

Besprechungen.

Berechnungen des Erdalters auf physikalischer Grundlage¹⁾.

Von Joh. Koenigsberger (Freiburg i. B.).

A. Berechnung des Alters der Erde aus der Abkühlung.

Literatur.

1. THOMSON W. (Lord Kelvin): Trans. R. Soc. Edinburgh 1862 und THOMSON u. TAIT, Natural Philosophy. II. Teil. p. 468.
2. — — Nature. 51. p. 438. 1894/95.
3. — — Trans. Vict. Institute. 31. p. 11. 1899. Dass. Phil. Mag. 47. p. 66. 1899.
4. KING, CL.: Amer. Journ. Science. 45. p. 1. 1893.
5. PERRY: Nature. 51. p. 224. 1894/95.
6. BECKER, G. F.: Science. Nr. 5. 27. p. 227. 1908.
- 6a. — — Smithson. Misc. Coll. 56. Nr. 6. 1910.
7. TAMMANN: Kristallisieren u. Schmelzen. Leipz. 1903. p. 448.
8. H. THIENE: Temperatur u. Zustand des Erdinnern. Jena. 1907. Referat der Untersuchungen bis 1902,
- 8a. ARRHENIUS, S. v.: Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig. 1903. I. p. 282 ff.
9. RUDZKI; Peterm. Geogr. Mitt. 41. p. 147. 1895.
10. — — Anzeiger Ak. Wiss. Krakau math.-nat. Kl. p. 72. 1901.
11. DARWIN G. H.: Phil. Trans. 170. p. 511. 1879 u. 171. p. 882. 1880.

W. THOMSON (Lord Kelvin) (1) hat die erste Berechnung des Erdalters seit der Erstarrung der obersten Kruste aus der Differentialgleichung der Wärmeleitung von FOURIER abgeleitet. Seine Annahme war, dass im Moment der Erstarrung der obersten Kruste die ganze Erde (Steinmantel und Eisenkern) gleiche Temperatur z. B. 3000° C besass. Wenn man dann die heutige geothermische Tiefenstufe an der Oberfläche gleich 28 m p. 1° C setzt, die Konstante a^2 der Wärmeleitungsgleichung = 0,012 (gr. cm sec.), unabhängig von der Temperatur annimmt, und die Oberflächentemperatur dauernd etwa gleich 0° C setzt, so ergibt sich, dass seitdem rund 100 Mill. Jahre verflossen sind. Keine dieser Voraussetzungen ist, was W. THOMSON selbst hervorhob, streng, einige sind durchaus nicht erfüllt.

¹⁾ Die wichtigsten übrigen Berechnungsarten sollen in einem Referat von W. SALOMON besprochen werden.

Am besten trifft zu, dass die Oberflächentemperatur praktisch seit dem Moment der Erstarrung nicht sehr von 0°C entfernt war, etwa zwischen 0° und 50° lag. Dagegen ist die Anfangstemperatur im Moment der Krustenbildung offenbar zu hoch angesetzt, die Wärmeleitungs-konstante a^2 sicher nicht konstant, die Tiefenstufe höchst wahrscheinlich um 25 % zu klein angenommen. Ausserdem ist davon abgesehen, dass wärmeerzeugende Prozesse (Schmelzwärme, chemische Verbindungswärme, radioaktive Wärme etc.) die Abkühlung stark verzögern müssen. Auf ähnlichen Voraussetzungen wie die Methode von Lord KELVIN beruhen die Berechnungen von O. FISHER, der 33 Mill. Jahre, von DAVISON, MELLARD READE, G. H. DARWIN, die 100 Mill. Jahre finden.

Die willkürliche Annahme einer anfänglich gleichmässigen Temperatur von 3000° hat CL. KING (4) durch eine besser begründete ersetzt. Er sagt, dass die Abkühlung erst von der Zeit an gerechnet werden kann, von der ab die Erdkruste stabil war; wenigstens kann für die geologische Entwicklung nur diese Zeit in Betracht kommen. Ebenso wie die Wirkung des Mondes auf das Meer Ebbe und Flut hervorbringt, müssen die Gezeiten im flüssigen Magma des Erdinnern auftreten, und wenn hierbei eine Schicht in der Nähe der Oberfläche flüssig wäre, so könnte diese zusammenbrechen. Ausserdem hätte, wenn das Erdinnere wirklich Ebbe und Flut zeigte, das Meer nur in viel geringerem Grade diese besitzen können und wie G. F. BECKER (6) angibt, lassen sich schon in den kambrischen Schichten sichere Spuren von Meeresebbe und -flut nachweisen. Man muss also eine derartige Anfangstemperatur bis zu genügender Tiefe annehmen, dass dies nicht stattfindet. Ferner muss der Schmelzpunkt des Gesteines in seiner Abhängigkeit vom Druck bekannt sein. KING legte die Messungen von Barus an Diabas zu Grunde und, wie G. F. BECKER neuerdings zeigte, wäre nach den Berechnungen von KING und diesen Daten die Stabilität bis zu genügender Tiefe für eine Anfangstemperatur von 1200°C gesichert; hieraus würde sich ein Erdalter von 10 Mill. Jahren ergeben. Der 1893 gemachte Einwand von O. FISHER, dass wir über die Starrheit der Erdkruste nichts wissen, trifft jetzt nicht mehr zu; Ebbe und Flut im Erdinnern sind zwar vorhanden, aber äusserst gering. W. THOMSON (Lord Kelvin) schloss sich deshalb den Annahmen von KING an (2 u. 3). G. F. BECKER (6 u. 6a) verbesserte die Annahme von KING in einem sehr wichtigen Punkt. Als nämlich die obere Kruste erstarrte, konnte gleichwohl unterhalb die Erde noch lange flüssig sein. Das folgt aus der guten Anpassung der Schwere auch an die heutige Gestalt der Erde, aus dieser trotz der intensiven Gebirgsbildung im Tertiär etc. sehr annähernd mittleren spheroidalen Gestalt der Erde und aus dem gut dazu stimmenden Wert der Präzession.

Deshalb nimmt G. F. BECKER an, dass die Temperatur nicht ursprünglich gleichförmig ist, sondern, was ohne weiteres einleuchtet, dass der Eisenkern eine sehr hohe Temperatur gehabt hat und jetzt noch hat, und dass anfänglich nur eine Kruste von etwa 80 Meilen Dicke erstarrt zu sein brauchte. Da oberhalb der basischen Gesteine, des Diabas von BARUS, saure Gesteine liegen, deren Schmelzpunkt höher ist, darf man eine Temperaturverteilung mit der Tiefe annehmen, die erst tiefer, etwa in 114 km, sich der Diabaskurve tangential nähert, oben aber eine ursprünglich höhere Temperatur ergibt, ohne die Stabilität der Erdkruste zu gefährden. Für die Wärmeleitungs-konstante nimmt G. F. BECKER den Wert 0,00786 aus den Messungen an Basalt von Calton Hill bei Edinburgh und für die jetzige geothermische Tiefenstufe 42 m p. 1° und erhält daraus als wahrscheinlichstes Erdalter

60 Mill. Jahre¹⁾. Nach freundlicher brieflicher Mitteilung von Herrn G. F. BECKER ergibt sich auf Grund der neuesten Daten 55—65 Mill. Jahre. Unstreitig ist dies die beste Erweiterung der Methode von W. THOMSON auf prinzipiell richtiger Grundlage. Nur bezüglich einiger numerischer Daten und einer grundlegenden Annahme möchte der Ref. Abänderungen vorschlagen. Die Wärmeleitungs-konstante ist im Mittel eher: $\frac{5,5 \cdot 10^{-3}}{2,8 \cdot 0,19} = 0,0104$ anzunehmen²⁾, da in der Tiefe Ge-

steine vom sog. Tiefengesteincharakter überwiegen werden. Diese Konstante hängt etwas von der Temperatur ab, sie nimmt nach Messungen des Ref. und J. DISCH erst bis etwa 800° ab, dann, wie aus anderen Versuchen des Ref. folgt, ziemlich rasch zu, darf aber in erster Annäherung als konstant angesehen werden.

Die Schmelzkurve von Barus ist, wie J. L. VOGT und auch C. DOELTER glauben, etwas zu steil; auch folgt aus den Versuchen von TAMMANN, dass möglicherweise bei höheren Drucken ein Maximum und vielleicht eine Umkehr eintritt.

Doch ist letzteres ganz unsicher. Wie der Ref. später darlegen will, haben wir wahrscheinlich schon in etwa 40 km Tiefe die sehr unscharfe Grenze beginnender Verflüssigung für den Steinmantel zu suchen. Für die normale geothermische Tiefenstufe an der Oberfläche sind etwa 33—35 m p. 1° anzunehmen. Die Anfangstemperatur dürfte nicht viel über 1200° betragen haben, da sonst nicht alle Gesteinsbestandteile verfestigt waren.

Die Zeit wäre geologisch von dem Ende der präalgonkischen kristallinen Schiefer, etwa von dem ersten Konglomerat auf denselben³⁾ an der Basis des Algonkian zu datieren, und würde auf Grund der früher erwähnten Daten etwa 30 Mill. Jahre betragen. Jedoch ist dieser Betrag deshalb viel zu kurz, weil noch erhebliche Wärmemenge während der Abkühlung frei wurden. In erster Linie ist die Schmelzwärme, exakter die gesamte Wärmetönung, bis das flüssige Magma von etwa 1200° völlig in das feste Tiefengestein mit kristallisierten Mineralien übergegangen ist, zu berücksichtigen; diese Wärmemenge lässt sich nicht angeben, da Versuche darüber fehlen; zweitens die allmählich fortschreitende Oxydation, die sich nicht schätzen lässt, auf die schon H. DAVY aufmerksam machte, die man aber vielleicht zunächst vernachlässigen kann. Drittens bedingt die Wärmeentwicklung durch radioaktive Substanzen eine nicht unerhebliche Verzögerung der Abkühlung. Sowohl G. F. BECKER (cit. B. 7), wie der Ref. (Phys. Z. 7. 1906.

1) Hierbei ist die Anfangstemperatur in der Nähe der Oberfläche = 1329° C, der ursprüngliche Gradient zu 218 m p. 1° angenommen. Die Formel für die ursprüngliche Temperaturverteilung lautet nach G. F. BECKER: $\mu = V + \frac{1600 - V}{0,01 r}$, x ist die Tiefe in km, wenn der Erdradius r in km ausgedrückt ist.

2) Vgl. *Eclogae geol. Helv.* 10. p. 509. 1908.

3) Man wird wohl annehmen, dass von der Basis der Schichten, die in den Ver. Staaten Algonkian, in Canada Huronian, in England Torridon, in Frankreich Brioverien heissen, an vielen Punkten der Erde eine ziemlich ungestörte kontinuierliche Entwicklung der organischen Individuen statthatte und von da ab also das „Alter der Erde“ datieren. Wohl an den meisten Orten der Erde, wo Algonkian (wir folgen der Bezeichnung von VAN HISE) ungestört primär auf den kristallinen Schiefeln des Archäicums liegt, ist das erste Glied ein Konglomerat oder eine grobe Arkose und das ist kaum ein Zufall.

297) glauben, dass die radioaktive Wärme keinen sehr erheblichen Anteil an dem Wärmeaustausch hat, aber beide haben eigentlich nur negative Gründe dafür beibringen können. Der positive Beweis, dass eine der radioaktiven Umwandlungen, z. B. von Uran in Ionium oder der Emanation in Radium A bei hohen Temperaturen schwächer wird und schliesslich aufhört, müsste erst noch von den Physikern erbracht werden. Wenn dies zutrifft, dann liesse sich eher der Anteil der radioaktiven Wärme schätzen.

Viertens wird bei der mit der Abkühlung vielleicht verbundenen Zusammenziehung Gravitationsenergie in Wärme umgesetzt und auch hierdurch die Abkühlung erheblich verlangsamt. Jedenfalls aber tragen alle diese wärmeproduzierenden Vorgänge zu einer Vergrösserung des Zeitraumes bei, dessen Minimum aus der Abkühlung allein errechnet, etwa 30 Mill. Jahre betragen dürfte. Ferner müssen auch die z. T. wohl stichhaltigen Bemerkungen von RITTER über Gravitationswärme etc. im Eisenkern erwähnt werden, obwohl man mit G. F. BECKER in erster Annäherung die Temperaturen im Eisenkern überhaupt nicht zu berücksichtigen braucht, und für den Steinmantel bei Temperaturen bis 2000° diese Betrachtungen von RITTER noch nicht zutreffen. Schwierig zu übersehen ist, inwieweit die Methode von Lord KELVIN anwendbar ist, wenn man für die Temperaturverteilung im Innern die Anwachs(accretion)-hypothese und speziell die Planetesimalhypothese von T. C. CHAMBERLIN, die man statt der Hypothese von LAPLACE auch annehmen kann, zugrunde legt. Die primäre Temperaturverteilung für diesen Fall ist von A. C. LUNN bei CHAMBERLIN u. SALISBURY Geology I, p. 566, 1906 New York gegeben. Dem Ref. scheint, dass diese Verteilung in erster Annäherung dieselben Resultate geben wird wie nach CL. KING und G. F. BECKER. Einen andern Weg, der unabhängig von den Ursachen der Wärmezufuhr ist, aber z. T. auf unsichern Schätzungen beruht, haben ECKHOLM nach Angaben von NATHORST und RUDZKI auf Grund von Schätzungen von NEUMAYER eingeschlagen. NATHORST und NEUMAYER nehmen an, dass seit dem Silur der Erdradius sich um etwa 5 km verkürzt hat. Wenn man als Ursache hiervon die Kontraktion der Erde infolge Abkühlung ansieht und den Ausdehnungskoeffizient der Erde = etwa $3,10^{-5}$ setzt, so ist die entsprechende gesamte Temperaturerniedrigung etwa 30° . Nimmt man ferner an, dass die spezif. Wärme der Erde gleich der Hälfte des gleichen Volumens Wasser ist, und dass der Wärmeleitungskoeffizient = $2,10^{-3}$ und die geothermische Tiefenstufe an der Oberfläche dauernd 33 m betragen habe, so folgt hieraus ein Alter von 200 Mill. Jahren. RUDZKI (10) hat später eine Schrumpfung des Erdradius um 50 km und eine Änderung der geothermischen Tiefenstufe proportional der Quadratwurzel aus der Zeit in Übereinstimmung mit der Abkühlungstheorie von W. THOMSON angenommen und daraus für den gleichen Zeitraum 500 Mill. Jahre errechnet. Man sieht leicht, dass bei diesen Rechnungen, da man Wärmekapazität, Ausdehnungskoeffizient und Leitung auch für das Erdinnere kennen muss, die Grundlagen äusserst unsicher sind. — Auf einen weiteren Anhaltspunkt hat Sv. ARRHENIUS (8a) aufmerksam gemacht. Während jetzt bei 33 m p. 1° Tiefenstufe, die Wärme aus dem Erdinnern für die Bodentemperatur kaum in Betracht kommt — sie erhöht sie um etwa $0,5^{\circ}$ — musste in den ersten Zeiten, als die Abkühlung nicht so weit vorgeschritten war, die Tiefenstufe geringer gewesen sein und die Bodentemperatur erheblich erhöht haben. Hätte man also aus dem organischen Leben genaue Anhaltspunkte für die Oberflächen- oder Bodentempe-

ratur zu einer bestimmten Zeit, so liesse sich auch hieraus annähernd die seither verflossene Zeit berechnen.

Auf astronomischen Grundlagen beruhen die Schätzungen von KÖVESLIGETHY, der aus der KANT-LAPLACEschen Theorie auf sehr hypothetischer Basis berechnet, dass vor 20 Mill. Jahren die Sonne bis zur Erde reichte und G. H. DARWIN, der das Alter des Mondes auf etwa 60 Mill. Jahre schätzte.

Schliesslich liesse sich aus den anormalen geothermischen Gradienten in gewisser Hinsicht eine Zeitschätzung gewinnen. Wenn wir z. B. die Grösse und Gestalt des vulkanischen Areals ungefähr kennen und in jener Gegend einige Messungen der geothermischen Tiefenstufe besitzen, so dass wir dort, wenn auch nur sehr roh, die heutigen geothermalen Flächen konstruieren können, so liesse sich daraus das Alter der Gesteine berechnen. Auch die anormalen Gradienten der Kohlenflötze könnten einen ungefähren Anhaltspunkt geben, wenn man aus der Tektonik einen Aufschluss über ihre ursprüngliche Mächtigkeit gewinnen könnte. Wir wissen nämlich (vgl. M. MÜHLBERG u. d. Ref. in Transactions of Institution of mining engineers 1910), dass auch in 1000 m Tiefe (Paruochowitz, Czuchow) ein Kohlenflötz eine, wenn auch geringe Temperatursteigerung bewirkt, deren Grösse bezw. Sprung wir leicht exakt angeben können. Hieraus berechnet sich in einfacher einwandfreier Weise, wie viel g Kohle bezw. Kohlenwasserstoff-Stickstoff pro cbm jährlich verbrannt werden und daraus ergibt sich umgekehrt die Masse bezw. Mächtigkeit des Kohlenflötzes zu irgend einer Zeit, und somit, wenn die primäre Mächtigkeit aus tektonischen Störungen zu ermitteln wäre, dessen Entstehungszeit.

B. Bestimmung des Alters der Erde aus radioaktiven Vorgängen.

a) aus der Heliumproduktion.

Literatur.

1. RUTHERFORD, E.: Radioactivity. Cambridge 1905. p. 486.
2. STRUTT, R. J.: Proc. Roy. Soc. (A). 81. p. 272—278. 1908.
3. — — Proc. Roy. Soc. (A). 82. p. 166. 1909.
4. — — Proc. Roy. Soc. (A). 83. p. 96—99. 1909/10.
5. — — Proc. Roy. Soc. (A). 83. p. 298—301. 1909/10.
6. WATERS, J. W.: Phil. Mag. 19. p. 903. 1910.
7. BECKER, G. F.: Bull. Geol. Soc. Amer. 19. p. 113. 1908.
8. BOLTWOOD: Am. Journ. of Science. 23. p. 87. 1907.
9. SODDY, F.: Radioaktivität. Leipzig. 1904. p. 191.
10. MÜGGE, O.: Ctbl. Min. p. 397. 1907.
11. — — Ctbl. Min. p. 65. 113, 142. 1909.
12. JOLY, J.: Phil. Mag. (6). 13. p. 381. 1907.
13. — — Philos. Mag. (6). 19. Febr. 1910.
14. JOLY, J. u. FLETCHER, A. L.: Ebenda. April 1910.
15. BRAUNS, R.: Ctbl. Min. p. 721. 1901.
16. DOELTER, C.: Das Radium und die Farben. Dresden 1910.

E. RUTHERFORD (1) hat angegeben, dass aus dem Helium- oder Bleigehalt eines Minerals sein Alter ermittelt werden kann, und aus den Heliumanalysen von zwei Uranmineralien die Zeit bis zum Beginn der Cambrium (auf etwa 140 Mill. Jahre berechnet). Diese neue, höchst interessante Methode zur Bestimmung

des Alters eines radium- oder thoriumhaltigen Materials hat R. J. STRUTT (3, 4, 5) ausgearbeitet. Er misst die Menge des in dem Mineral vorhandenen gasförmigen Helium. Die Methode beruht auf folgendem: Das Mineral wird in Lösung gebracht; hierbei wird das im Mineral eingeschlossene gasförmige Helium von der wässerigen Lösung, wie z. B. Kohlensäure absorbiert. Dann werden alle Gase durch Kochen ausgetrieben, in ein anderes Gefäss überführt, Wasserdampf, Kohlensäure durch geeignete Mittel absorbiert und der Rest der Gase über Quecksilber aufgefangen. Hiervon werden dann alle Gase mit Ausnahme von Helium und Argon von metallischem Kalzium bzw. Kalium-Natriumlegierung und von Holzkohle in flüssiger Luft absorbiert. Die Heliummenge wird dann bei sehr geringem Druck aus dem Volumen über Quecksilber bestimmt; sie wird naturgemäss eher zu gross als zu klein gefunden werden. Nach den der Grössenordnung nach richtigen Berechnungen von RUTHERFORD sind zur Bildung von 1 ccm Helium aus der Menge von 1 g Uranoxyd 11 Mill. Jahre erforderlich. In dieser Annahme kann ein Fehler von bis zu 50% liegen. 1 g Thoroxyd würde, wie sich noch etwas weniger genau, aber doch der Grössenordnung nach richtig¹⁾ berechnen lässt, dieselbe Menge Helium in 55 Mill. Jahren erzeugen. Man kann daher, wenn man die Menge Uran und Thoroxyd bestimmt, die erste = g_1 , die zweite = g_2 die Heliummenge in ccm = c setzt, folgende Gleichung verwenden:

$$\frac{c \cdot 11}{g_1 + 0,2 \text{ g}} = x \text{ Millionen Jahre.}$$

Uran und Thor können nicht gut analytisch direkt bestimmt werden, da die Mengen von der Grössenordnung 0,0001% sind. Man erhält sie dagegen genau nach RUTHERFORD-BOLTWOOD, indem man das Mineral chemisch aufschliesst, die in den Lösungen enthaltene geringe Menge des gasförmigen radioaktiven Elements, der Radium- und Thoriumemanation, austreibt und deren elektrische Wirkungen, die Ionisation der Luft, quantitativ misst. Da die Thoriumemanation sich viel rascher umwandelt als die Radiumemanation — die Thoriumemanation ist in 54 sek. bereits auf die Hälfte, in 108 sek. auf ein Viertel etc. ihrer Wirkung herabgesunken — die Radiumemanation erst in 3,75 Tagen, so lässt sich die elektrische Wirkung beider voneinander gesondert bestimmen.

Derartigen Messungen kann eine Genauigkeit von etwa 10% zugeschrieben werden. Die Messung der Heliummenge, die spektralanalytisch geschieht, unterliegt grösseren Fehlern, die etwa 20% betragen kann. Immerhin wären das nur zufällige Fehler, welche die Grössenordnung der Zeiträume nicht fälschen könnten. Wirkliche Schwierigkeiten machen nur die zwei notwendigen Voraussetzungen, erstens dass das Mineral wirklich die gesamte Heliummenge in der Tiefe, also bei erhöhter Temperatur, festgehalten hat, die in ihm von den radioaktiven Substanzen im Lauf der Jahrmillionen erzeugt wurde, und zweitens, dass das Mineral in der Schicht entstanden oder auskristallisiert ist²⁾, in welcher es sich jetzt be-

1) Die beiden Berechnungen von 11 Mill. und 55 Mill. sind zwar nicht exakt, aber frei von willkürlichen Hypothesen und auf etwa 50% zuverlässig.

2) Mineralien, die aus wässerigen Lösungen abgesetzt wären, sind deshalb nicht geeignet, weil hier primär einzelne Glieder der Radiumfamilie beigemischt sein können, die sich nicht erst nach der Kristallisation aus dem Uran entwickelt haben; allerdings käme das nur für kürzere Zeiträume in Betracht, da in rund $10^5 = 0,1$ Mill. Jahren selbst von Ionium nur mehr etwa der 1000 Teil der ursprünglichen Menge vorhanden wäre.

findet, STRUTT hat, um hinsichtlich der Entstehungszeit sicher zu gehen, zuerst phosphatisierte Knochen und Knollen, die ziemlich stark radioaktiv sind, untersucht, aber gefunden, dass diese offenbar nur einen kleinen Teil des Heliums festhalten; denn das so gefundene Alter war oft für Materialien in älteren Schichten viel geringer als für solche jüngeren Datums. Ähnliches gilt für die Untersuchung von Eisenerzen, obgleich hier schon die Widersprüche geringer werden. Sehr geeignet sind Zirkonkristalle, die offenbar das erzeugte Helium im Innern festhalten. Hier ist nur, wenigstens für die Zirkone in Ergussgesteinen der Einwand möglich, dass sie aus Tiefengesteinen übernommen sind; aber die Temperatur der geschmolzenen Lava, in der sie eingetaucht waren, hätte dann genügt, das Helium praktisch völlig auszutreiben. Im folgenden ist eine Umrechnung dieser letzten Untersuchungen von STRUTT gegeben. Das geologische Alter der Gesteine hat der Referent (meist etwas anders als STRUTT) nach der neuesten Literatur bestimmt.

Zirkone	Geol. Alter	Jahre
aus Sanidinit der Somma am Vesuv	posttertiär (?)	weniger als 100 000
Eifel (Mayen)	posttertiär	1 Mill.
Ergussgestein von Vulkan Campbell I Neuseeland	pliocän	2 Mill.
Ergussgestein von Expailly, Auvergne	miocän	6 Mill.
Zirkonsyenit. Brevig, Norwegen	Jünger als Oberdevon und wohl älter als Jura	50 Mill.
Granit. Cheyenne Canyon, Colorado	paläozoisch	140 Mill.
Granit vom Ural	unter Devon (?)	200 Mill.
aus Seifen von Ceylon (aus kristallinen Gesteinen ausgewittert)	archaisch (?)	im Mittel 200 Mill.
in den Minerallagerstätten von Renfrew Co., Ontario, Canada	archaisch	600 Mill.

Die Schwierigkeiten, die sich z. T. aus diesen Zahlen geologisch ergeben, wird jeder selbst sehen. Einerseits ist aber das geologische Alter z. B. für den „Zirkonsyenit“ von Brevig (es ist wohl der von W. C. BRÖGGER studierte Eläolithsyenit von Laugental und von Langensund gemeint) und den Uralgranit doch nicht sehr sicher bestimmt, andererseits muss man meiner Ansicht nach bis jetzt mit 50% zufälliger und systematischer Fehler bei den einzelnen physikalischen Bestimmungen des Heliumgehalts etc. rechnen. Auch dann ist die Größenord-

nung von rund 200 Mill. Jahren seit dem Anfang des Algonkian gegenüber den ca. 30 Mill. Jahren, die sich aus der Abkühlungstheorie, allerdings ohne Berücksichtigung der Wärmeproduktion durch Oxydation, Schmelzwärme, Radioaktivität etc. ergeben, noch auffallend. Doch werden wohl diese höheren Zahlen von STRUTT die richtigen sein.

Neuerdings hat auch J. W. WATERS (6) versucht, aus den kleineren Gesteinsmineralien wie Zirkon, Sphen, Rutil aus Graniten und Gneissen den Heliumgehalt zu bestimmen. Doch fliegt ein erheblicher Teil der α -Strahlen, das positive Heliumatom, aus dem Kristall heraus — die α -Strahlen haben z. T. eine grössere Reichweite als die Schichtdicke, die sie durchsetzen — und daher findet man in dem Mineral zu wenig Helium und in ganz wechselnder Menge.

b) aus den pleochroitischen Höfen.

Zu einer Altersbestimmung können wohl auch die pleochroitischen Höfe in Cordierit, Glimmern etc. dienen, deren Zusammenhang mit der Radioaktivität eingeschlossener Zirkonkörner und anderer radium- und thorhaltiger Mineralien MÜGGE und JOLY (10, 11, 12, 13) erkannt haben.

Diese pleochroitischen Höfe werden von den α -Strahlen, welche die Derivate der Radium- und Thoriumfamilie bei ihren Umwandlungen aussenden, erzeugt. Da die α Strahlen in Mineralien von der Dichte 2,5 je nach der Geschwindigkeit etwa 0,02—0,035 mm weit eindringen können, so sind die chemischen Reduktionen (?), die sie erzeugen, auf eine Kugel von einem eben so grossen Radius um das radioaktive Korn beschränkt und geben im Durchschnitt des Dünnschliffs dann Kreise mit diesem Radius. Ist die radioaktive Substanz erst kurze Zeit von dem andern Mineral umschlossen, so kann die Färbung des pleochroitischen Hofes nur sehr schwach sein, hat sie dagegen schon seit langer Zeit in das Mineral α -Strahlen entsendet, so wird die Farbe intensiver sein. MÜGGE hat hervorgehoben, dass dies zu einer Altersbestimmung dienen könnte. Doch stehen dem noch einige experimentelle Schwierigkeiten im Wege. Diese liegen im wesentlichen in der Bestimmung des Gehaltes an Radium und Thorium in den kleinen Zirkonkörnern, der sehr variabel ist, und andererseits in der selbständigen Umkehrung der chemischen Reduktion bei etwas erhöhter Temperatur, worauf BRAUNS (14) aufmerksam gemacht hat.

c) aus dem Bleigehalt.

BOLTWOOD (8) hat die Methode ausgebildet, aus dem Bleigehalt von stark uranhaltigen Mineralien deren Alter zu bestimmen. Blei ist höchst wahrscheinlich das Endprodukt der Umwandlungen des Uran in radioaktive Substanzen, und es ist angenähert die Zeit, um aus μ g Uran eine kleinere Menge b g von Blei zu entwickeln, gleich $\frac{b}{\mu} = 10$ Mill. Jahren.

BOLTWOOD berechnete aus den Analysen von HILLEBRAND an den sehr uranreichen Mineralien von Barringer Hill in Llano Co. Texas ein Alter, das zwischen 1000 und 11000 Mill. Jahren schwankt. Die Grundlage der Rechnung von BOLTWOOD leidet aber an einem systematischen Fehler, der ein viel zu grosses variables Alter bedingt, und der liegt darin, dass alle diese Mineralien mehr oder minder schon primär Blei enthalten, das nicht erst im Mineral durch radioaktive Vorgänge erzeugt wurde. G. F. BECKER hat in seiner 1908 erschienenen höchst interessanten Abhandlung über die Beziehungen von Radioaktivität zur Kosmogonie

und zum Alter der Erde hierauf aufmerksam gemacht. Hier wie bei all den Methoden mit Hilfe der Radioaktivität das Alter zu bestimmen, sind systematische Fehler da, die es zu hoch erscheinen lassen.

Beachtenswert ist eine Bemerkung von SODDY, die einen oberen Grenzwert für das Alter der Erde gibt. Da nämlich das Lebensalter des Urans ein begrenztes ist, so können Mineralien, selbst wenn sie ursprünglich ganz aus metallischem Uran bestanden hätten, nicht über ein bestimmtes Lebensalter, — die Halbwertszeit ist, etwa 10^{10} Jahre, besitzen. Da man nach dem Gesetz der Molekularproportionen für viele Uranmineralien angenähert den wahren maximalen Urangehalt angeben kann, so lässt sich die Grenze noch enger ziehen, etwa $10^9 = 1000$ Millionen Jahre; sie ist natürlich höher als das wahre aus dem Heliumgehalt angenähert ermittelte Alter.

Wenn wir die Ergebnisse der in beiden Abschnitten dargelegten Berechnungen zusammenfassen, so lässt sich mit Sicherheit so viel sagen: Die seit dem Anfang des Algonkian verstrichene Zeit ist, wie aus den Abkühlungsberechnungen folgt, grösser als 30 Mill. Jahre und, wie aus den Radioaktivitätsmessungen folgt, kleiner als 600 Mill. Jahre. Dem Ref. scheint ein Wert von 100—200 Mill. Jahren am wahrscheinlichsten.

Die Ergebnisse der neueren Erdbebenforschung in bezug auf die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern.

Von F. Pockels (Heidelberg).

Literatur.

1. E. WIECHERT. Über die Massenverteilung im Innern der Erde. Göttinger Nachr. 1897.
2. W. SCHWEYDAR. Beitrag z. Bestimmung des Starrheitskoeffizienten der Erde. Beitr. z. Geophys. 9, S. 41, 1907.
3. E. WIECHERT. Die Erdbebenforschung, ihre Hilfsmittel und ihre Resultate für die Geophysik (Votr. a. d. Naturf.-Vers. zu Dresden 1907. Physik. Zeitschr. 9, S. 36, 1908).
4. H. ARNOLD, Die Erdbewegung während des 1. Vorläufers eines Erdbebens. Dissert. Göttingen 1909. Beitr. z. Geophys. 10, S. 269, 1909.
5. W. LÁSKA. Mitt. d. Erdbebenkommission. Wien. N. F. 14, 1903.
6. — — Verwendung der Erdbebenbeob. z. Erforschung. d. Erdinnern. Wiener Sitzungsber. 113, II a, S. 739. 1904.
7. H. BENNDORF. Fortpflanzung der Erdbebenwellen. Wiener Sitzungsber. 114, II a, S. 1407, 1905 und 115 II a, S. 941, 1906.
8. E. WIECHERT. Theoretisches über die Ausbreitung der Erdbebenwellen. Gött. Nachr. 1907, S. 1.
9. K. ZÖPPRITZ. Laufzeitkurven. Gött. Nachr. 1907, S. 115.
10. K. ZÖPPRITZ u. L. GEIGER. Über Erdbebenwellen III. Gött. Nachr. 1909. S. 400.
11. J. MILNE. The velocity of propagation of earth quake vibrations. Brit. Assoc. Rep. 1903. S. 84.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Geologische Rundschau - Zeitschrift für allgemeine Geologie](#)

Jahr/Year: 1910

Band/Volume: [1](#)

Autor(en)/Author(s): Koenigsberger Johann G.

Artikel/Article: [Besprechungen. Berechnungen des Erdalters auf physikalischer Grundlage 1241-1249](#)