

# **Geologische Zeitmessung.**

Von

**Prof. Dr. Gerhard Kirsch.**

---

Vortrag, gehalten am 16. Jänner 1935.



Zeiten mißt man mit Uhren. Als Uhr kann jeder Vorgang dienen, der mit genügender Gleichmäßigkeit abläuft. Wir können die Uhren in zwei Gruppen einteilen. Die erste Gruppe von Vorgängen umfaßt solche, bei denen ein bestimmtes Geschehen sich periodisch wiederholt, z. B. der einmalige Umlauf eines Zeigers um ein Zifferblatt oder der Umlauf eines Himmelskörpers um seinen Zentralkörper (der Erde um die Sonne, des Mondes um die Erde) oder die Umdrehung der Erde um ihre Achse: Prinzip der Zeigeruhr. Die zweite Gruppe von Vorgängen sind die, die mit einer Anhäufung von Material verbunden sind, die mit bekannter Geschwindigkeit stattfindet, so daß aus der angesammelten Menge auf die seit Beginn des Prozesses verflossene Zeit geschlossen werden kann: Prinzip der Sanduhr. Wir werden sehen, daß beide Arten von Uhren bei der geologischen Zeitmessung Verwendung finden.

Versuchen wir, mit der Gegenwart beginnend, weiter und weiter in die Vergangenheit vorzudringen, so können wir anschließend an die historische Zeitrechnung aus den Jahresschichten noch heute wachsender Moore schließen, daß manche Moore in Europa mehrere tausend Jahre alt sind und daß seit dem Verschwinden der letzten Reste des Eiskuchens in Skandinavien (dem Ende der letzten Eiszeit) rund 5000

Jahre verflossen sind. Auch das Tempo des Rückganges des Eisrandes läßt sich aus den Jahresschichten der gebänderten Eistone, die jeweils vor dem Eisrand abgelagert wurden, erschließen. Es ist nun selbstverständlich an einer Stelle nur eine bestimmte Zeit lang Eiston abgelagert worden, vielleicht einige Jahrhunderte, solange der Eisrand noch nahe genug war. Um den Rückgang des Eisrandes etwa von der Südspitze von Schweden bis Lappland verfolgen zu können, mußte de Geer, der geistvolle Schöpfer dieser Zeitrechnungsmethode, eine ganze Reihe von Eistonlagern heranziehen, die durch ganz Schweden längs einer Linie lagen. Der Anschluß von einem Eistonlager zum nächsten ist dabei mit erstaunlicher Sicherheit möglich, da die Identifizierung einer Jahresschicht in zwei verschiedenen Lagern durch die Gleichheit der feineren Struktur geschieht, in der sich der charakteristische Witterungsverlauf eines Jahres widerspiegelt. Der große Unterschied von Sommer und Winter, der sich ja jedes Jahr wiederholt, ermöglicht durch Abzählung der dunklen oder hellen Bänder die Messung der Zeit in Jahren; die zur Bildung einer bestimmten Mächtigkeit des Eistones nötig war. Das Ergebnis ist, daß der Eisrand 20.000 Jahre vor der Gegenwart noch in Norddeutschland lag und vor rund 14.000 Jahren über die Südspitze von Schweden (Schonen) zurückging. Die Eistonbildung spielt in diesem Falle die Rolle einer — selbstregistrierenden — Zeigeruhr. Die Eigenschaft der automatischen Regi-

strierung müssen natürlich alle geologischen Uhren haben, denn in der geologischen Vergangenheit war ja noch niemand da, um „auf die Uhr zu schauen“.

Die Gesamtdauer der hinter uns liegenden vier europäischen Eiszeiten samt den wärmeren Zwischeniszeiten wird mit etwa 600.000 Jahren angegeben, welcher Betrag sich aus der Parallelisierung der verschiedenen Eisvorstöße in den Alpen mit den aus der Präzession des Frühlingspunktes folgenden Maximis der Sonnenstrahlung für die Nordhalbkugel ergibt. Die Erdachse beschreibt nämlich (infolge der Kreisel-eigenschaften der sich drehenden Erde), ohne ihre Neigung gegen die Erdbahn wesentlich zu ändern, einen Kegel in 26.000 Jahren. Da die Erdbahn exzentrisch ist, so fällt während einer solchen Periode einmal der Sommer und einmal der Winter mit der größten Sonnennähe zusammen. In der Zeit der kühlen Sommer rückt das Eis vor, in den Jahrtausenden der warmen Sommer geht es zurück. Die Zeitmarken, die unsere Zeigeruhr als Registrierung hinterließ, sind in diesem Falle die großen Endmoränen, die die großen Alpengletscher bei Stillstand vor ihrer Stirn anhäuften.

Gehen wir weiter zurück, so können wir z. B. die deutliche Unterteilung großer Kalkmassen in einzelne Schichten durch tonige Einlagen ebenfalls auf die Präzessionsperiode der Erdachse beziehen. Wenn wir dies auf die wenigé hundert Meter mächtigen Sedimente der Trias- oder Jurazeit anwenden, wie

sie in ungestörter Lagerung musterhaft an dem berühmten großen Cañon in Colorado aufgeschlossen sind, wo die Einzelschicht etwa 20 bis 30 cm mächtig ist, so führt dies für die Länge der Zeit, in der die Bildung der einer solchen geologischen Periode entsprechenden Sedimentserie erfolgte, auf die Länge von etwa 20 Millionen Jahren. Dieser Wert wird, wie wir noch sehen werden, durch die Ergebnisse anderer Methoden gut gestützt.

Von Zeit zu Zeit finden wir im Anlitz unserer Erde die Spuren lebhafterer Bewegungen, Zusammenschub, Faltung und Gebirgsbildung eingegraben. Diese Ereignisse, welche die Zeiten größerer Ruhe unterbrechen, sind es, die für uns in erster Linie die geologische Geschichte in Perioden gliedern. Nach mehreren solchen Perioden, fünf oder sechs, findet jeweils eine besondere Steigerung der Intensität der Gebirgsbildung statt. Eine solche Großperiode der Erdgeschichte mag daher an 150 Millionen Jahre (M. J.) oder mehr umfassen, und da wir im ganzen ungefähr acht solcher Großperioden nachweisen können, so ist die Dauer der geologischen Geschichte unseres Planeten vielleicht auf  $1\frac{1}{2}$  Milliarden Jahre zu veranschlagen.

Wir wollen diese Zeitschätzungen nun nach einigen „Sanduhrmethoden“ kontrollieren:

Summiert man die Mächtigkeit der in jeder geologischen Periode gebildeten Sedimente, indem man für jede Periode die jeweils beste und vollstän-

digste bekannte Ausbildung der ihr zugehörigen Sedimentserien zugrunde legt, so erhält man eine Gesamtmächtigkeit von rund 150 km. So dick wären die Ablagerungsgesteine, wenn an einem Orte der Erde durch die ganze Erdgeschichte der Ablagerungsvorgang ohne Unterbrechung oder Störung angedauert hätte. Nimmt man weiters für die Bildungsgeschwindigkeit die Ablagerung von  $\frac{1}{2}$  mm pro Jahr, wie sie im heutigen Nildelta beobachtet wird, als repräsentativ an und dividiert die 150 km durch  $\frac{1}{2}$  mm, so erhält man für das Alter der Erde (eigentlich des Weltmeeres) rund 300 M. J. Neben anderen Annahmen steckt auch die eine in diesem Ergebnis, daß die Intensität der Sedimentbildung zu allen Zeiten der Erdgeschichte ungefähr dieselbe gewesen sei, die wohl kaum zutrifft.

Ein anderer Weg ist der, von der gesamten Materialführung der großen Flüsse der Erde auszugehen, die uns einen Anhaltspunkt über die jährlich für Sedimentbildung zur Verfügung stehende Menge an Material gibt, und die sichtbare Gesamtmenge an Sedimenten durch die jährliche Materialführung zu dividieren. Das Ergebnis ist etwa dasselbe, wie es die Mächtigkeiten ergeben und derselben Kritik unterworfen.

Ebenso kann aus dem chemisch aufgearbeiteten, gelösten Anteil der Materialführung (kurz gesagt, dem gelösten Natriumgehalt des Flußwassers — ohne Berücksichtigung der festen, schwebenden Teil-

chen) die dem Weltmeer jährlich zugeführte Natriummenge berechnet und dem gesamten Natriumgehalt (dem Salzgehalt) des Weltmeeres gegenübergestellt werden. Auch diese Methode stimmt in Ergebnis und Anfechtbarkeit mit der ersten überein. Die heutige Intensität der Abtragungsvorgänge dürfte schon, weil in den letzten Jahrtausenden die Menschheit die Erde unter den Pflug genommen hat, bedeutend über dem Durchschnitt liegen; außerdem spricht vieles dafür, daß wir heute in einer Zeit besonders lebhafter Bewegungen der Erdkruste (Gebirgsbildung) uns befinden, wie sie vielleicht eher einen Ausnahmezustand als die Regel bildet. Die rein geologischen Methoden geben uns also 300 M. J. als eine untere Grenze und ein Vielfaches dieses Betrages als wahrscheinlichen Wert für die Dauer der geologischen Geschichte.

Lord Kelvin (W. Thomson) versuchte bereits um die Mitte des vorigen Jahrhunderts, die Zeit zu berechnen, in der sich an der Oberfläche der Erde, ausgehend von der Erstarrungstemperatur der Gesteine, das heutige Temperaturgefälle von etwa 30° pro Kilometer einstellen würde, um auf diese Weise einen Wert für das Alter der Erde zu erhalten. Mit den besten, heutigen Werten für die in die Rechnung eingehenden physikalischen Konstanten ergeben sich auf diesem Wege rund 22 M. J. für das Alter unseres Planeten, ein Wert, der von geologischer Seite wohl niemals ernstlich als möglich in Betracht gezogen wurde.



Die Annahme, daß sich im Inneren der Erde keine ins Gewicht fallende Wärmequelle befinde, ist für Lord Kelvins Betrachtungsweise wesentlich. Diese Annahme wurde als nicht zutreffend erkannt, sobald, besonders durch die Messungen von Lord Rayleigh (R. J. Strutt), die allgemeine Verbreitung der radioaktiven Stoffe in irdischen Gesteinen sowie deren Größenordnung festgestellt war. Ein Durchschnittsgehalt des ganzen Erdkörpers von dieser Größenordnung würde mehr als das Hundertfache an Wärme erzeugen, als bei dem gegenwärtigen Temperaturgefälle durch die Erdoberfläche abströmen kann. Es wurde daher angenommen, daß der gemessene Gehalt an radioaktiven Elementen nur einer relativ dünnen, vielleicht 10 bis 15 km mächtigen Oberflächenschicht der Erde zukomme, während das Erdinnere sehr viel weniger radioaktiv sei. Diese Annahme hat nicht so viel Willkürliches an sich, als es auf den ersten Blick scheinen möchte, da schon Strutts Messungen sowie auch bald die vieler anderer Autoren zeigten, daß die Aktivität der Gesteine im Mittel mit ihrem Kieselsäuregehalt zunehme, bzw. daß die Gesteine, je basischer und schwerer sie waren, also einer je größeren Tiefe sie entstammten, desto ärmer an Radium und Thorium sich erwiesen. Will man allerdings nicht nur der Folgerung entgehen, daß die produzierte Wärme nicht abgeführt werden kann, sondern auch erreichen, daß die Temperatur dauernd in allen Tiefen unter dem Erstarrungs-

punkt bleibt, so wird — es handelt sich ja um viele hunderte Kilometer Tiefe — das Temperaturgefälle in großer Tiefe sehr klein und der noch mögliche Radiumgehalt usw. müßte diesfalls bedeutend kleiner werden, als er beispielsweise an Meteoriten, sogar an Eisenmeteoriten, beobachtet wird.

Den Gedanken, daß in der Erde tatsächlich mehr Wärme erzeugt wird, als dem heute an den Oberflächen der Kontinente beobachteten Wärmestrom entspricht, hat zuerst J. Joly durchgeführt. Sein Ausgangspunkt sind die geologischen Tatsachen, zu deren Erklärung er folgendes Bild entwirft: <sup>1)</sup>

Im Erdinneren wird mehr radioaktive Wärme erzeugt, als durch Leitung allein zur Oberfläche abgeleitet werden kann. Unter solchen Verhältnissen würde die Temperatur in der Tiefe steigen, bis das Temperaturgefälle zur Ableitung der stetig erzeugten Wärme genügt, wenn nicht vorher in gewisser Tiefe schon der Schmelzpunkt erreicht würde. So wird denn die radioaktive Wärme zunächst zum Schmelzen verbraucht. Eine geschmolzene Zone in einem Schwerefeld kann aber nicht im Gleichgewicht mit ihrer Umgebung sein, wenn Boden und Decke aus demselben Material bestehen wie die Schmelze. Nun sollen zwar die Kontinente aus den sauren, granitischen Gesteinen bestehen, die wir allenthalben beob-

---

<sup>1)</sup> Vgl. den Vortrag: „Radium, die Quelle des Lebens“ in diesen Mitteilungen.

achten und die spezifisch leicht, aber schwer schmelzbar sind, auf den Ozeanböden sollen aber die spezifisch schweren und leichter schmelzenden, basischen Gesteine, die auch die Unterlage der Kontinentaltafeln bilden, bis an die Oberfläche reichen; dank dieser Struktur dringt das geschmolzene Tiefenmagma unter den Ozeanen sehr viel näher bis an die Oberfläche vor als unter den Kontinenten, so daß schließlich hier seine latente Schmelzwärme durch Leitung abgeführt werden kann und es zur Wiederverfestigung kommt.

Solche sich zyklisch wiederholende Zustandsänderungen bewirken erstens periodische Ausdehnung, bzw. Zusammenpressung der Erdkruste, zweitens ebenso periodische Hebungen und Senkungen der Kontinente und besonders der Orogene (Gebirgszonen) im Laufe der isostatischen Anpassung der Erdkruste an die jeweilige Dichte des tragenden Mediums; in deren Gefolge treten an der Erdoberfläche periodisch Senkung und Überflutung, Gebirgsbildung und Hebung auf. Die Größenordnung der Periodenlänge ist vor allem durch die Radioaktivität des Tiefenmagmas, das den Zustandszyklus durchläuft, bestimmt. Nimmt man an, daß dasselbe Basalt und mit dem Material der großen tertiären Deckenergüsse identisch ist, so vermag es die zur „Selbtschmelzung“ nötige Wärme in etwa 30 M. J. zu liefern (= eine Umdrehung des Zeigers einer Zeigeruhr!). Holmes nimmt noch eine tiefer gelegene Peridotitschicht geringerer Radioaktivität

an, die ihre Zyklen in größeren Zeitabschnitten von rund 200 M. J. durchläuft und deren Zustandsänderungen die großen Stilleschen Erdrevolutionen bedingen, während die mehr oder weniger unabhängig von den Peridotitzyklen ablaufenden Basaltzyklen für die minder wichtigen Ereignisse verantwortlich zu machen sind.

Diese geologische Zeigeruhr hat also gleichsam zwei Zeiger, einen schnell und einen etwa sechsmal langsamer umlaufenden, einen Stunden- und einen Minutenzeiger; ihre Anzeigen sind, wie man sieht, nicht im Widerspruch mit denen der anderen, bereits besprochenen Uhren.

Wir kommen nun zu den eigentlichen radioaktiven Methoden der geologischen Zeitmessung. Diese fußen auf den Tatsachen des von selbst verlaufenden radioaktiven Zerfalles der Elemente Uran und Thorium, die sich dem Mineralanalytiker dadurch bemerkbar machen, daß in Uran und Thorium führenden Mineralien mit wachsendem Alter derselben sich mehr und mehr die letzten Zerfallsprodukte Blei und Helium anhäufen. Für jedes zerfallene Uranatom treten 1 Blei- und 8 Heliumatome, für jedes Thoriumatom 1 Blei- und 6 Heliumatome auf. Da die Zerfallsgeschwindigkeiten der Muttersubstanzen U und Th konstant und durch alle im Laufe der Erdgeschichte in Frage kommenden physikalischen und chemischen Bedingungen unbeeinflußbar, sowie durch Laboratoriumsuntersuchungen

wohl bekannt sind, so sind wir bei gegebenem Verhältnis von Zerfallsprodukt zur Muttersubstanz imstande, die Zeit zu berechnen, in der diese gegebene Menge von Zerfallsprodukten erzeugt wurde.

Freilich sind noch eine Reihe von Bedingungen zu beachten, damit wir des richtigen Ganges und der richtigen Ablesung unserer „Sanduhr“ gewiß sein können. Weder das obere noch das untere Gefäß der Sanduhr darf ein Loch haben, d. h. das Mineral, das wir benützen, darf seit seiner Entstehung weder von den Stammsubstanzen, noch von dem zur Berechnung verwendeten Zerfallsprodukt (Blei oder Helium) etwas verloren haben. Zweitens darf nicht etwa bei der Bildung des Minerals (der Ingangsetzung der Uhr) bereits Blei (oder Helium) in das Mineral eingegangen sein, bzw. muß der Teil des Bleies, der dem radioaktiven Zerfall entstammt, bekannt sein.

Es ist daher bei der Auswahl der Mineralien, an denen Altersbestimmungen vorgenommen werden, Vorsicht am Platze. Die Erfahrung hat gezeigt, daß Mineralien, die aus Ionen mit ausgesprochen starken Affinitäten, starken chemischen Valenzkräften aufgebaut sind, im allgemeinen zuverlässige Resultate geben: es sind dies vor allem die Oxyde, wie z. B. die bekannte Pechblende, oder Salze starker Säuren, etwa Phosphate. Salze schwacher Säuren, z. B. der Kieselsäure, die Silikate, sind ungeeignet; sie werden unter dem Einfluß der radioaktiven Strahlen amorph, glas-

artig, verlieren ihre kristalline Struktur. Gläser sind ja unterkühlte Flüssigkeiten, und die Erfahrung zeigt in unserem Fall, daß sie mit den Flüssigkeiten auch die Eigenschaft gemeinsam haben, chemischen Agentien zugänglich zu sein, denen ja die Gesteine stets ausgesetzt sind. Die uns so starr und unveränderlich erscheinenden Gesteine sind überall von feinsten Spältchen durchzogen, in denen, teils von der Erdoberfläche kommend, teils aus dem Erdinneren, Wasser mit Spuren von Kohlensäure und anderen Substanzen sich bewegt. So schwach und unmeßbar diese „Verwitterung“ in größerer Tiefe im Laufe von Menschenaltern auch sein mag, in Jahrmillionen sind ihre Einflüsse nicht mehr zu vernachlässigen, wie sich zeigt. Bestimmen wir nämlich das „Alter“ etlicher Kristalle aus einem Gesteinskörper, indem wir das Blei-Uran-Verhältnis messen, so zeigt sich, daß bei amorph werdenden Mineralien die Bleiverhältnisse, wie sie gewöhnlich kurz genannt werden, sehr stark streuen von beinahe Null bis zu recht hohen Werten, die den dem wirklichen Alter entsprechenden wahrscheinlich oft überschreiten. Die Oxyde und Phosphate dagegen geben Bleiverhältnisse, die relativ dicht um einen bestimmten Wert gehäuft sind, und die aus demselben zu berechnenden Alterswerte stimmen gut, relativ und absolut, mit den Ergebnissen unserer sonstigen Zeitmessungsmethoden überein.

Eine besondere Sache ist es mit dem Helium, das als Edelgas ohne wesentliche chemische Affinität

seiner Natur nach eine solche Beweglichkeit besitzt, daß wir im allgemeinen nicht seine quantitative Erhaltung im Mineral erwarten können. Stark radioaktive Mineralien enthalten ganz entsprechend dieser Erwartung auch stets einen um so kleineren Prozentsatz des in ihnen gebildeten Heliums — das wir ja in vielen Fällen nach dem Ergebnis der „Bleimethode“ berechnen können —, je älter sie sind. So enthalten Pechblenden aus der Steinkohlenzeit 60 bis 70%, vor-kambrische, also drei- bis sechsmal so alte Pechblenden nur 3 bis 15% des nach dem Bleigehalt zu erwartenden Heliums. Schwach aktive Mineralien mit nur wenigen Prozenten Uran oder Thorium, deren Kristallgitter keiner so starken zerrüttenden Wirkung der eigenen Strahlung ausgesetzt sind, wie das der stark aktiven, sind geeignetere Objekte für Altersbestimmungen nach der „Heliummethode“, besonders wenn sie relativ jung sind. Für Metalle hat Paneth, der die Empfindlichkeit des Heliumnachweises bedeutend steigerte, gezeigt, daß sie Helium auch bei hohen Temperaturen (1000 ° C!) gut festhalten, was besonders für seine Altersbestimmungen an Eisenmeteoriten von Bedeutung ist.

Nach den eben erörterten Eigenschaften des Heliums braucht an einen Einschluß von Helium bei der Bildung eines Minerals sicher nicht gedacht zu werden; wohl aber müssen wir z. B. bei Pechblenden, die mit Bleiglanz zusammen vorkommen — ein häufiger Fall —, damit rechnen, daß Prozente Blei, also

eine mit dem später erzeugten Blei radioaktiven Ursprungs vergleichbare Menge, bereits bei der Bildung aufgenommen wurde. Es entspricht dies dem Fall einer Zeitmessung, wo unsere Uhr zu Beginn nicht auf Null eingestellt wurde, sondern von irgendeiner Zeigerstellung zu laufen begann, bzw. im unteren Gefäß bereits Sand enthielt. Diese Stellung der Uhr zu Beginn der Messung muß uns natürlich bekannt sein, damit wir aus der letzten Ablesung etwas schließen können. Die hier verwendete Sanduhr ist eine Bleiuhr. Glücklicherweise sind wir in der Lage, das radioaktiv gebildete Blei von dem gewöhnlichen zu unterscheiden; gewöhnliches Blei hat das Atomgewicht 207.21, während aus Uran gebildetes ungefähr 206.0 (aus Thorium gebildetes ungefähr 208.0) hat. Uran und Thorium zerfallen zwar verschieden schnell, aber eine gegebene Mischung aus diesen beiden Elementen liefert natürlich ein Bleigemisch von ganz bestimmtem Atomgewicht. Eine experimentell festgestellte Abweichung von demselben vermag uns Auskunft über einen etwaigen Gehalt an gewöhnlichem Blei zu geben.

Wovon wir jetzt sprachen, das war die Altersbestimmung von Mineralien. Eine geologische Altersbestimmung ist das noch nicht, sondern wird es erst dadurch, daß wir das geologische Alter eines Minerals auch bestimmen und dem radioaktiv bestimmten in Millionen Jahren angebbaren gleichsetzen. Dann erhalten wir erst eine geologische Zeit-



messung z. B. in der Form: Das untersuchte, 550 M. J. alte Mineral stammt von der unteren Grenze des Kambriums, also sind seit Beginn des Paläozoikums etwa 560 M. J. verflossen; oder: Die St. Joachimstaler Pechblende (Gangfüllungen in Schiefer) muß nach ihren Lagerungsverhältnissen in Verbindung mit den nachweisbaren Bewegungen des Gebirges zwischen Perm und Anfang der Kreideperiode abgelagert worden sein. Ihre Bildungszeit mag Trias- und Jurazeit umfassen, allerdings hauptsächlich in den Beginn des genannten Zeitraumes fallen. Da wir im Mittel für die St. Joachimstaler Pechblenden ein Alter von 207 Millionen Jahren fanden, aber auch Handstücke mit einem Bleiverhältnis bis 0'020 herunter, entsprechend einem Alter von 140 M. J., vorkommen, so sind Trias- und Jurazeit zusammen auf etwa 70 Millionen Jahre zu veranschlagen, während die auch schon aus anderen Gründen von geologischer Seite für länger gehaltene Kreidezeit, zusammen mit der Tertiärzeit den Zeitraum bis zur Gegenwart füllend, allein wohl einen Zeitraum einnimmt, der dem von Trias und Jura zusammengenommen gleichkommt. Auch die Tertiärzeit ist gleichlang einzuschätzen.

Heute liegen aus allen Perioden bereits zahlreiche radioaktive Altersbestimmungen vor, im ganzen auf mehr als 300 Analysen von Uran, Thor und Blei führenden Mineralien begründet. Die Ergebnisse stützen sich, kritisch verwertet, gegenseitig aufs beste.

Man kann, gestützt auf dieselben, etwa folgende geologische, d. i. stratigraphische Zeitskala aufstellen:

Tertiärzeit.		Millionen Jahre seit der Gegenwart
		70
Mesozoikum	{ Kreide Jura Trias	140
		170
		200
Paläozoikum	{ Perm Karbon Devon Silur Ordovicium Kambrium	230
		320
		380
		(410)
		(500)
		560
		920
Ober- Mittel- Unter-	} Präkambrium	1280
		1600
Alter der Erde (?) . . . . .		1600

Sehr interessant ist, daß die Meteoriten, für die ja wohl ein außerirdischer Ursprung anzunehmen ist, ja die vielleicht nicht einmal dem Sonnensystem entstammen, nach der Heliummethode einen nicht viel größeren Zeitraum bedecken, als wir für das Alter der Erde erhalten.

---