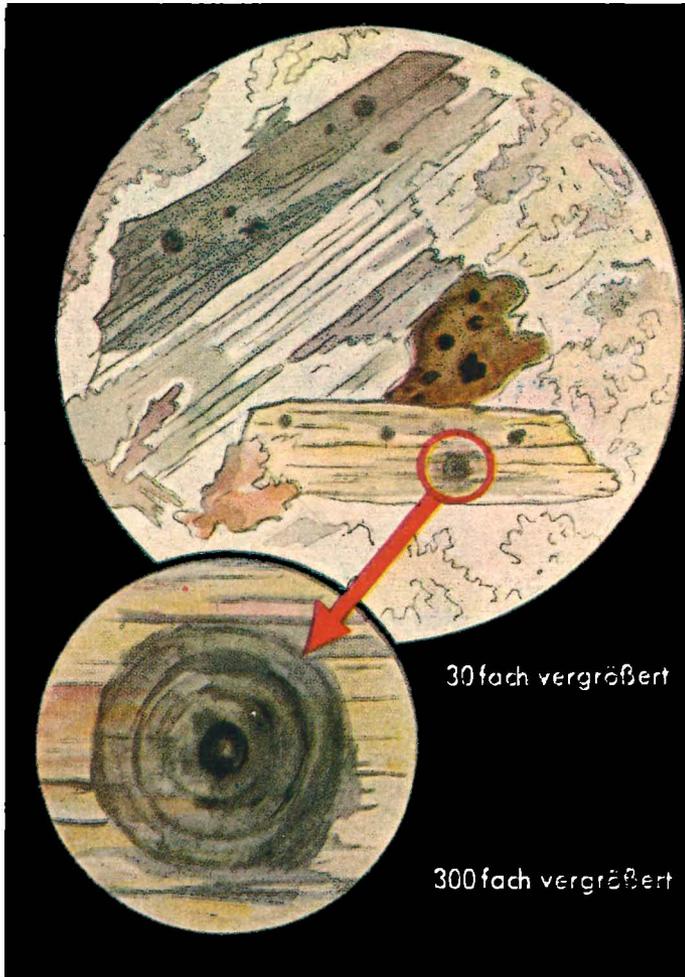


# WIE ALT IST DIE ERDE?

G E O P H Y S I K A L I S C H E  
E R D Z E I T M E S S U N G

Radioaktive Uhren im Granit.

Man beobachtet an Gesteinsdünnschliffen unter dem Mikroskop, daß, eingeschlossen in verschiedenen Mineralien, besonders in dem als Bestandteil des Granits allgemein bekannten dunklen Glimmer, des öfteren bis zu  $\frac{1}{50}$  mm große kreisrunde Verfärbungshöfe um kleinste radioaktive Mineralkörnchen auftreten. Die radioaktiven Strahlen sind offenbar die Ursache für die Umwandlung der benachbarten Glimmerpartien.



Dieser Band wurde von Dr. Robert Lauterbach, Leipzig, verfaßt; die Textillustrationen und Farbbilder auf Titel- und Umschlagrückseite stammen von Hans Mau, Leipzig

# WIE ALT IST DIE ERDE?

G E O P H Y S I K A L I S C H E  
E R D Z E I T M E S S U N G

VOLK UND WISSEN SAMMELBÜCHEREI  
NATUR UND WISSEN · SERIE J · BAND 1



**V O L K U N D W I S S E N**  
V E R L A G S G M B H · B E R L I N / L E I P Z I G

<b>I N H A L T</b>	<b>Vorwort</b> .....	<b>3</b>
	<b>I. Der Feuerstein</b> .....	<b>4</b>
	<b>II. Geologische Zeiteinteilung</b> <b>und die Entwicklung des Lebens</b> .....	<b>6</b>
	<b>III. Muscheln als Zeitmesser</b> .....	<b>8</b>
	<b>IV. Geologische Zeitbestimmung</b> .....	<b>10</b>
	<b>V. Radioaktivität der Erde</b> .....	<b>13</b>
	<b>VI. Radioaktive Mineralien als erdgeschichtliche Uhren</b> 16	
	<b>VII. Radioaktive Zeitmeßverfahren</b> .....	<b>18</b>
	<b>VIII. Die Einteilung der Erdgeschichte</b> .....	<b>21</b>
	<b>IX. Die Ergebnisse erdgeschichtlicher Zeitmessung</b> .....	<b>23</b>
	<b>X. Die Eintagserde</b> .....	<b>26</b>
	<b>Nachwort</b> .....	<b>28</b>
	<b>Anmerkungen zum Text</b> .....	<b>30</b>
	<b>Literatur</b> .....	<b>32</b>

**PREIS 60 PFENNIG**

Gesetzt von B. G. Teubner in Leipzig (M 109)

Druck des Umschlages von Wolfgang Leff, Borsdorf bei  
Leipzig (M 15) und des Innenteils von Volk und Wissen  
Verlags GmbH, Abt. Druckerei, Leipzig (M 242)

**Bestell-Nr. 12 542**

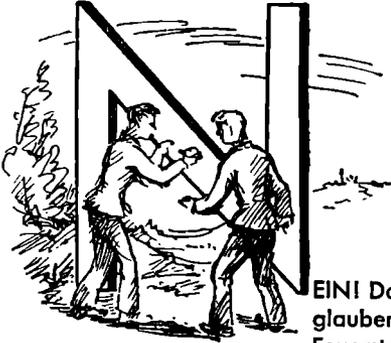
Lizenz-Nr. 334 · 1000/47-816/48 · 1.—100. Tausend 1948

Alle Rechte vorbehalten

Die Serie Geophysik unserer Sammelbücherei Natur und Wissen behandelt die physikalischen Vorgänge, die sich im Innern und auf der Oberfläche unserer Erde abspielen. Der vorliegende erste Band dieser Serie stellt die Frage nach dem Alter der Erde, eine Frage, die schon von alters her naturwissenschaftlich interessierte Menschen beschäftigt. Es wird gezeigt, welchen schwierigen Weg die Forschung jahrzehntelang gegangen ist, um den Fragenkomplex nach dem absoluten zeitlichen Ablauf der Erdgeschichte zu klären. Von astronomischer Seite wurden Versuche unternommen, Klarheit über das Alter des Planeten Erde zu erlangen. Die Geologen strebten danach, aus denjenigen erdgeschichtlichen Prozessen, welche zeitlich gesetzmäßig verlaufen, Rückschlüsse auf das absolute Zeitmaß zu ziehen. Die Paläontologie (vgl. Anm. 1, c) stellte sich in den Dienst der Altersbestimmung, indem sie aus gewissen biologischen Abläufen einen Zeitmaßstab herauszulesen trachtete. Nicht zuletzt wurde von geophysikalischer Seite jede erdenkliche Mühe aufgewandt, um mit den verschiedensten Methoden das Problem zu lösen. Ein befriedigender Erfolg blieb jedoch aus, bis uns die Physiker mit der Erforschung des gesetzmäßigen Zerfalles einiger radioaktiver Elemente ein Mittel in die Hand gaben, das Alter auch sehr früh gebildeter Gesteine zu bestimmen, sofern diese nur gewisse radioaktive Anteile enthalten.

Auf welcher Grundlage dieses Verfahren beruht, wie es angewandt wurde und noch wird und zu welchen Ergebnissen es führt, das sollen die nächsten Seiten zeigen.

## I. Der Feuerstein



EINI Das kann ich Ihnen nun doch nicht ohne weiteres glauben!« sagte mein Begleiter zu mir, indem er den Feuerstein nochmals zur Hand nahm. »Wie wollen Sie mir beweisen, daß dieses vorweltliche, versteinerte Tier hier in dem Stein, welches Sie als Seeigel bezeichnen, tatsächlich ein so unvorstellbar hohes Alter von 60 bis 80 Millionen Jahren besitzt?«

Der Stein in seiner Hand war ein gewöhnlicher Feuerstein, wie man ihn in den eiszeitlichen Ablagerungen Nord- und Mitteldeutschlands nicht selten vorfindet. Wir hatten ihn bei unserer Wanderung zufällig am Wegesrande liegen sehen. Unversehrt schaut aus ihm ein zu Stein gewordener Seeigel heraus. Es war sogar ein besonders schönes Exemplar (Abb. 1), ein Zeuge irdischen Lebens längst vergangener Epochen geologischer Geschichte. Wie kam er hierher?

Nun, in der Kreidezeit hatte er in einem Meere gelebt, welches fast unseren ganzen europäischen Kontinent überspülte. Das Meer verschwand, und eingebettet in den alten, nun trockenen Meeresboden ruhte er etwa im Gebiet der heutigen Ostsee. Erst sehr viel später kam er mit den Gletscherströmen der Eiszeit hierher nach Mitteldeutschland, wo wir ihn hatten liegen sehen.

Nachdenklich betrachtete ich die in dem Kiesel bis zum heutigen Tage so gut erhaltenen Formen jenes Tieres, dessen Nachfahren noch jetzt fast unverändert die Meere bevölkern. Gewiß, der Zeitraum, welchen die Hand mit diesem Stein umschließt, ist unvorstellbar groß für einen Menschen, dem schon sein kurzes Leben eine Ewigkeit dünkt, und doch ist er nur ein kleiner Bruchteil der gesamten Erdgeschichte.

Aber blicken wir einmal zurück: Die Erde, für den Durchschnittsmenschen Sinnbild der unwandelbaren Festigkeit, die Gebirge, die Felsen aus Granit, sie alle waren keineswegs immer so, wie sie heute sind. Verfolgen wir die Erdgeschichte, wie sie sich aus den Forschungen der Geologie (Anm. 1) ergibt, so sehen wir Gebirge von der Größe der Alpen entstehen und wieder völlig verschwinden. Die zerstörende Kleinarbeit der Verwitterung mit all ihren Einflüssen, wie Sonnenhitze, Frost, Niederschlägen, Eis, Wind und der Arbeit der Gewässer, hat sie wieder abgetragen. Zwar sagt der Volksmund: »Steter Tropfen höhlt den Stein!« Doch welcher Zeitraum war erforderlich, um ein ganzes Gebirge abzubauen!

Und auch dieser Abbau blieb nur eine kleine Episode im Leben unseres Heimatplaneten (Anm. 2) Erde. Einen langen Weg hat er zurückgelegt, seit er entstand - vermutlich als ein glühender Gasball. Nochmals war es eine Ewigkeit, bis schließlich die erste zusammenhängende Kruste auf seiner Oberfläche gebildet war.

Im Wechselspiel der Kräfte formte sich im Laufe riesiger Zeiträume das heutige Antlitz unserer Erde. Die Energien des Erdinneren traten dabei form-schaffend in Erscheinung, als Gebirgsbildung z. B. oder als Vulkanismus, Erdbeben usw., während die äußeren Kräfte, vornehmlich jene der Verwitterung, unablässig bestrebt waren, wieder auszugleichen, einzuebnen, zu zerstören und abzutragen.

In die Vielfalt der Erscheinungen und Ereignisse, deren Spuren sich teilweise gegenseitig auslöschen, überlagern und beeinflussen, Ordnung zu bringen, ist schon nicht leicht; wieviel schwerer aber gestaltet sich die Aufgabe, das **Z e i t m a ß** im Ablauf des Geschehens zu erkennen, sei es, um nur die Reihenfolge der Dinge deutlich werden zu lassen oder gar um deren absolutes Alter festzulegen.

Und doch ist beides möglich geworden. Ja, darüber hinaus haben wir heute sogar ein Mittel an der Hand, die ältesten Gesteine - wie auch alle jüngeren - auf ihr Alter zu untersuchen. Erst mit Hilfe der geologischen Forschungsergebnisse, durch welche die anscheinend planlose Vielfalt verschiedenartiger Gesteine in einen sinnvoll verknüpften zeitlichen Ablauf geordnet wird, ist es möglich geworden, die einzelnen Altersbestimmungen auszuwerten. Seitdem man jedem Gestein innerhalb des relativen geologischen Ablaufes seinen festen Platz zuweisen kann, ermöglicht die Altersmessung einzelner Gesteine eine zeitliche Orientierung der gesamten geologischen Vergangenheit.



Abb. 1: Seeigel (*Discoidea cylindrica*) in einem Feuerstein, welcher, der geologischen Formation der Kreide entstammend, während der Eiszeit mit den Eismassen zu uns gelangte.



## II. Geologische Zeiteinteilung und die Entwicklung des Lebens

CHON während der letzten Jahrhunderte fand man in den Ablagerungen früherer geologischer Epochen Reste der Lebewelt dieser Zeiten. Zwar wogte zuerst lange der Widerstreit der Meinungen hin und her, wie die Funde zu deuten seien. Als um die Wende der Jahre 1695/96 in Thüringen die Reste eines eiszeitlichen Mammuts entdeckt wurden, beauftragte Herzog Friedrich das Collegium medicum in Gotha als oberste sachverständige Behörde, den Fall zu untersuchen. Nach langatmigen Ausführungen kamen die Ärzte zu dem Schluß, daß es sich hier um ein »Naturspiel« handele, um eine zufällige Bildung. Auch andernorts wurden Funde organischer Reste zunächst nicht richtig gedeutet. Sofern es sich um Überbleibsel größerer Tiere handelte, glaubte man, es seien Gebeine verkrüppelter Menschen oder solche von Ungeheuern der Sündflut u. ä.; kleine Versteinerungen wurden als mineralische Kuriosa gedeutet. Doch nicht lange blieb diese Ansicht unwidersprochen. Als sich die Funde häuften, mehrte sich die Zahl derjenigen Forscher, welche klar erkannten, daß es sich um die Reste von Lebewesen, seien es Tiere oder Pflanzen, alter, längst vergangener Zeiten handelte. Aus den Abweichungen in deren Bau gegenüber den heute lebenden Formen mußte sehr bald der Schluß gezogen werden, daß eine Entwicklung seither eingetreten war, welche neue Bildungen erzeugt, die alten Organismen allmählich verändert hatte. Bestärkt wurde man in dieser Ansicht, als sich Tier- und Pflanzenarten fanden, welche es heute nicht mehr gibt, die also im Laufe der Fortentwicklung ausgestorben sind. Dieses Prinzip der Entwicklung der Arten wurde inzwischen durch so ungeheuer viele Einzelfunde belegt, daß wir es heute zum gesicherten Bestand unseres Wissens rechnen können.

Jeder geologische Zeitabschnitt, für uns gekennzeichnet durch seine teils sandigen, teils tonigen oder kalkigen Ablagerungen, welche wir z. B. als Sandsteine, Schiefer oder Kalke kennen, hatte seine bestimmten tierischen und pflanzlichen Lebensformen, die nur für ihn typisch sind. Dieser Tatsache ist es zu verdanken, daß in dem Maße, wie die Erforschung der Entwicklung des Lebens, als Wissenschaft in der Paläontologie (Anm. 1) zusammengefaßt, Fortschritte machte, auch die relative Altersgliederung der zugehörigen geologischen Schichten, in welchen die versteinerten organischen Reste gefunden wurden, aufgehellt werden konnte. So ging man bald daran, die Alterfeststellung

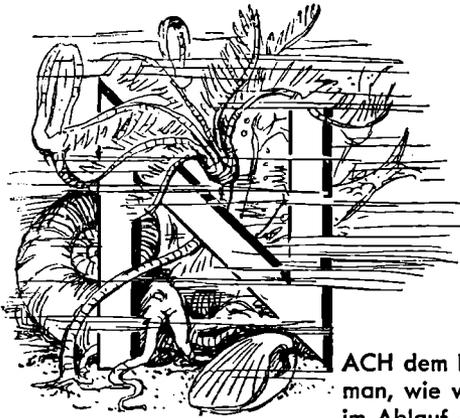
einer bestimmten geologischen Schicht in der Weise vorzunehmen, daß man deren organische Reste, die Fossilien (Anm. 1), mit jenen der tieferen und höheren, also der älteren und jüngeren Horizonte verglich und aus dem Fortschreiten des Entwicklungsstandes der Organismen Rückschlüsse auf die gegenseitige Altersstellung der Schichten zog. Es ergab sich dabei, daß auch über sehr weite Räume hinweg die Ablagerungen mit gleichem Fossilinhalt häufig im großen und ganzen das gleiche relative Alter aufweisen. Natürlich kann man so noch keine Aussagen machen, wie alt, absolut gesehen, die betreffenden geologischen Horizonte sind. Man kann nur sagen: Schicht A ist jünger als Schicht B, bzw. Schicht B muß älter sein als Schicht A. Aber bereits diese Einordnung ist von hohem Wert. Nehmen wir z. B. an, in einem neuen Gebiet findet eine Expedition in einem unbekanntem geologischen Horizont eine Reihe pflanzlicher und tierischer Versteinerungen. Nach kurzer Untersuchung werden diese als charakteristisch für die, sagen wir, eingangs erwähnte Kreidezeit erkannt. Dann ist damit auch das relative Alter dieser Schicht festgelegt, man muß sie ebenfalls in die Kreidezeit stellen.

Für jeden Zeitabschnitt ist auf diese Art eine Anzahl typischer Tier- und Pflanzenformen gefunden worden, deren Überreste als sogenannte »Leitfossilien« zur geologischen Bestimmung dienen können. Nicht etwa nur an große Individuen ist hierbei zu denken, nein, bis hinab zu den einzelligen Lebewesen reicht unsere Kenntnis, und auch letztere, ja, örtlich gerade diese, geben uns die Möglichkeit einer bis ins letzte gehenden, feinen relativen Altersgliederung der Schichtkomplexe.

Es ist einleuchtend, daß das geschilderte Verfahren zuverlässig sein muß in Räumen etwa von der Größe Deutschlands, welche auch früher schon mit einer ziemlich einheitlichen Fauna und Flora (Anm. 3) besiedelt waren. Wie aber steht es nun, wenn man große Gebiete, etwa Erdteile, miteinander vergleichen will?

Wenn man auch zugeben muß, daß die relative Altersgliederung mit Hilfe der Leitfossilien stets eine gewisse Ungenauigkeit aufweisen wird, so muß man doch überlegen, daß die Zeiten für die Ausbreitung einer Tier- und Pflanzenwelt selbst über große Räume hinweg doch – trotz ihrer Länge für unsere Begriffe – verglichen mit den Zeiträumen des geologischen Geschehens im ganzen sehr klein, ja verschwindend sind.

Anders steht es allerdings mit der grundsätzlichen Frage, ob nicht die gleichen Lebensformen sich an verschiedenen Orten auch zu verschiedenen Zeiten entwickeln und somit grobe Fehlschlüsse in der Altersgliederung unterlaufen konnten. Eine eindeutige Antwort auf diesen Einwand läßt sich nach dem heutigen Stand der Paläontologie zwar nicht geben; immerhin bringen aber ganz andere Methoden, die nachstehend behandelt werden sollen, Ergebnisse, welche die biologische (Anm. 4) Altersgliederung voll bestätigen. Die Voraussetzungen, von denen wir hier ausgingen, müssen daher im allgemeinen doch wohl richtig sein.



### III. Muscheln als Zeitmesser

NACH dem Fossilinhalt einer geologischen Schicht kann man, wie wir sahen, nur deren relative Altersstellung im Ablauf des Gesamtgeschehens ermitteln. Über die wirkliche Zeitdauer in Jahren, welche zur Bildung der Schicht nötig war, sowie auch über deren wirkliches Alter läßt sich damit nichts aussagen. Wir wissen also noch nicht, ob seitdem Tausende, Hunderttausende oder gar Millionen von Jahren vergingen. Es scheint zunächst ziemlich hoffnungslos, auch nur an einer Stelle diesen Schleier des Geheimnisses zu lüften und einen Einblick in die wahren Zeitverhältnisse zu erhalten. Und doch ist dies örtlich möglich. Das folgende Beispiel soll für viele andere angeführt werden. Es zeigt, wie man die Zeugnisse und Überreste des organischen Lebens früherer Perioden zur Zeitbestimmung benutzt, indem man für die Lebensdauer eines Individuums bestimmte wahrscheinliche Annahmen macht und sodann die Generationen abzählt.

Wie es heute Riffe von Korallen oder Austern gibt, so siedelten sich bereits in fernen geologischen Zeiten, besonders im Zeitabschnitt des Muschelkalkes, festsitzende Muscheln auf dem Meeresgrunde an und bauten ebenfalls kleine Riffe auf. Diese Kolonien wuchsen schneller in die Höhe als der umgebende Meeresgrund. Auch auf diesem häuften sich teils organisches Material, teils mineralische Substanz an, welche die Flüsse als Trübe der See zuführten, jedoch in langsamerem Tempo.

Nun sind in die Ablagerungen der Muschelkalkmeere, noch jetzt deutlich erkennbar, die Muschelkolonien als kopf- bis mannsgröße Bildungen in den Schichtenbau eingeschaltet. Wegen ihres rascheren Wachstums erscheinen sie wie Knollen oder Linsen zwischen die Schichten eingefügt, wobei sie diese auseinanderzudrücken scheinen (Abb. 2). Aus dem Verhältnis zwischen Dicke des Riffes (A) und des zugehörigen, in der gleichen Zeit gebildeten Schichtteiles (B) kann man schließen, daß die Muschelkolonien etwa doppelt so schnell wuchsen wie das umgebende Gestein, also der alte Meeresgrund, weil die Sedimentation, die Ablagerung auf dem Meeresboden, mit dem Wachstum der Muschelkolonien nicht Schritt halten konnte.

Es läßt sich abzählen, wieviel Generationen Muscheln an einem Zentimeter des Riffes mitgebaut haben, da die Schalen noch recht gut zu beobachten

sind. Nimmt man schließlich an, daß jede Generation 4 bis 5 Jahre brauchte, bis sie von der nächstjüngeren abgelöst wurde, so müßte man für die Bildung von 1 cm des Riffes etwa 100 Jahre (bei ca. 20 bis 25 Schalenquerschnitten, also Generationen) ansetzen. 1 m Riffgestein würde sich somit in 10000 Jahren, 1 m Muschelkalk der Umgebung, wegen des um die Hälfte langsameren Wachstumes, in 20000 Jahren bilden. Für die ganze Muschelkalkschicht erhält man danach einen Entstehungszeitraum von rund 5 Millionen Jahren. Sicher wird diese Zahl nur als sehr grobe Annäherung aufzufassen sein, aber sie gibt doch bereits einen Anhaltspunkt für die Größenordnung der absoluten Zeiträume in diesem Teil des erdgeschichtlichen Ablaufes. Allerdings darf man nicht vergessen, daß es sich hier um eine nur ganz örtlich anzuwendende Methode für eine Zeitmessung handelt, der keine allgemeine Bedeutung zukommt.

Abb. 2: Muschelriff, in den Muschelkalk eingelagert. Die Muschelkolonie (Dicke A) ist doppelt so mächtig wie die gleichzeitig gebildete umgebende Schicht (B); sie wuchs also zweimal rascher als der ehemalige Meeresboden. Die Wachstumsgeschwindigkeit des Riffes läßt sich abschätzen, somit auch die des benachbarten Schichtverbandes.



## IV. Geologische Zeitbestimmung



**D**OCH auch bei den anderen geologischen Versuchen, ein absolutes Zeitmaß aus dem Schichtsystem herauszulesen, handelt es sich nur um beschränkt verwendungsfähige Verfahren.

Ein besonders eindrucksvolles Beispiel sei vorangestellt. Die Salzlagerstätten, welche sich in dem geologischen Zeitabschnitt des Zechsteines bildeten (wozu ein großer Teil unserer deutschen Salz- und Kalivorkommen zu rechnen ist), entstanden in einem flachen Meeresteil. Nun gab es auch bereits damals Jahreszeiten und somit Temperaturunterschiede. Die Löslichkeit der verschiedenen Hauptbestandteile der Salzvorkommen ist jedoch bis zu einem gewissen Grade von der Temperatur abhängig, so daß die gesättigten Salzlösungen am Meeresboden dieser ehemaligen Flachsee im Wechsel der Jahreszeiten bestimmte Gemengteile bevorzugt abschieden. So stieg im Sommer die Löslichkeit des Steinsalzes, während jene des Anhydrits abnahm, so daß in den Ausscheidungen letzterer überwiegt. Im Winter der Zechsteinzeit herrschte dagegen die Abscheidung von Steinsalz vor. Diese Erscheinung führte zur Bildung streifenförmiger Schichten in den Salzablagerungen, die jeweils einem Sommer bzw. Winter entsprechen. Man hat sie mit den Jahresringen der Bäume verglichen. Es ist nun lediglich nötig, die Anzahl dieser »Jahresringe« abzuzählen, und man weiß sofort, wieviel Jahre für die Bildung der Schicht erforderlich waren. Ein Beispiel für die Ausbildung der »Ringe« zeigt das vorstehende Bild. Leider aber sind die Salzvorkommen in ihrer Ausbildung beschränkt, und auch die »Jahresringe« treten keineswegs überall mit großer Deutlichkeit auf, so daß, wie gesagt, nur örtliche Erfolge mit diesem Abzählverfahren zu erhalten sind.

Eine ganz ähnliche Erscheinung findet sich in den sehr viel späteren Ablagerungen der Eiszeit, also in unserer jüngsten erdgeschichtlichen Vergangenheit. Diesmal ist es eine lagenförmige Wechselschichtung von Ton und Sand, der sogenannte Bänderton. Beim Rückzug des Inlandeises setzten die Schmelzwässer in dem eisfreien Vorland in flachen Seen Tone und Sande ab. Während die größeren Wassermengen im Sommer zur Ablagerung der Sande führten, brachten die schwachen Zuflüsse der kühleren Jahreszeit nur eine Tonschicht zum Absatz (Abb. 3). Auf einer 800 km langen Strecke konnte man z. B. in Südschweden insgesamt 7000 derartige Wechsellagen auszählen, so daß der Bildungszeitraum dieser nacheiszeitlichen Schichten dementsprechend etwa 7000 Jahre umfaßt.

Hie und da kam es auch in früheren erdgeschichtlichen Zeiten zu einer ähnlichen, im Rhythmus der Jahreszeiten wechselnden Ablagerung. Selbst größere Perioden, wie der klimatisch bedeutungsvolle Sonnenfleckenzyklus von im Durchschnitt 11 Jahren oder noch längere Klimaschwankungen, scheinen sich vereinzelt auszuwirken. Darauf deutet eine Wechsellagerung von Kalk (als Produkt trockener Zeiten) und Ton (als Folge größeren Niederschlagsreichtums) zum Beispiel in der der Kreidezeit vorangehenden Formation des Jura hin.

Noch viele ähnliche Versuche von meist nur örtlicher Bedeutung, aus irgendwelchen geologischen Prozessen die Dauer einer bestimmten erdgeschichtlichen Periode abzuleiten, ließen sich anführen. Man versuchte z. B. aus dem Rückwärtswandern von Wasserfällen – infolge der Abtragung durch das Wasser selbst, der sogenannten Erosion – Rückschlüsse auf die Dauer der dafür nötigen Zeiträume zu ziehen; auch das Wachstum von Anschwemmungen an Flußmündungen, von Ablagerungen an den Küsten und in Seen, von Torfmooren, ja, von der Vertiefung des Einschnittes der Flußtäler wurde herangezogen und gab häufig beschränkten Aufschluß über die angenäherten Zeitverhältnisse. Doch ist dies alles völlig unzureichend für die Lösung des Problems der Altersbestimmung der erdgeschichtlichen Perioden und des Alters der Erde insgesamt.



Abb.3: Eiszeitlicher Bänderton. Die Bänderung entstand im Jahresrhythmus bei der Ablagerung des Sedimentes. Man bezeichnet die feinen Lagen als »Warven« und erhält durch deren Abzählung Aufschluß über den während der Ablagerung verstrichenen Zeitraum.

Auch der Versuch, aus der Mächtigkeit der Ablagerungen von Schicht- oder Absatzgesteinen (Sedimenten, vgl. Anm. 5) in großem Maßstab die Zeitverhältnisse zu klären, mißlingt. Es sind zu viele nur angenähert oder überhaupt nicht erfassbare Umstände hierbei zu berücksichtigen, welche den Vorgang der Ablagerung beeinflussen und damit bei der Festlegung einer Zeitskala störend wirken.

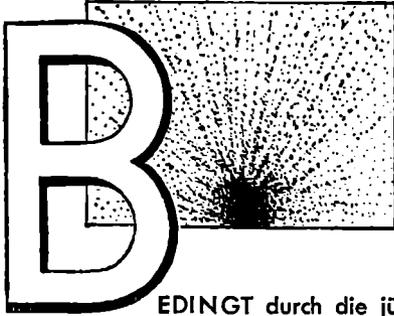
Einen ebenfalls nur ungewissen Wert für die Bestimmung des Erdalters muß man dem Versuch beimessen, aus dem Salzgehalt der Meere zu schließen, wie lange es gedauert haben mag, bis die Flüsse in ein ursprünglich salzfreies Meer die dem heutigen Salzgehalt entsprechende Salzmenge transportiert hatten. Man kann ungefähr schätzen, wieviel Salz den Ozeanen im Jahre zugeführt wird. Da man den Gesamtsalzgehalt kennt, läßt sich errechnen, daß etwa 360 Millionen Jahre erforderlich waren. Bedenkt man jedoch, daß in der Periode nach einer Gebirgsbildung, in der wir uns noch befinden, sowie durch die künstlichen, vom Menschen hervorgerufenen Veränderungen der Erdoberfläche die Salzauslaugung auf dem Festlande intensiver wird, so muß man schließen, daß sich ein zu kurzer Zeitraum ergibt.

Der anscheinend überzeugende Versuch auszurechnen, wie lange es gedauert hat, bis sich die Erde vom Stern zum heutigen Stadium abkühlte, wenn man bestimmte Annahmen über die Temperaturzunahme im Erdinneren und die Wärmeleitfähigkeit der Gesteine machte, ergab mit 40 Millionen Jahren eine viel zu kleine Zeitspanne. Man hatte nämlich noch nicht berücksichtigt, daß die weite Verbreitung radioaktiver Elemente im Erdinneren mit ihrer Wärmeproduktion die Abkühlung der Erde stark verzögert. Somit ist auch diese Schätzung unzureichend geblieben.

Welches aber ist nun endlich das entscheidende Verfahren, mit dessen Hilfe wir der Lösung des Problems der Altersbestimmung unserer Erde näherkommen können? Gibt es überhaupt eine Möglichkeit, zu besseren Aussagen als den bisher erreichten über das Alter der einzelnen geologischen Schichten und der Erde selbst zu gelangen?

Erst die letzten Jahrzehnte brachten in dieser Richtung einen gewaltigen Fortschritt. – Doch bevor wir verstehen können, welche Wege zu dem erstrebten Ziele führen, müssen vorerst einige physikalische und geophysikalische (Anm. 6) Begriffe geklärt werden, die für das weitere Verständnis unerlässlich sind.

## V. Radioaktivität der Erde



**B**EDINGT durch die jüngste Entwicklung, welche die moderne Physik auf dem Gebiet der Atomkernspaltung (Anm.7) durchlief, ist der Begriff der Radioaktivität heute allgemein geläufig geworden.

Im Jahre 1896 entdeckten die Physiker, daß das chemische Element (Anm. 8) Uran ständig eine Strahlung aussendet, welche in der Lage ist, eine fotografische Platte zu schwärzen (obige Abbildung). Kurz danach fand man, daß das Thorium dieselbe Eigenschaft aufweist. Später wurde als Ursache dieser merkwürdigen Erscheinung die Tatsache erkannt, daß diese radioaktiven Atome ständig von selbst zerfallen, und zwar unter Aussendung von drei Strahlenarten, den sogenannten  $\alpha$ -Strahlen, welche aus Atomkernen des Elementes Helium bestehen, den  $\beta$ -Strahlen in Form von Elektronen und einer als  $\gamma$ -Strahlung bezeichneten kurzwelligigen elektromagnetischen Strahlung (Anm. 9). Auf der Suche nach weiteren unter den damals schon bekannten chemischen Elementen, welche diese Eigenschaften besitzen, fand man schwächere radioaktive Erscheinungen bei Kalium und Rubidium. Schließlich gelang es 1898, zwei neue Elemente aufzufinden, das Radium und das Polonium, welche besonders starke Zerfallserscheinungen aufweisen. In der Folgezeit wurden insgesamt 36 neue radioaktive Elemente bekannt.

Für unsere Betrachtung ist nun wichtig, daß die Elemente Uran, Thorium und Rubidium, die ersten beiden in Form von Pechblende, in den Gesteinen der Erdkruste verbreitet vorkommen (Abbildung auf der Rückseite dieses Heftes und Anm. 10). Hier zerfallen sie unter Aussendung der erwähnten Strahlen über eine Reihe von Zwischenformen, die ihrerseits auch chemische Elemente darstellen, bis am Schluß des sehr lange Zeiträume beanspruchenden Prozesses Blei übrigbleibt. Am Ende der Uranreihe steht das Bleiisotop 206 (Anm. 11), die Zerfallsreihe des Thoriums wird vom Bleiisotop mit dem Atomgewicht 208 beschlossen. Das gewöhnliche Blei, wie es in der Natur vorkommt und wie es ein jeder kennt, ist eine Mischung dieser beiden Isotopen mit jenem, welches aus dem Aktiniumzerfall (Aktinium ist ebenfalls ein radioaktives Element, s. u.) hervorgeht, und hat daher ein mittleres Atomgewicht 207,2.

Da die von den radioaktiven Elementen abgegebene Energie allmählich zu einer Erwärmung des ganzen Erdkörpers führen müßte, eine solche aber

offensichtlich nicht eintritt, kann man den Schluß ziehen, daß entweder nach dem Erdinneren zu die Menge der radioaktiven Substanzen stark abnimmt oder die unkontrollierbaren Temperatur- und Druckverhältnisse (Anm. 12) im Erdkern den radioaktiven Zerfallsprozeß verhindern. Im allgemeinen neigt man zu der ersten Auffassung, daß nämlich nur die obersten 10 bis 15 km der Erdrinde (Anm. 13) stärker radioaktiv sind.

Träger der radioaktiven Elemente in dieser obersten Schicht sind zunächst alle Erstarrungsgesteine (Anm. 5) wie Granite, Basalte, Diorite, also jene Gesteine, welche aus einem Magma teils in der Tiefe erstarrten, teils zur Erdoberfläche in Form vulkanischer Ergüsse durchbrachen. Doch auch die Sedimente, die Schicht- oder Absatzgesteine (Anm. 5), welche aus den von der Verwitterung erzeugten Trümmern der Erstarrungsgesteine entstanden, also Schiefer, Sandsteine und Kalksteine, enthalten einen gewissen Anteil radioaktiver Substanzen.

Die Radio-Elemente treten in den genannten Gesteinen nicht in reiner Form auf, sondern als chemische Verbindungen, Uran meist als Pechblende. Diese enthält bis zu 85% Uran und bis zu 10% Thorium. Radium ist in ihr stets enthalten, da es ja bei dem Zerfall des Urans als Zwischenprodukt entsteht, und zwar in dem stets konstanten Verhältnis Uran : Radium wie 3 Millionen : 1. Auch in Gestalt von Phosphaten kommt das Uran mineralisch vor. Thorium beobachtet man im Gesteinsverband als Thoriumoxyd (als Mineral »Monazit« genannt) oder in Verbindung mit den Elementen Silizium als Silikat, Phosphor als Phosphat, Stickstoff als Nitrat usw. Fast immer tritt es jedoch gemeinsam mit den Uranverbindungen auf.

Wie schon angedeutet wurde, ist der radioaktive Zerfall dieser Elemente in den Gesteinen der Erdkruste, soweit bekannt, durch nichts, auch nicht durch hohe Drucke oder Temperaturen zu beeinflussen oder gar aufzuhalten.

Außer der vermutlich unbeeinflussbaren Energieabgabe in Form von  $\alpha$ -,  $\beta$ - und  $\gamma$ -Strahlen vollzieht sich bei dem Zerfallsvorgang laufend die Bildung neuer Atome oder vielmehr die Umwandlung der ursprünglichen radioaktiven Atome in neue. So geht das Uran über die chemischen Elemente Uran X, Ionium und Radium, die ihrerseits radioaktiv sind, schließlich in das nicht mehr radioaktive, stabile Blei über. Es werden also Elemente höheren Atomgewichtes unter Aussendung von Heliumatomen, Elektronen und kurzwelligen Strahlen abgebaut, d. h. in solche niederen Atomgewichtes umgewandelt. Auch das Thorium ist der Ausgangspunkt einer solchen Zerfallsreihe, welche über die Zwischenstufen Mesothor, Radiothor, Thorium-X schließlich zu den Elementen Thorium A, B, C und D führt, wobei das letztere wieder eine stabile Bleiart darstellt.

Das Rubidium, ein chemisches Element mit dem Atomgewicht 85,4, sendet nur  $\beta$ -Strahlen aus, welche aus Elektronen bestehen, und setzt sich dabei in Strontium um, ist also nicht der Ausgangspunkt einer ganzen Zerfallsreihe. Genauer gesagt geht das Rubidiumisotop 87 unter Aussendung von Elektronen

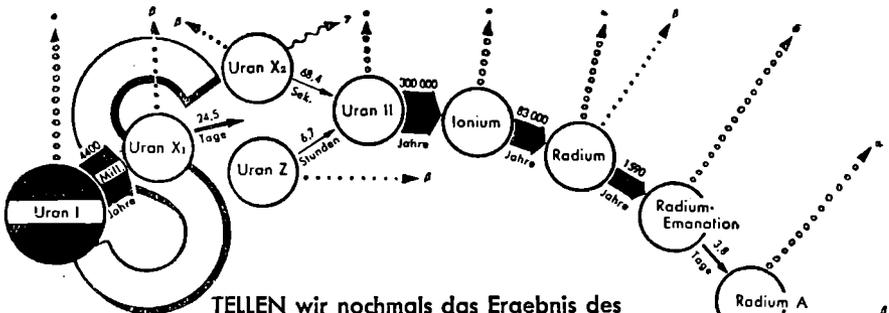
in das Strontiumisotop 87 über (Anm. 11). Es wird also bei diesem Prozeß infolge des Fehlens der  $\alpha$ -Strahlung kein Helium gebildet.

Welche Zeiträume sind für den Umwandlungsprozeß bei Uran und Thorium erforderlich? Die folgende Tabelle und die Abb. auf S. 16 mögen hierüber Aufschluß geben. Zur Erläuterung sei hinzugefügt, daß die angegebenen Umwandlungszeiten sogenannte »Halbierungszeiten« oder »Halbwertszeiten« sind, d. h. Zeiträume, welche für den jeweiligen Zerfall der Hälfte der vorhandenen radioaktiven Substanz erforderlich sind.

ZERFALLSREIHE DES URANS		ZERFALLSREIHE DES THORIUMS	
Element	Halbwertszeit	Element	Halbwertszeit
Uran I	4,4 Milliarden Jahre	Thorium	18 Milliarden Jahre
Uran X <sub>1</sub>	24,5 Tage	Mesothor 1	6,7 Jahre
Uran X <sub>2</sub>	68,4 Sekunden	Mesothor 2	6,1 Stunden
Uran II	300 000 Jahre	Radiothor	1,9 Jahre
Ionium	83 000 Jahre	Thorium X	3,6 Tage
Radium	1590 Jahre	Thorium-Emanation	54,5 Sekunden
Radium-Emanation	3,8 Tage	Thorium A	0,14 Sekunden
Radium A	3 Minuten	Thorium B	10,6 Stunden
Radium B	27 Minuten	Thorium C	60,5 Minuten
Radium C	20 Minuten	Thorium C''	3,1 Minuten
Radium C'	1/100 000 000 Sekunde	Thorium D (Blei)	
Radium D	22 Jahre		
Radium E	5 Tage		
Polonium	140 Tage		
Blei			

Wie man nicht ohne Überraschung sieht, sind die Zeiten für den Zerfall der halben Menge des jeweiligen radioaktiven Elementes sehr verschieden. Während Uran und Thorium Milliarden von Jahren benötigen, wandeln sich die übrigen Glieder der Zerfallsreihen in Zeiten um, die zwischen Bruchteilen einer Sekunde über Minuten, Stunden, Tage bis zu einigen Jahrtausenden liegen. Dennoch vollzieht sich der radioaktive Zerfall zeitlich streng gesetzmäßig. Weiß man also, wieviel von einer der radioaktiven Substanzen sich umgesetzt hat, so kann man errechnen, welche Zeit seit Beginn des Umwandlungsprozesses verstrichen ist. Als die Physik diese Feststellung getroffen hatte, war es nur noch ein kleiner Schritt bis zur praktischen Anwendung dieser Erkenntnis auf unser Problem, die erdgeschichtliche Zeitmessung. Und mit dieser Anwendung wollen wir uns nun befassen.

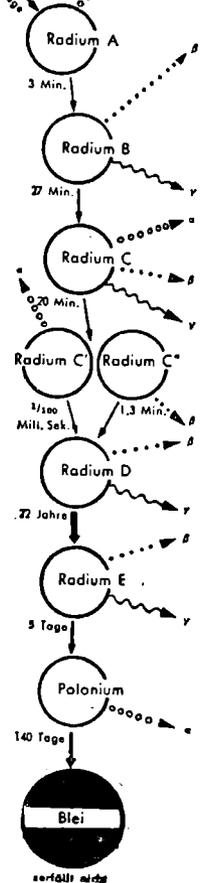
## VI. Radioaktive Mineralien als erdgeschichtliche Uhren



TEILEN wir nochmals das Ergebnis des Abschnittes V den weiteren Schlußfolgerungen voran. Wir sahen: Die verbreitet in den Gesteinen der Erdkruste auftretenden radioaktiven Elemente Uran und Thorium wandeln sich unter Abgabe einer Strahlung im Laufe genau meßbarer, sehr langer Zeiten über verschiedene Zwischenelemente schließlich in Blei und Helium um. Bei Uran entsteht achtmal, bei Thorium sechsmal soviel Helium wie Blei. Das radioaktive Element Rubidium zerfällt bei Aussendung von Elektronenstrahlen in Strontium.

Diese Zerfallsprozesse vollziehen sich auf der Erde nun schon, seit sich die ersten Gesteine in der soeben erstarrten Erdkruste bildeten. Auch als im weiteren Verlaufe der Erdgeschichte wiederholt Erstarrungsgesteine aus flüssigen Magmen und Laven entstanden, setzte der Prozeß im Augenblick der Verfestigung der radioaktiven Substanzen im Schmelzfluß ein. In diesen Augenblicken wurde also gleichsam eine Uhr aufgezogen, die seitdem unaufhörlich, streng gesetzmäßig und unbeeinflußbar abläuft. In dem Maße, wie die Zeit fortschreitet, verwandeln sich Uran und Thorium in die Endprodukte Blei und Helium, bzw. Rubidium in Strontium. Gelingt es nun, das Verhältnis zwischen der Menge der Zerfallsprodukte und der Ausgangssubstanz zu ermitteln, so kann man, wie wir sahen, einen Rückschluß auf den Zeitpunkt des Beginns der Umsetzung ziehen.

Nun sind in vielen erdgeschichtlichen Perioden



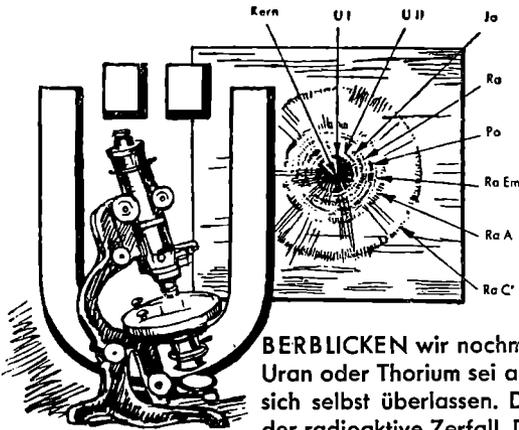
Erstarrungsgesteine gebildet worden. Wenn es also möglich ist, in diesen Gesteinen Mineralien aufzufinden, die einen meßbaren Anteil radioaktiver Elemente enthalten, so müßte auf Grund der gleichzeitigen Anwesenheit einer bestimmten Menge von Blei, Helium oder Strontium als Zerfallsprodukten eine Altersfestlegung des Gesteins – und damit der geologischen Formation, in welcher es sich bildete – durchführbar sein. Man müßte auch vor allem in den ältesten bekannten geologischen Formationen (z. B. in Skandinavien oder Kanada) versuchen, einen Anhaltspunkt für die Bestimmung des Alters der Erdkruste zu erhalten.

Fraglich ist zunächst nur, ob es überhaupt gelingt, für eine Messung ausreichende Spuren von radioaktiven Elementen und Zerfallsprodukten aufzufinden und gleichzeitig nachzuweisen, daß deren gegenseitiges Verhältnis im Laufe der Erdgeschichte nicht durch unbekannte Vorgänge verändert wurde.

Es hat sich gezeigt, daß das erstere tatsächlich gelingt. Die Gefahr einer Verfälschung der Altersbestimmung durch nachträgliche Veränderung des Anteiles unzersetzter radioaktiver Substanz im Verhältnis zu den Umwandlungsprodukten besteht allerdings. So ist ohne weiteres zu erwarten, daß das entstandene Helium, seiner Natur nach ein Edelgas, zu einem Teil oder auch vollständig, und zwar besonders aus den alten Gesteinen, entweichen kann. Dies um so mehr, als es unter erhöhtem Druck steht, welcher das Gefüge der Mineralien zerstören kann. Anders das Blei. Dieses erhält sich – den Fall der allgemeinen Verwitterung ausgenommen – auch über lange Zeiträume unverändert. Höchstens besteht hier die Gefahr, daß von Anfang an Blei nicht radioaktiver Herkunft vorhanden war, welches den Bleianteil erhöht und damit die Messung verfälscht. Man kann sich jedoch durch eine Prüfung des Atomgewichtes gegen derartige Trugschlüsse sichern. Während das gewöhnliche Blei das Atomgewicht 207,2 aufweist, zeigt das am Ende der radioaktiven Umwandlung entstehende Uranblei (Radium G) das Atomgewicht 206. Das aus dem Thoriumzerfall stammende Blei besitzt das Atomgewicht 208. Schließlich wird eine Altersbestimmung stets aus einer größeren Zahl von Einzelmessungen ermittelt, so daß eine vereinzelte Unzuverlässigkeit des Alterswertes nur einen geringen Fehler verursachen kann.

#### **Erläuterung zu nebenstehender Abbildung:**

Das Schema soll die radioaktive Zerfallsreihe des Urans verdeutlichen. Die Kette beginnt mit dem Uran und endet mit dem stabilen Blei. Die zwischenliegenden Elemente, welche bei dieser Umwandlung durchlaufen werden, sind durch Kreise angedeutet. Der radioaktive Zerfall vollzieht sich nur in der Richtung der Pfeile, an welchen die jeweils zugehörigen Halbwertszeiten vermerkt sind. Die Länge dieser Zeiträume, innerhalb deren sich die halbe Menge radioaktiver Substanz umgesetzt hat, ist andeutungsweise auch durch die Stärke der Pfeile wiedergegeben. Schließlich sollen die von den einzelnen Elementensymbolen ausgehenden punkt- und wellenförmigen Pfeile zeigen, ob bei dem Zerfall des betreffenden Gliedes dieser Kette korpuskulare  $\alpha$ - oder  $\beta$ -Strahlung oder wellenförmige  $\gamma$ -Strahlung bzw. beide gemeinsam ausgesandt werden.



## VII. Radioaktive Zeitmeßverfahren

**BERBLICKEN** wir nochmals kurz: Eine bestimmte Menge Uran oder Thorium sei als Mineral z. B. 1 Milliarde Jahre sich selbst überlassen. Dann vollzieht sich unaufhörlich der radioaktive Zerfall. Das bedeutet: ein Teil des Urans oder Thoriums ist am Ende des Zeitraumes verschwunden; an Stelle jedes zersetzten Uranatoms treten ein Bleiatom und acht Heliumatome.

Aus dieser Tatsache ergab sich für eine praktische Anwendung die Ausarbeitung zweier Methoden, der sogenannten »Bleimethode« und der »Heliummethode«. Nach dem oben Gesagten dürfte verständlich sein, was damit gemeint ist. Während sich das eine Verfahren mit der Messung des Verhältnisses von Urananteil bzw. Thoriumanteil zu Bleianteil befaßt, wird in dem anderen Verfahren das entstandene Heliumgas mit der verbliebenen Menge Uran verglichen.

Um es zahlenmäßig auszudrücken: 1 mg Uran mit seinen einzelnen Umwandlungsprodukten erzeugt in der Sekunde rund 100 Heliumatome. Das bedeutet, daß im Jahr 1/9000000000 Kubikzentimeter Heliumgas entsteht. 1 Kubikmillimeter Helium (auf 1 mg Uran) braucht also zu seiner Bildung 9 Millionen Jahre. Findet man ein Gestein mit 2 mg Uran und 60 Kubikmillimeter Heliumgas, so muß das Alter 270 Millionen Jahre sein. Es kommen nämlich auf 1 mg 30 Kubikmillimeter Helium. Da sich 1 Kubikmillimeter in 9 Millionen Jahren bildet, errechnet sich das Alter somit zu 9 mal 30, also 270 Millionen Jahren. Für ältere Gesteine jedoch ist, wie erwähnt, diese Heliummethode häufig fehlerhaft. Das Gas kann zum Teil, in extremen Fällen sogar bis zu 90%, entweichen, so daß die Altersbestimmung kaum noch annähernd möglich ist. Für relativ junge Mineralien aber sind des öfteren brauchbare Werte erzielt worden. Hier kann die Heliummethode dem Bleiverfahren sogar überlegen sein, denn es ist natürlich zuverlässiger, auf chemischem Wege z. B. aus 100 Gramm Mineralsubstanz die Menge von 1 Kubikzentimeter Helium als die gleichzeitig gebildete Menge von 0,1 mg Blei festzustellen. Völlig zuverlässig ist die Heliummethode für radioaktive Mineralien, welche in gediegenen Metallen eingeschlossen sind, aus welchen ein Entweichen unmöglich ist. Das gilt z. B. für die Altersbestimmung der Eisenmeteoriten, die uns aber erst im letzten Abschnitt dieses Heftes interessieren soll.

Beim Bleiverfahren muß mit ganz andersartigen Schwierigkeiten gerechnet werden. Wie wir bereits hörten, entsteht aus dem Uranisotop 238 (Anm. 11) durch allmähliche Umwandlung das Bleiisotop 206; und zwar bildet 1 Gramm Uran im Jahr 135 Billionstel Gramm Blei. Nach 4,5 Milliarden Jahren hätte sich 1 Gramm Uran vollkommen in Blei verwandelt. Beim Thorium hingegen ist die Bleiproduktion drei- bis viermal geringer, es braucht also auch den entsprechend längeren Zeitraum zum restlosen Übergang in Blei vom Atomgewicht 208. Schwieriger liegen die Dinge nun aber, wenn Uran und Thorium gemeinsam in den Mineralien auftreten, was häufig vorkommt. Dann entsteht als Endprodukt ein Gemisch von Uranblei und Thoriumblei, welches aber gerade dem natürlichen Blei sehr ähnlich sein kann. Nur eine gründliche Untersuchung wird in solchen Fällen zeigen, ob das gesamte Bleigemisch dem radioaktiven Prozeß entstammt und damit für die Berechnung des Alters angesetzt werden kann, oder ob nicht bereits ursprünglich Blei beigemischt war.

Man wird daraus den Schluß ziehen müssen, daß reine Uranminerale, besonders, wenn sie ein höheres geologisches Alter besitzen, sich besser für eine Altersbestimmung nach der Bleimethode eignen als Mineralien mit gleichzeitigem Uran- und Thoriumgehalt, und zwar vorwiegend solche jüngeren Alters, die häufig mit größerem Vorteil nach der Heliummethode zu untersuchen sind.

Wie es scheint, weist das dritte, neueste Verfahren, »Strontiummethode« genannt, keinen Nachteil der bisherigen Methoden auf. Es ist jedoch noch zu wenig praktisch angewandt worden, als daß sich Abschließendes darüber sagen ließe. Es beruht auf dem Zerfall eines Isotops des chemischen Elementes Rubidium mit dem Atomgewicht 87, das, wie wir schon sahen, unter Aussendung von  $\beta$ -Strahlen in Strontium übergeht. Das Rubidium tritt in den ebenfalls vom Granit und Pegmatit her bekannten Mineralien Feldspat und Glimmer auf, besonders in einer speziellen Glimmerart, die man als Lepidolith bezeichnet (Abbildung auf der Rückseite des Heftes).

Welches sind nun die Vorteile dieses Verfahrens?

Zunächst ist zu bedenken, daß der Umwandlungsprozeß unzweideutig ist. Es entsteht kein Helium, das entweichen kann oder die Mineralsubstanz durch seinen Überdruck unerwünscht verändert. Es gibt aber auch keine Unsicherheiten wie beim Bleiverfahren durch die Mischung von Uran- und Thoriumblei. Man braucht hier lediglich das Verhältnis Rubidium zu Strontium zu bestimmen, um eine klare Aussage über das Alter zu erhalten, und darf somit hoffen, daß diese Methode in Zukunft ohne jede Einschränkung die besten Ergebnisse liefern wird.

Bei keinem der drei aufgezählten Verfahren wird man sich für eine Altersbestimmung auf nur eine Messung verlassen. Vielmehr werden zahlreiche Gesteinsproben ausgewählt, und erst das Mittel einer großen Reihe von Einzelergebnissen liefert einen zuverlässigen Alterswert. Ein Beispiel mag für das Bleiverfahren zeigen, wie hoch die Genauigkeit ist:

Insgesamt 50 Proben von verschiedenen norwegischen Pechblenden wurden untersucht. Obzwar der Urananteil zwischen 49 und 75% und der Thoriumanteil zwischen 0,1 und 10% schwankte, ergab sich mit einigen geringen Abweichungen fast für alle Proben übereinstimmend ein Alter von 900 Millionen Jahren, was uns zeigt, daß alle Stücke trotz äußerlicher Verschiedenheiten ungefähr der gleichen geologischen Epoche zugehören müssen.

Lief nun unsere radioaktive Uhr auch immer gleichmäßig ab? Oder war die Geschwindigkeit der Zersetzung von Uran, Thorium oder Rubidium vor 100 Millionen Jahren oder vor einer Milliarde Jahren eine andere als heute?

Zwar gibt es für die Gleichförmigkeit dieses Prozesses im Laufe der Erdgeschichte noch keinen strengen Beweis, wohl aber folgenden interessanten Hinweis:

Man beobachtet an Gesteinsdünnschliffen unter dem Mikroskop, daß, eingeschlossen in verschiedenen Mineralien wie Hornblende, Chlorit, Flußspat oder Zinnstein, besonders aber in dem als Bestandteil des Granits allgemein bekannten dunklen Glimmer (Biotit), des öfteren bis zu  $\frac{1}{50}$  Millimeter große, kreisrunde Verfärbungshöfe um kleinste radioaktive Mineralkörnchen, sogenannte »Zirkone«, auftreten. Die radioaktiven Strahlen müssen offenbar die Ursache für die Umwandlung der benachbarten Glimmerpartien sein, wie sie auf dem Titelbild des Heftes zu sehen sind. Im einzelnen ist jedoch der Mechanismus dieses Vorganges noch nicht restlos geklärt.

Erst bei genauem Zusehen kann man unter dem Mikroskop feststellen, daß der Verfärbungshof eine mehrfache Umrandung besitzt. Es scheint so, als ob die Radien dieser Höfe den Reichweiten der  $\alpha$ -Strahlen der verschiedenen Elemente des radioaktiven Einschlusses entsprächen. Man konnte sogar die Einflußzonen den einzelnen Elementen, z. B. Uran I, Uran II, Ionium, Radium, Polonium, Radiumemanation, Radium A, Radium C' usw., zuordnen (Abbildung am Anfang dieses Abschnittes).

Ferner war auffallend, daß diese Farbhöfe – im Biotit z. B. von schwarzbrauner, im Flußspat von blauvioletter Farbe – um so größer werden, je älter das Mineral ist, je länger also die radioaktive Strahlung einwirkte. Die Hoffnung jedoch, durch Messung des Hofdurchmessers auf einfachem Wege zu einer in jedem Falle zuverlässigen Zeitmessung zu gelangen, mußte aufgegeben werden.

Dennoch bleibt die Tatsache bestehen, daß die Verfärbungsgeschwindigkeit dort, wo allem Anschein nach Temperatur und Druck auf den Prozeß der Hofbildung nicht störend einwirkten, in der bekannten Beziehung zum Zerfall der Radioelemente steht. Die Farbhöfe müssen also als alte, aus allen Teilen der Erdgeschichte stammende Zeugnisse, als Aufzeichnungen dafür angesehen werden, daß die radioaktiven Prozesse zu jeder Zeit schon mit der heutigen Geschwindigkeit abliefen. Das ist ein sehr wichtiger Hinweis, und darin besteht auch der Hauptwert dieser interessanten Erscheinung.



## VIII. Die Einteilung der Erdgeschichte

**B**EVOR wir nun endlich erfahren können, welche Ergebnisse die Zeitmessung mit Hilfe unserer radioaktiven Uhren erbracht hat, müssen wir noch kurz die Einteilung der Erdgeschichte kennenlernen, um zu wissen, welche Zeiträume eigentlich zu messen sind.

Wir nehmen heute noch an, daß die Erde einst als glühender Gasball ihre Lebensbahn begann. Wie es zur Bildung der gasförmigen Erde kam, ist allerdings Gegenstand verschiedener Ansichten. So wird einerseits die Theorie aufgestellt, daß die Erde, wie auch die übrigen Planeten des Sonnensystems, aus der Sonne entstand. Teils nimmt man an, daß die Planeten von einer sich drehenden Ursonne durch die Wirkung der Fliehkraft abgetrennt wurden (Kant-Laplacesche Theorie), teils erblickt man in der Einwirkung der Anziehungskraft eines nahe der Sonne vorüberziehenden Sternes die Ursache der Entstehung (Jeanssche Hypothese). Sollte letzteres zutreffen, so würde aus der äußerst geringen Wahrscheinlichkeit zweier Sternbegegnungen die Seltenheit von Planetensystemen im Weltall zu folgern sein. – Andererseits besteht die Möglichkeit, daß die Erde nicht aus der Sonne entstanden ist. Sie könnte, ebenso wie die übrigen Planeten, aus einer Zusammenballung feiner meteorischer Materie oder aus einem astronomischen Nebel zusammen mit der Sonne hervorgegangen sein. Sie wäre dann von der Sonne eingefangen worden.

Welcher Art auch die Entstehung der Erde gewesen sein mag, sie kühlte sich im weiteren Verlauf ihrer Entwicklung allmählich ab und erreichte so einen bestimmten Punkt, wo sich die erste dünne, jedoch zusammenhängende, feste Erdkruste bildete. In diesem Augenblick endet der astronomische Lebensabschnitt der Erde, und es beginnt als zweiter Teil die geologische Entwicklung, die bis zum heutigen Tage anhält. Unsere Zeitmeßverfahren können nur über die Dauer dieses zweiten Abschnittes Anhaltspunkte erbringen, denn allein aus ihm können Zeugen in Form von Gesteinen erhalten geblieben sein. Aussagen über die Dauer des ersten Abschnittes zu machen, ist Sache der astronomischen Forschung.

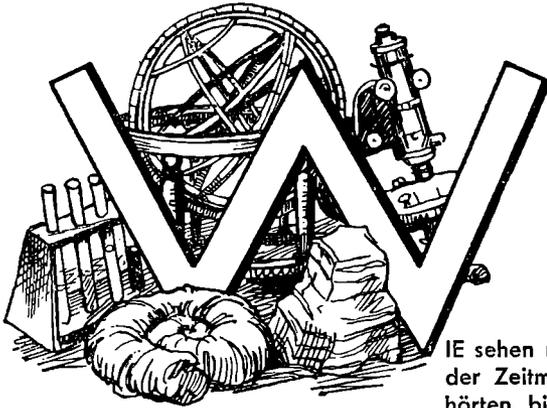
Ein weiterer Wendepunkt im Dasein der Erde war das erste Auftreten des Lebens. Das Azoikum, also die Periode ohne organisches Leben, war damit beendet. Die dann folgenden Erdzeitalter werden als Algonkium, Paläozoi-

kum, Mesozoikum und Neozoikum bezeichnet oder als Urzeit, Altertum, Mittelalter und Neuzeit des irdischen Lebens; daß man die Entwicklung des Lebens als Einteilungsgrundlage der Erdgeschichte wählte, ist durch die in Abschnitt II geschilderten Tatsachen bedingt. Diese Großabschnitte werden dann weiter unterteilt wie folgt:

Alluvium (Gegenwart)	} Quartär	} V. Neozoikum (Neuzeit)
Diluvium (Eiszeitperiode)		
Tertiär (Braunkohlenzeit)		
Kreide	} IV. Mesozoikum (Mittelalter)	
Jura		
Trias (mit Buntsandstein, Muschelkalk und Keuper)		
Zechstein (Bildung der Steinsalz- und Kalilager)	} Perm	} III. Paläozoikum (Altertum)
Rotliegendes		
Karbon (Steinkohlenzeit)		
Devon		
Silur		
Kambrium		
II. Algonkium (Vorzeit)		
I. Azoikum oder Archaikum (Urzeit)		

Anmerkung: Geologische Formationstabellen sind stets von unten nach oben zu lesen; unten steht die älteste, oben die jüngste Formation.

Während man die Großabschnitte (z. B. Neozoikum) als Zeitalter bezeichnet, spricht man bei deren Untergliederung (z. B. Alluvium) von Formationen oder Perioden. Diese werden schließlich in Abteilungen und Horizonte weiter unterteilt. Grundlage der Gliederung ist, wie auf Seite 6 und 7 gezeigt, die Entwicklung der Lebewesen, deren Überreste man in den Schichten vorfindet. Mit ihrer Hilfe läßt sich jeder Schicht ein ganz bestimmtes relatives Alter zuordnen.



## IX. Die Ergebnisse erdgeschichtlicher Zeitmessung

IE sehen nun aber endlich die Ergebnisse der Zeitmessungen aus, welche, wie wir hörten, bisher vorwiegend von der radioaktiven Methode geliefert wurden? – In Abschnitt VIII wurde bereits gesagt, daß wir erst von der Bildung der Erstarrungskruste ab die Überlieferung von Gesteinen erwarten können, welche uns Auskunft über die Zeitdauer geben, die seit ihrer Entstehung verstrich. Zu den ältesten bislang bekannten Gesteinen gehören eine russische Pechblende, welche 1,9 Milliarden Jahre zählt, und ein kanadischer Glimmer mit einem Alter von 1,98 Milliarden Jahren. Bei letzterem wurde das Alter mittels der Strontiummethode bestimmt. Da an der Richtigkeit dieser Ergebnisse kaum zu zweifeln ist, muß man sich wohl der Ansicht anschließen, welche auf dem Internationalen Geologenkongreß in Moskau 1937 geäußert wurde, daß das Alter der Erde insgesamt mit 3 bis 4 Milliarden Jahren anzunehmen ist. Von anderer Seite wurden 2,7 Milliarden Jahre als der wahrscheinlichste Alterswert für unsere Erde angegeben.

Es sei hier angefügt, daß man auch darüber diskutiert hat, ob nicht das ganze irdische Blei von der Zersetzung radioaktiver Substanzen herzuleiten sei. Über diese Annahme läßt sich natürlich streiten, und sie soll deshalb hier auch nur als Hypothese angeführt werden. Setzt man voraus, daß das in den Gesteinen vorhandene Blei restlos durch die radioaktive Umwandlung von Uran, Thorium und Aktinium entstanden ist, und vergleicht es nach der Bleimethode mit dem Prozentsatz der vorhandenen Radioelemente, so kommt man auf ein Alter der Gesteinskruste bis zu 8 Milliarden Jahren: Nimmt man das Blei der eigentlichen Bleilagerstätten aus, so erhält man in guter Übereinstimmung mit den bisher genannten Zahlen etwa 3 Milliarden Jahre.

Die übrigen Verfahren, welche auf andere Weise als mit Hilfe der radioaktiven Methoden zu Alterswerten bzw. absoluten Zeitmessungen führten, erbrachten stets nur mehr oder weniger geringfügige Teilergebnisse. Gewöhnlich wurden außerhalb der radioaktiven Verfahren nur Altersschätzungen oder -messungen von kleineren geologischen Zeitabschnitten, also etwa einzelnen Formationen oder gar Horizonten, erzielt. So ergab sich z. B. aus einer Geschwindigkeitsabschätzung der Sedimentbildung im ehemaligen Muschelkalkmeer für die Dauer der Muschelkalkperiode ein Zeitraum von etwa

15 Millionen Jahren, ein Wert, der mit dem nach der Bleimethode gewonnenen gut übereinstimmt.

Einen zusammenhängenden zeitlichen Rahmen für den Ablauf der Erdgeschichte liefern somit, wie erwähnt, nur die radioaktiven Methoden. Die mit diesen gewonnenen Werte sollen nach den neueren Ergebnissen nun folgen.

**1. Beginn der geologischen Periode der Erdentwicklung**

mit Beginn der **Urzeit** (Archaikum): vor etwa 2 Milliarden Jahren.

Hierher gehören u. a. folgende Einzelmessungen:

Russische Pechblende aus dem Ural:	1,9 Milliarden Jahre
Kanadischer Glimmer (Lepidolith):	1,98 Milliarden Jahre
Pechblenden vom Weißen Meer:	1,5 bis 1,6 Milliarden Jahre
Verschiedene schwedische Mineralien:	1,0 Milliarden Jahre
Karelidische Pechblenden:	825 bis 863 Millionen Jahre.

**2. Beginn des Paläozoikums:** vor etwa 540 Millionen Jahren mit dem **Kambrium**. Das **Kambrium** dauerte 90 Millionen Jahre, dann folgte das **Silur** vor 450 Millionen Jahren. Es dauerte 100 Millionen Jahre. Das **Devon** begann vor 350 Millionen Jahren und dauerte 40 Millionen Jahre. Diese Festlegung beruht auf der Altersbestimmung von Magneteisenerzen aus dem Ural nach der Heliummethode, welche Alterswerte zwischen 315 und 350 Millionen Jahren ergab. Das **Karbon** folgt vor 310 Millionen Jahren mit einer Länge von 70 Millionen Jahren. In diesen Zeitraum fällt u. a. die Bildung der Schmiedeberger Pechblende vor 269 Millionen Jahren sowie eines uralischen Magnetits (vor 300 Millionen Jahren). Das **Perm** schließt sich vor 240 Millionen Jahren an. Eine Pechblende von Joachimsthal mit einem Alter von 220 Millionen Jahren und ein Thoriummineral aus Norwegen mit einem solchen von 225 Millionen Jahren gehören in diesen Zeitraum.

**3. Beginn des Mesozoikums** mit der **Trias** vor 200 Millionen Jahren. Es folgt der **Jura** mit einer Länge von 35 Millionen Jahren vor 175 Millionen Jahren. Ein Magneteisenerz von Lakeville (USA) mit 160 Millionen Jahren Alter belegt u. a. diesen Zeitabschnitt. Die **Kreide** begann vor 140 Millionen Jahren und endete nach 80 Millionen Jahren. Aus dieser Formation stammt eine Pechblende aus Colorado, für welche die Altersbestimmung 69,5 Millionen Jahre ergab, ferner ein Magnetit von Lyon Valley (Britisch Columbien) mit 100 bzw. 88 Millionen Jahren und ein weiterer von Prince of Wales (Alaska) mit 81 Millionen Jahren als Alterswert.

**4. Beginn des Neozoikums** mit dem **Tertiär** und **Quartär** vor etwa 60 Millionen Jahren. Aus diesem Abschnitt liegt z. B. ein Zeitwert vor von einer mexikanischen Pechblende (33,5 Millionen Jahre) und einem uranhaltigen Mineral von Idaho (35 Millionen Jahre). Ferner gehört in das Tertiär

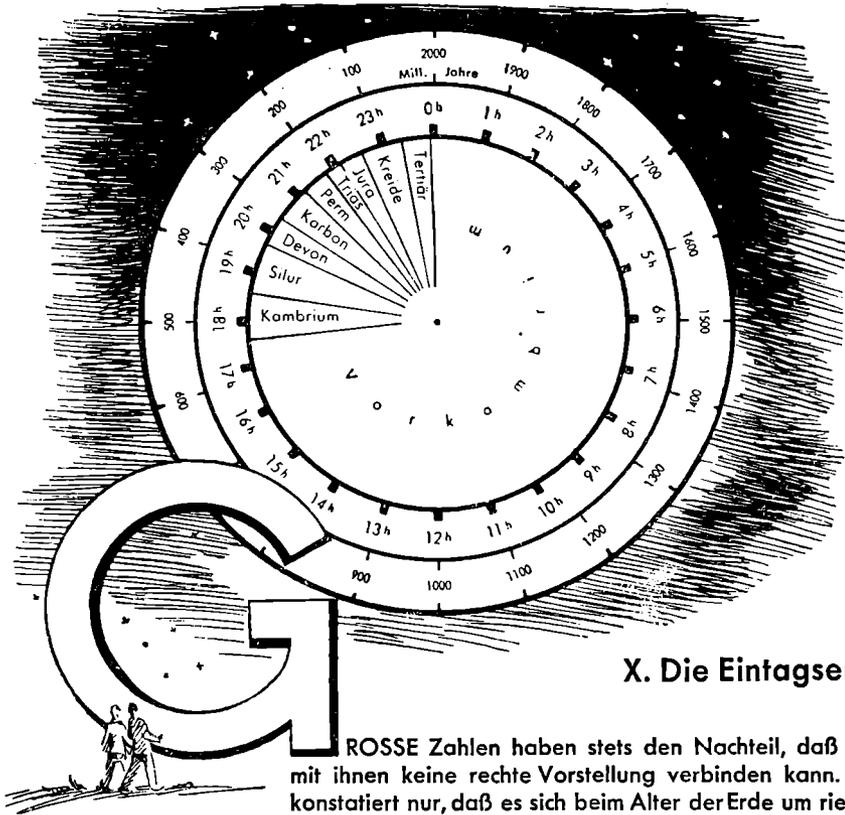
z. B. ein Magneteisenerz von Fierro (Neumexiko) mit 59 Millionen Jahren und ein weiteres aus der Stoddard Mine in Colorado mit 50 Millionen Jahren sowie schließlich ein niederschlesischer Basalt mit 20 Millionen Jahren Alter.

Das Eiszeitalter (im Quartär) begann vor etwa 800 000 Jahren.

Damit wäre eine vollständige zeitliche Gliederung der Erdgeschichte gegeben. Wie man sieht, ist es nur ein Teil des gesamten erdgeschichtlichen Ablaufs, den wir bis zum Kambrium zurück genauer kennen. Drei Viertel liegen als Vor- und Urzeit vor diesem Termin. Wir sehen ferner, daß die Aufgliederung der Erdgeschichte nach geologischen Gesichtspunkten nicht gleich lange Zeiträume voneinander trennt. Während das Silur z. B. etwa 100 Millionen Jahre umfaßt, gehört zur Trias nur ein Abschnitt von 25 Millionen Jahren. Auch die Zeitalter selbst weisen eine sehr unterschiedliche Länge auf. Während auf das Paläozoikum rund 340 Millionen Jahre entfallen, dauerte das Mesozoikum 140 und das Neozoikum etwa 60 Millionen Jahre. Interessant ist dies Ergebnis auch insofern, als sich die Mächtigkeiten der Meeressedimente im Paläozoikum, Mesozoikum und Neozoikum wie 1,8:1,4:1,0 verhalten, während die zugehörigen absoluten Zeiträume etwa 5:2:1 ergeben. Ob nun tatsächlich die Sedimentationsgeschwindigkeit sich im Laufe der Zeit vergrößerte oder aber die astronomische Zeiteinheit, der Erdumlauf um die Sonne sich veränderte, während die radioaktive Zerfallsgeschwindigkeit konstant blieb, läßt sich heute noch nicht entscheiden. Hingegen ist durch die Ergebnisse der radioaktiven Methoden die Richtigkeit des geologischen Systems der Einteilung der Erdgeschichte, die Reihenfolge der einzelnen Formationen nacheinander, aufs beste bestätigt worden. In diesem Punkte hat es keinerlei Differenzen gegeben.

Man muß nun noch nach der Sicherheit der gemachten Angaben fragen. Sind sie vermutlich in hohem Maße unzuverlässig, oder lieferte die Bleimethode exakte Werte? Im allgemeinen wird die Sicherheit mit 90% angegeben, das bedeutet, daß die Angaben um 10% unsicher sind, was jedoch bei der Länge der in Betracht kommenden Zeiträume kaum eine Rolle spielt. In welchem geringem Umfange die nach der Uranbleimethode gemessenen Werte gerade auch bei sehr alten Gesteinen schwanken, sei an dem Beispiel von vier verschiedenen amerikanischen Pechblendeproben vorgeführt, welche dem Algonkium zugehören und von ganz verschiedenen Orten stammen:

	A l t e r		
1. Pechblende von Villeneuve, Quebec	1189	Millionen	Jahre
2. Pechblende von Parry Sound, Ontario	1179	„	„
Zweite Probe derselben Pechblende	1115	„	„
3. Pechblende von Butt. Township, Ontario	1130	„	„
Zweite Probe derselben Pechblende	1143	„	„
4. Pechblende von Cardiff, Ontario	1299	„	„



## X. Die Eintagserde

ROSSE Zahlen haben stets den Nachteil, daß man mit ihnen keine rechte Vorstellung verbinden kann. Man konstatiert nur, daß es sich beim Alter der Erde um riesige, unvorstellbare Zeiträume handelt, und läßt es dabei bewenden. Deshalb tun wir gut, uns eine Übersicht zu ermöglichen, indem wir ein Modell entwerfen. Das Unvorstellbare soll darin unter maßstäblicher Verkleinerung in den Bereich des Anschaulichen gerückt werden.

Nehmen wir einmal an, die feste Erde sei gerade einen Tag alt, vor 24 Stunden also habe sich die erste Erdkruste gebildet. Es sollen in unserem Modell somit die zwei Milliarden Jahre seit diesem Zeitpunkt zu einem Tag, zu 24 Stunden, zusammenschrumpfen.

Und nun wollen wir in Gedanken an Hand dieses Modells von der Eintagserde die wichtigsten Ereignisse der Erdgeschichte an uns vorüberziehen lassen:

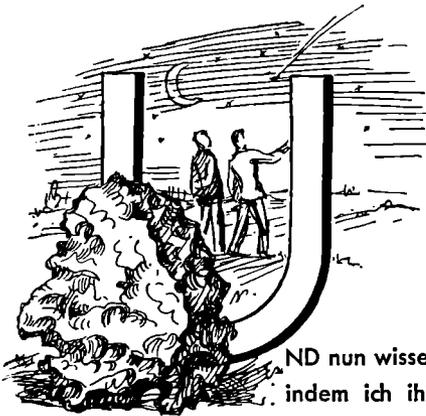
0 Uhr, Mitternacht: Die erste zusammenhängende Erdkruste hat sich gebildet. Die Erde ist für uns noch hinter den Schleiern unserer Unwissenheit verborgen. Sie hat sich in den Nacht- und ersten Morgenstunden allmählich abgekühlt; häufig haben gewiß noch vulkanartige Magmaausbrüche stattgefunden. – Erst

gegen 12 Uhr, am Mittag, kann man vermuten, daß die ersten Lebensspuren auftauchen. Primitivste, einzellige Lebewesen mögen es gewesen sein, die sich noch nicht nach Tier und Pflanze sondern ließen. Die Vorzeit, das Vorkambrium, dauert bis 17.30 Uhr. Dann beginnt das Kambrium als erste Formation des Paläozoikums. Kurz nach 18.30 Uhr folgt das Silur, welches der Erde die Fische beschert. Dichtgedrängt reihen sich nun die Formationen aneinander. Etwa 19.50 Uhr das Devon mit den ersten Landpflanzen, 20.10 Uhr das Karbon mit den riesigen Steinkohlenwäldern; zu Beginn desselben erscheinen Amphibien und Reptilien. Dann kommt das Perm, und kurz vor 22 Uhr (Beginn des Mesozoikums) die Trias mit den Säugetieren; im Jura, etwa 22.15 Uhr, erscheinen die Vögel. Die Kreidezeit schließlich reicht bis kurz vor 23.30 Uhr, und knapp vor Mitternacht folgt das Tertiär mit der anschließenden Eiszeit, die 26 Sekunden vor Mitternacht das Auftreten menschenähnlicher Lebewesen bringt. Der Mensch, Homo sapiens, erscheint 4 Sekunden vor 24 Uhr, und seine »ungeheuer lange« geschichtliche Wirkungszeit von 6000 Jahren umfaßt die letzte Viertelsekunde des Tages. Das menschliche Leben mit seinen 70 Jahren bedeutet nur ein kurzes Aufblitzen von  $\frac{3}{1000}$  Sekunden.

Damit wäre der rechte Maßstab gegeben. Jetzt mag ein jeder selbst übersehen, welche riesigen Zeiträume unsere Erde bereits durchgemessen hat. Dabei müssen wir bedenken, daß der eine Tag im Modell nur das Bestehen der festen Erde umfaßt und noch nicht die Zeit einschließt, in der die Entwicklung vom Stern bis zu diesem Stadium vor sich ging. Zeiträume, die uns Menschen in unserer geschichtlichen Entwicklung unendlich dünken, schrumpfen zu einem Nichts zusammen, wenn man sie im Rahmen der Entwicklung unserer Erde betrachtet. Wir sehen aber auch, daß nur ein Teil, und zwar weitaus der kleinere Teil des geologischen Lebenslaufes der Erde von uns erforscht und aufgehellt wurde. Der größere Abschnitt bleibt uns mit den Einzelheiten seines Ablaufes wohl für immer verborgen.

#### Bemerkung zu nebenstehender Abbildung:

In Form eines Zifferblattes soll der zeitliche geologische Ablauf seit Bildung einer festen Erdkruste, modellartig auf die 24 Stunden eines Tages verteilt, veranschaulicht werden. Der Übersichtlichkeit halber konnten nur die größeren geologischen Abschnitte wiedergegeben werden. Die Eiszeitperiode und die jüngste geologische Vergangenheit ließen sich in diesem Maßstab nicht mehr zur Darstellung bringen. Der äußere Ziffernkreis gibt die Millionen Jahre an, um welche der betreffende Abschnitt, von der Gegenwart an gerechnet, zurückliegt. Der innere Kreis stellt für die Zwecke des Modells die 24 Stunden eines Tages dar.



## N A C H W O R T

UND nun wissen Sie«, sagte ich zu meinem Wandergefährten, indem ich ihm den Feuerstein zurückgab, »wie ich dazu komme, diesem Seeigel, welcher als Zeuge längst vergangener Zeiten vor uns liegt, ein so sagenhaftes Alter zu geben. Ich habe Ihnen zwar nicht streng bewiesen, daß es so ist, aber ich habe Ihnen, glaube ich, gezeigt, welchen schwierigen Weg die Forschung unermüdlich gegangen ist, um Licht auch in das Dunkel des zeitlichen Ablaufs der Erdgeschichte hineinzutragen. Und das Ergebnis ist, daß wir nicht nur sagen können, wie alt dieser tierische Überrest hier sein mag, nein, wir wissen auch, daß das Alter unserer Erde nicht nach Jahrtausenden, sondern nach einigen Milliarden Jahren zu bemessen ist. Wir erkannten andererseits, daß die Erde nicht seit aller Unendlichkeit so bestand, wie wir sie heute sehen, sondern daß einmal ein Anfang gewesen sein muß. Dieser Anfang aber gewinnt, zunächst zwar noch undeutlich, aber doch schon schwach erkennbar, wie es scheint, eine besondere Bedeutung.

Es ist noch zu berichten, daß keiner von den bisher zahlreich untersuchten Eisenmeteoriten (s. obiges Bild), jenen Bruchteilen kosmischer Materie, über 3 Milliarden Jahre alt ist. Gerade hier hat die Heliummethode besonders zuverlässige Werte geliefert, an denen nicht zu zweifeln ist. So zeigen die Alterswerte von 25 verschiedenen amerikanischen Meteoriten eine obere Grenze bei 2,8 Milliarden Jahren.

Man kann es danach bereits kaum noch als einen Zufall bezeichnen, wenn auch die Astronomen, welche sich bemühen, das Alter der Sterne zu ergründen, zu ähnlichen Werten kamen. Seit man neuerdings erkannt hat, daß die Fixsterne (Anm. 2) ihre Energie, welche sie in Form von Strahlen, wie z. B. auch unsere Sonne, verschwenderisch in den Weltenraum senden, den Pro-

zessen der Atomkernspaltung entnehmen, war man in der Lage abzuschätzen, daß der Energievorrat der Sterne bisher höchstens erst einige wenige Milliarden Jahre gereicht haben kann, keinesfalls länger.

Und noch eins kommt hinzu: Die Untersuchung der Spiralnebel, jener ungeheueren Welteninsel-Sternsysteme, zeigt, daß diese sich sämtlich von uns entfernen, und zwar um so schneller, je größer ihr Abstand von uns ist. Die Spiralnebel scheinen also von uns und untereinander zu fliehen. Rechnet man einmal rückwärts, so kommt man wiederum vor etwa 3 Milliarden Jahren zu einem Zeitpunkt, an welchem sämtliche Sternsysteme ihre Bahn am gemeinsamen Ausgangspunkt begonnen haben müßten. Es sieht fast so aus, als hätte sich damals eine Art Explosion im Weltall ereignet, welche die Stücke eines großen anfänglichen Sternsystems auseinandertrieb.

Gewiß, es handelt sich vorerst lediglich um Vermutungen, aber das Zusammenfallen der Zeitpunkte der Entstehung der Erde, der Sonne, der Fixsterne und des Beginnes der Flucht der Spiralnebel scheint um so bemerkenswerter, als auch eine weitere Annahme einen ähnlichen Zeitraum fordert, jene nämlich, daß die höheren chemischen Elemente, deren Radioaktivität wir als Grundlage unserer Altersbestimmung verwandten, schließlich einmal entstanden sein müssen. Wir kennen heute keinen Ort auf der Erde oder im Weltall, wo Elemente wie Uran oder Thorium laufend nachgebildet würden. Also müssen wir folgern, daß sie vor noch nicht zu langer Zeit unter besonderen, unbekanntem Anfangsbedingungen entstanden sind. Für einen vollkommenen Zerfall derselben war die seither verstrichene Zeit noch nicht ausreichend. Diese Betrachtung führt zu einem Alter jener Elemente von 3 bis 5 Milliarden Jahren. Zum fünften Male also ergibt sich auf einem ganz anderen Gebiet die gleiche Zeitspanne!

Was also mag damals in der Welt vor sich gegangen sein, welches Ereignis hat seinen Stempel so verschiedenartigen Erscheinungen der Natur aufgeprägt, ein Ereignis, dem vielleicht auch die Erde ihren Ursprung verdankt?

Hier allerdings müssen wir nun bekennen, daß wir am Ende unseres Wissens angekommen sind. Wir sind an jenem Punkte angelangt, wo es jedem einzelnen selbst überlassen bleiben muß, das Bild nach seiner eigenen Philosophie und Weltanschauung zu runden.«

# ERLÄUTERENDE ANMERKUNGEN ZUM TEXT

- Anmerkung 1** **Geologie**: Wissenschaft, welche sich mit dem Bau und der Geschichte der Erde befaßt. Sie wird unterteilt in:
- a) **Allgemeine Geologie**, Lehre vom Aufbau der Erde (Gesteinskunde) und den Kräften und Vorgängen, die dessen Veränderung bewirken (dynamische Geologie, Tektonik).
  - b) **Historische Geologie** (Erdgeschichte), welche den Werdegang der Erde aus dem Aufbau der Erdrinde zu ergründen sucht, mit der Paläogeographie (Geographie vergangener Zeiten) und der Formationskunde, die sich mit dem Bau, der Entwicklung und Entstehung der geschichteten Ablagerungen beschäftigt, und zwar hauptsächlich mit Hilfe der darin enthaltenen pflanzlichen und tierischen meist versteinerten Überreste (Fossilien, von lat. fossilis = ausgegraben).
  - c) **Paläontologie** (meist als selbständige Wissenschaft gezählt), die Lehre vom Leben vergangener Erdzeitalter.
  - d) **Regionale Geologie**: verknüpft die geologischen Zustände und Vorgänge im räumlichen Erdbild, also nach geographischen Gesichtspunkten.
  - e) **Praktische Geologie** (auch **Angewandte Geologie**) bearbeitet nützliche Probleme wie bautechnische Fragen, Wassergeologie, (Hydrologie), Lagerstättenlehre.
- Anmerkung 2** **Planeten**: Nicht selbst leuchtende Himmelskörper, welche gleich der Erde um die Sonne kreisen und von ihr beleuchtet werden im Gegensatz zur überwiegenden Mehrzahl der am Himmel sichtbaren sonnenähnlichen, meist erheblich größeren Fixsterne, die als glühende Gasmassen selbst Licht aussenden. Die Planeten, die im Planetensystem zusammengefaßt werden, sind von der Sonne aus gerechnet: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun und Pluto.
- Anmerkung 3** **Fauna** = Tierwelt, **Flora** = Pflanzenwelt.
- Anmerkung 4** **Biologie**: Lehre von Lebewesen und Lebensvorgängen von Pflanzen, Tieren und Mensch.
- Anmerkung 5** In der Geologie unterscheidet man drei große Gesteinsgruppen:
- 1. Die **Sedimentgesteine** (lat.: Absatzgesteine), die an bzw. nahe der Erdoberfläche sich durch Absatz organischer oder mineralischer Substanzen meist aus dem Wasser, jedoch auch aus der Luft und dem Eis bzw. durch die Tätigkeit von Tieren und Pflanzen (z. B. Kohle) bildeten.
  - 2. Die **Eruptivgesteine** (auch **Erstarrungsgesteine**), die durch Kristallisation aus heißen Schmelzflüssen (Magmen, Laven) entstanden sind (z. B. Granit).
  - 3. Die **metamorphen** (griech.: umgewandelten) Gesteine, die sich aus den Gruppen 1 und 2 bei Einwirkung mechanischer Kräfte (z. B. bei Gebirgsbildung) oder von starker Hitze (z. B. durch aufgedrungene Magmen) bilden (z. B. Gneis, Glimmerschiefer).
- Anmerkung 6** **Geophysik** ist die Physik der Erde. Es gehören dazu die Lehre von der Physik des Erdkörpers (Physik des Erdinneren, Erdmagnetismus, Erdschwere, Erdbeben, Radioaktivität der Erde usw.), ferner die Physik der Ozeane und

Gewässer (Ozeanographie und Gewässerkunde oder Hydrographie) sowie die Physik der Atmosphäre mit der Meteorologie und Klimatologie. In vorliegendem Zusammenhang ist die Physik des Erdkörpers (sogenannte Spezielle Geophysik) gemeint.

- Anmerkung 7** Atome sind die kleinsten, für jedes chemische Element abweichend aufgebauten Bausteine der Materie, von denen man ursprünglich annahm, daß sie unteilbar seien. Inzwischen zeigte es sich jedoch, daß sie wiederum aus einem Kern und einer Hülle kleinster elektrisch negativer Ladungsteilchen (Elektronen) aufgebaut sind. Fast die ganze Masse des Atoms wird durch den Kern dargestellt. Dieser weist eine elektrisch positive Ladung auf. Der Kern ist für den chemischen Charakter des Atoms maßgebend. Wird er verändert (z. B. durch radioaktiven Zerfall), so ändern sich die chemischen Eigenschaften des Atoms, es entsteht ein anderes chemisches Element.
- Anmerkung 8** Chemische Elemente sind die chemisch nicht weiter zerlegbaren Grundstoffe der Materie, welche in der gesamten uns bekannten Welt, also auf der Erde wie im Weltall, die alleinigen Baustoffe darstellen. Der deutsche Chemiker Meyer und sein russischer Kollege Mendelejew haben die 92 bekannten Elemente nach ihrem Atomgewicht und bestimmten chemischen Eigenschaften im sogenannten »Periodischen System« der Elemente geordnet, beginnend mit Wasserstoff als dem leichtesten Element und endigend mit Uran, zu welchem neuerdings als 93. Element das Neptunium, als 94. das Plutonium, als 95. Americium und als 96. Curium getreten sind. Die höheren Elemente von Polonium (Nr. 84) bis Curium (Nr. 96) sind sämtlich radioaktiv.
- Anmerkung 9** Zur elektromagnetischen Strahlung gehören u. a. die Radiowellen, das Licht vom Ultrarot über das sichtbare Licht bis zum Ultraviolett, die Röntgenstrahlen, die  $\gamma$ -Strahlung und die Ultra- $\gamma$ -Strahlung, welcher z. B. die Weltraumstrahlung zugehört. Alle Strahlenarten gehen ihrer physikalischen Natur nach auf die gleiche Ursache zurück, lediglich ist ihre Wellenlänge verschieden. Für die Radiowellen beträgt sie einige Kilometer bis herab zu Dezimetern. Für das Licht liegt sie zwischen 40 und 80 Millionstel Zentimeter, für die Röntgenstrahlen beträgt sie 1 bis 100 Milliardstel Zentimeter, und bei der Ultra- $\gamma$ -Strahlung nimmt sie schließlich auf 60 Billionstel Zentimeter ab.
- Anmerkung 10** **Pechblende**, auch Uranpechz oder Uraninit genannt, ist das wichtigste Rohmaterial für die Gewinnung radioaktiver Substanzen. Ihrer chemischen Zusammensetzung nach ist sie eine Sauerstoffverbindung (Oxyd) des Elementes Uran.
- Anmerkung 11** **Isotope**: Die meisten chemischen Elemente kommen in mehreren Formen vor, die sich zwar chemisch völlig gleichen, jedoch verschiedenes Atomgewicht besitzen. Die natürlich auftretenden Elemente sind Mischungen der einzelnen »Isotope«, so daß ihr Atomgewicht als Mittelwert entsteht. Nicht nur Uran und Thorium, auch zahlreiche weitere Elemente wie Chlor, Bor, Neon, Sauerstoff, Eisen, Quecksilber usw., bestehen aus mehreren Isotopen.
- Anmerkung 12** Man muß damit rechnen, daß die Temperatur im Erdinnern bis auf einige tausend Grad C, der Druck im Kern bis auf 3 Millionen Atmosphären ansteigt.
- Anmerkung 13** Bisher teilte man das Erdinnere entsprechend einer um 1900 von dem Geophysiker Wiechert aufgestellten Theorie ein in den äußeren Mantel (bis 1200 km Tiefe, die obersten 60 km davon stellen die Erdrinde dar), die Zwischenschichten (bis 2900 km) und den Kern. Neuerdings gewinnt eine von Kuhn und Rittmann 1941 begründete Hypothese vom gleichförmigen Erdinneren aus wasserstoffreicher Sonnenmaterie zunehmend an Einfluß.

# L I T E R A T U R

- von Bubnoff, S. Das Alter der Erde und der Gang der Erdgeschichte. In der Zeitschrift »Die Naturwissenschaften«, Band 23. Verlag Julius Springer, Berlin, 1935.
- de Geer, G. Geochronologie der letzten 12000 Jahre. In der Zeitschrift »Geologische Rundschau«, Band 3, Verlag Ferd. Enke, Stuttgart, 1912.
- Hahn, O. Das Alter der Erde. In der Zeitschrift »Die Naturwissenschaften«, Band 18. Verlag Julius Springer, Berlin, 1930.
- Hahn, O. Was lehrt uns die Radioaktivität über die Geschichte unserer Erde? Verlag Julius Springer, Berlin, 1926.
- Holmes, A. The Age of the Earth (Das Alter der Erde). Nelson-Verlag, London, 1937.
- Kerner von Marilaun, F. Alter der Erde. Geologische Jahresberichte, Band I A, 1928.
- Kirsch, G. Geologie und Radioaktivität, Verlag Julius Springer, Berlin, 1928.
- Rüger, L. Absolute Zeitrechnung in der Erdgeschichte. In der Zeitschrift »Die Umschau«, 46. Jahrgang, Heft 25. Breidenstein Verlagsgesellschaft, Frankfurt a. M., 1942.
- Eine zusammenfassende Darstellung aller Probleme, die mit der Altersbestimmung der Erde zusammenhängen, findet sich schließlich in dem Handbuch der Geophysik, herausgegeben von B. Gutenberg, Band II.
- Born, A. Alter der Erde und geologische Zeitalter. Verlag von Gebrüder Borntraeger, Berlin, 1933.

## BISHER SIND ERSCHIENEN

<b>A</b>	<i>Mathematik</i> . . . . .	12502	Rechne rasch und richtig
		12521	Naturgesetz und funktionale Abhängigkeit
<b>B</b>	<i>Physik</i> . . . . .	12511	Vom Wesen der Wärme
<b>F</b>	<i>Zoologie</i> . . . . .	12522	Tierleben im Tümpel
		12526	Verborgenes Leben
<b>G</b>	<i>Der Mensch</i> . . . . .	12529	Herz und Gefäße
<b>K</b>	<i>Meteorologie</i> . . . . .	12501	Das Wetter im Sprichwort
<b>N</b>	<i>Allgemeine Geographie</i> .	12524	Das Gradnetz der Erde
<b>O</b>	<i>Länder und Völker</i> . . .	12518	Die lebende Landkarte
		12509	Steinzeitvölker der Gegenwart
<b>P</b>	<i>Reisen und Forschungen</i> .	12548	Neun Monate auf treibender Eisscholle
<b>Q</b>	<i>Der junge Naturforscher</i> .	12519	Der junge Steinsammler

## GLEICHZEITIG MIT DIESEM BAND ERSCHEINEN

<b>D</b>	<i>Allgemeine Biologie</i> . . .	12513	Lebensbündnisse in Tier- und Pflanzenwelt
<b>F</b>	<i>Zoologie</i> . . . . .	12530	Gefiederte Freunde
<b>G</b>	<i>Der Mensch</i> . . . . .	12540	Hormone
<b>L</b>	<i>Geologie</i> . . . . .	12534	Eiszeitalter
<b>O</b>	<i>Länder und Völker</i> . . .	12508	Natur und Mensch der Polargebiete

Die Zahlen zwischen Serie und Titel sind die Bestellnummern. Weitere noch in Vorbereitung befindliche Bände werden fortlaufend an dieser Stelle angezeigt

DIE GRUPPE II UMFASST FOLGENDE SERIEN,

**A** MATHEMATIK

**B** PHYSIK

**C** CHEMIE

**D** ALLGEMEINE BIOLOGIE

**E** BOTANIK

**F** ZOOLOGIE

**G** DER MENSCH

**H** ASTRONOMIE

**I** GEOPHYSIK

**K** METEOROLOGIE

**L** GEOLOGIE

**M** MINERALOGIE

**N** ALLGEMEINE GEOGRAPHIE

**O** LÄNDER UND VÖLKER

**P** REISEN UND FORSCHUNGEN

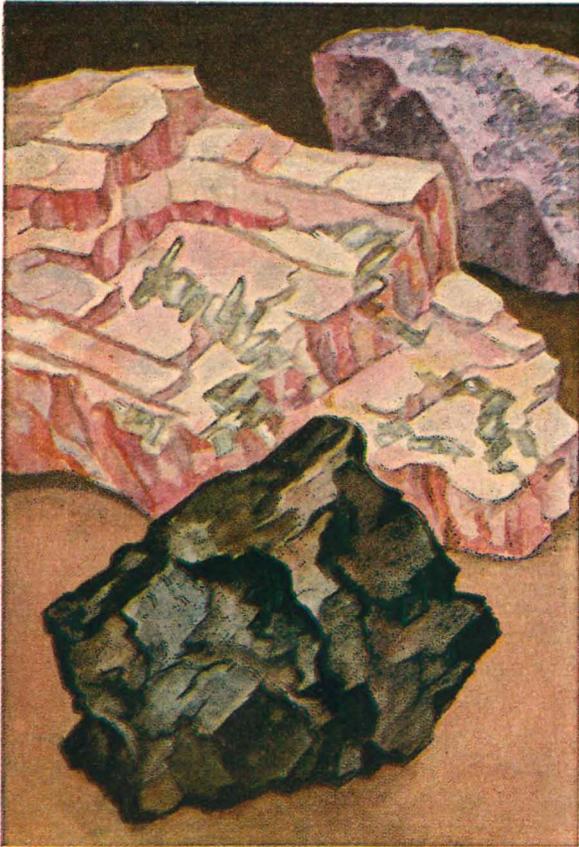
**Q** DER JUNGE NATURFORSCHER

**R** SCHÖNHEITEN U. SELTSAMKEITEN

**S** NOCH NICHT VERFÜGT

**T** NOCH NICHT VERFÜGT

**U** GESCHICHTE DER NATURWISSENSCHAFT



Uran, Thorium und Rubidium kommen verbreitet in den Gesteinen der Erdkruste vor, die ersten beiden als Pechblende. Das Rubidium tritt in den von Granit und Pegmatit her bekannten Mineralien Feldspat und Glimmer auf, besonders in einer speziellen Glimmerart, dem Lepidolith. Im Vordergrund des Bildes ein Uranpecherz (Pechblende), dahinter eine Pegmatitstufe, im Hintergrund ein Lepidolith.

**GRUPPE I / DICHTUNG UND WAHRHEIT**  
SCHRIFBLEITUNG: PROF. DR. W. HEISE