Schicht- (Sediment-)gesteinen. Wenn wir die gesamte Mächtigkeit aller auf der Erde je gebildeten Sedimente kennen, dazu die Zeit, die zur Bildung von 1 m nötig ist, so brauchen wir nur zu multiplizieren, und das Ergebnis liegt vor. Nun sind aber alle Zahlen, um die es sich hier handelt, so unsicher als nur denkbar. Bei der Berechnung der Gesamtmächtigkeit der Sedimente müssen wir berücksichtigen, daß an mancher Stelle der Erde lange geologische Zeiträume vorbeigingen, ohne eine Spur zu hinterlassen. Wenn wir bei der Berechnung der Schichtenmächtigkeit bei jeder Formation und jedem Formationsteil die Stelle in Rechnung setzen, an der sich die größte Mächtigkeit entwickelt hat, so erhalten wir die sogenannte maximale Mächtigkeit. Diese beträgt nach Sollas (1909) für die Neuzeit der Erde 19 000 m, für das Mittelalter 21 000 m, für das Altertum 37 000 m, für das Präkambrium 25 000 m; das ergibt eine Gesamtmächtigkeit von 102 000 m. Andere Forscher bringen wesentlich andere Zahlen heraus. Wollen wir die Zeit berechnen, in der eine Schicht von 1 m Sedimentgestein gebildet wird, so müssen wir dabei festhalten, daß die Stoffe, die von den Flüssen ins Meer hinausgetragen werden, nicht über die ganze Fläche des Ozeans hin sich ablagern, sondern nur in der sog. Schelfregion, einem Gürtel, der mit ungefähr 160 km Breite die Kontinente umsäumt. Bei einer Küstenlinie von 160 000 km nimmt auf diese Weise die Schelfregion einen Flächenraum von $25,6 \cdot 10^6$ qkm ein. Nimmt man für die $9000 \cdot 10^6$ Tonnen ein spezifisches Gewicht von 2,5 m an, so füllen sie einen Raum von

3600 · 10⁶ cbm aus. Bauen wir aus dieser Masse eine Säule mit einer Grundfläche von 1 qkm, so erreicht sie eine Höhe von 3,6 km. Breiten wir nun das Ganze gleichmäßig über die gesamte Schelfregion (25,6 · 10⁶ qkm) aus, so ergibt sich eine Schicht von 0,140 mm Dicke. Wenn also in einem Jahr eine Schicht dieser Mächtigkeit gebildet wird, so sind 7000 Jahre nötig, um eine Schicht von 1 m Mächtigkeit zu bilden. Das ist natürlich nur ein Durchschnittswert. An einer Stelle geht die Arbeit viel rascher vor sich, an der andern viel langsamer.

Würden wir diesen Wert als richtig annehmen, so erhielten wir für die Bildung von 102000 m Gesteinsmächtigkeit eine Zeit von über 700 Millionen Jahren. Nun müssen wir dabei aber berücksichtigen, daß die Sedimente auch in der Schelfregion nicht gleichmäßig ausgebreitet werden (vgl. Abb. 3), sondern daß sie in größerer Küstennähe wesentlich stärker aufgehäuft werden als in 100 bis 160 km Entfernung von der Küste. Wir können für die größere Küstennähe annehmen, daß hier schon 3000 Jahre genügen, um die Schicht von 1 m zu bilden. Wenn zuerst die „maximalen Schichtmächtigkeiten“ festgestellt wurden, so müssen wir jetzt den niedrigen Wert für die Bildungszeit von 1 m einsetzen und erhalten für 100000 m die Zeit von 300 Millionen Jahren. Es soll bei dieser Art Berechnung aber nicht verschwiegen werden, daß andere Forscher auf wesentlich andere Zahlen gekommen sind; sie bewegen sich zwischen 30 und 600 Millionen Jahren, und diese ungeheuren Unterschiede sind natürlich nicht dazu angetan, das Vertrauen in diese Methode allzusehr zu stärken.

Etwas zuverlässigere Resultate ergibt ein anderer Weg: Man versucht, die Gesamtmenge der im ganzen Verlauf der Erdgeschichte gebildeten Sedimente zu berechnen. Auch dies ist natürlich ein schwieriges Unterfangen, denn das meiste, was die Erde im Laufe der Jahrtausende aufbaute, ist schon längst wieder zerstört. Immerhin, es soll gewagt sein. Auf Grund vorsichtiger Schätzung erhält man für den Kubikinhalte der gesamten, im Laufe der Erdgeschichte gebildeten Sedimente einen Raum von 875 · 10⁶ Kubikkilometer (ckm). Unsere 9000 · 10⁶ Tonnen stellen einen Raum von 3,6 ckm dar, es waren also

$$\frac{875 \cdot 10^6}{3,6} = 245 \cdot 10^6 \text{ Jahre nötig, um die Gesamtmenge der Sedimente zu bilden.}$$

Ein zweiter Versuch: Man rechnet mit der

Gesamtmenge aller je gebildeten Kalksteine und der Menge Kalk, die durch die Verwitterung der Eruptivgesteine jährlich frei wird. Nach ähnlichen Methoden, wie sie oben angedeutet wurden, erhält man für die Bildung der gesamten irdischen Kalkschichten eine Zeit von 320 Millionen Jahren.

Bei all den Zahlen, die wir bis jetzt errechnet haben, mußte nach der Mächtigkeit der erhaltenen Sedimente stark $\frac{2}{3}$ auf die Zeit vom Kambrium bis heute, schwach $\frac{1}{3}$ auf das Präkambrium entfallen. Jedenfalls ist damit aber, wenn wir die Zeitspanne seit dem Kambrium als zuverlässiger annehmen wollen, das Präkambrium stark unterschätzt. Nach Überlegungen allgemeiner Art muß seine Dauer ein Mehrfaches der aller anderen Formationen betragen; es ist aber fast vollständig zerstört und umgewandelt, und daher

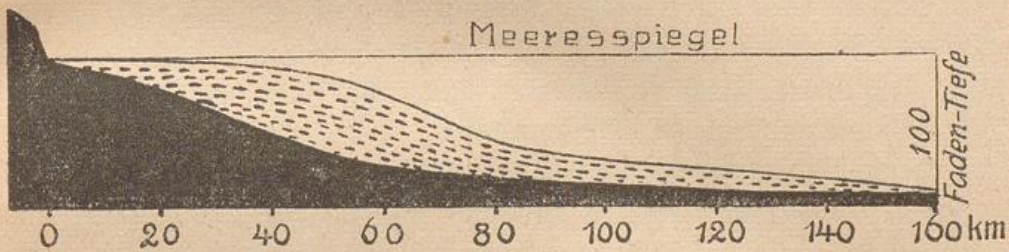


Abb. 3. Sedimentbildung in der Schelfregion.

kommt seine Bedeutung in den Mächtigkeitsszahlen lange nicht genügend zum Ausdruck.

Was läßt sich nun über die Zuverlässigkeit all dieser Berechnungen aussagen? Das Problem kann unmöglich auf einen Anlauf gelöst werden. Fast alle Zahlen sind nicht genau bestimmbar, sie beruhen nur auf mehr oder weniger zuverlässigen Schätzungen; deshalb bewegen sich auch die Ergebnisse zwischen sehr weiten Grenzen. Wohl wohnt den Zahlen ein verschiedenes Maß von Zuverlässigkeit inne; bei den einen, z. B. den Abtragungszahlen, wird wohl die richtige Zahl um nicht mehr als 50 % nach oben oder unten von der angenommenen abweichen; andere dagegen sind wesentlich unsicherer. Und trotzdem, die Ergebnisse sind nicht wertlos. Haben wir gleich zu Anfang nachgewiesen, daß geologisch recht junge Ereignisse bereits einige Millionen Jahre zurückliegen müssen, so zeigen uns die Berechnungen über Abtragung und Aufschüttung, daß es sich für die Zeit, in der die Gesamtheit der Schichtgesteine gebildet wurde, jedenfalls schon um mehr als hundert Jahrtausende handelt. Das ist ein sehr wesentliches und wert-

volles Ergebnis. Wir erkennen zwar noch nicht die absolute Größe, aber doch die Größenordnung geologischer Zeiträume; die Zehner und Hunderter von Jahrmillionen haben bereits hohe Wahrscheinlichkeit gewonnen.

Ungeheure Wasser- und Sanduhren sind es, die dem Geologen dieses Resultat verschafft haben. Ihr Prinzip der Zeitmessung ist genau das gleiche wie bei der Sanduhr am Telephon oder jenen kunstvollen Wasseruhren der Araber und Griechen. Wir wissen, was in einem Jahr in die großen Sammelbecken läuft, vermögen die Massen des Geleisteten zu messen oder zu schätzen und erhalten daraus durch einfache Rechnung die Zahl der dazu nötigen Jahre. Die Genauigkeit der Rechnung hängt von der Zuverlässigkeit der verwendeten Zahlen ab.

Jedoch steckt in all diesen Rechnungen noch eine Voraussetzung, die wir bis jetzt unbesehen hingenommen haben, die aber durchaus nicht selbstverständlich ist, sondern einer sehr genauen Prüfung bedarf. Wenn wir aus der Gesamtmasse der Sedimente und der Jahresleistung der abtragenden Kräfte durch Division die Zeit gewonnen haben, so nahmen wir an, daß im ganzen Verlauf der Zeit die Uhr gleich schnell gegangen sei, die Flüsse in jedem Jahr so viel ins Meer getragen hätten wie heute. Das ist jedoch nicht ohne weiteres sicher. Wir können uns denken, daß in früheren Erdperioden die geologischen Kräfte rascher und stürmischer gearbeitet hätten als heute, daß die Zerstörung schneller vor sich gegangen wäre, und die Flüsse mehr ins Meer geführt hätten. Dann hätten wir mit einer zu kleinen Zahl dividiert, die durchschnittliche Jahresleistung wäre größer anzunehmen, und es kämen wesentlich kleinere Zeiträume bei der Rechnung heraus. Ebenso denkbar ist es aber auch, daß die geologische Sanduhr heutzutage rascher läuft als in der Vergangenheit; dann hätten wir für diese Zeiten geringere Jahresleistungen einzusetzen, und die Zeiträume würden sich erhöhen. Wo liegt hier die Wahrheit? Haben in der Vergangenheit die geologischen Kräfte stärker, gleichstark oder schwächer gewirkt wie in der Gegenwart? Noch vor einem halben Jahrhundert nahmen die Geologen das erste fast als selbstverständlich an; denn unscheinbar und nicht unmittelbar in die Augen fallend sind die Veränderungen der Erde, die sich heute vollziehen. Für die geologische Vorzeit war man geneigt, ein viel rascheres Tempo in der Umbildung der Erdoberfläche anzunehmen; in der Gegenwart

aber sei die Erde aus der Sturm- und Drangzeit heraus in einen gemüthlichen 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 Besprechung 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 hinaus 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