

nicht durchdringbare Wand; darüberliegende Öllagerstätten können also nicht durch Aszension entstanden sein. Schon die jedem Gesteine innewohnende Gebirgsfeuchtigkeit, welche die Poren erfüllt, wäre jeder

Ölwanderung ein Hindernis. Die Gebirgsfeuchtigkeit der tiefliegenden Sedimentgesteine, insbesondere der salzföhrnden, wird doch in der Regel syngenetisch sein.

### Radium und Erdwärme.

In letzter Zeit hat die Lehre von der beständig durch Ausstrahlung abnehmenden Eigenwärme der Erde, die sogenannte Abkühlungshypothese, kritische Erörterungen erfahren, hauptsächlich durch J. Koenigsberger, welche zu dem Ergebnisse führten, daß diese Hypothese zur Erklärung des Verhaltens der Erdwärme nicht völlig ausreicht, sondern daß auf dieses Verhalten auch andere Prozesse von maßgebendem Einfluß sein müssen, wobei mit großer Wahrscheinlichkeit die radioaktiven Vorgänge in erster Reihe in Betracht kommen. Dieser Frage vorzugsweise ist ein anregender Aufsatz<sup>1)</sup> gewidmet, den F. v. Wolff kürzlich veröffentlicht hat und welchem die folgenden Mitteilungen entlehnt sind, die bei dem Interesse, welches die österreichischen Montanistenkreise der Radiumfrage entgegenbringen, hier am Platze sein dürften.

Der Zerfall radioaktiver Elemente ist mit einer beträchtlichen Wärmeentwicklung verbunden, welche z. B. für das Radium von Curie und Laborde auf 100 und von Precht auf 134·28 Grammkalorien in der Stunde berechnet wurde. Bei der Desaggregation des Radiums entsteht vorerst eine gasförmige Emanation (ein Gas der Argongruppe), aus dieser sodann Heliumgas und das feste Radium A, welches aber nicht stabil ist, sondern sukzessive zu Radium B, C, D, E, und Radium F (Polonium) weiter zerfällt. Dieser Zerfall ist mit der Aussendung von Strahlen verbunden, welche die Eigenschaft besitzen, Gase elektrisch leitend zu machen, so daß man aus der Intensität des sogenannten Sättigungsstromes die Menge der vorhandenen radioaktiven Substanz abzuschätzen vermag, u. zw. selbst einer so geringfügigen Menge, daß sie durch gar keine andere Methode bestimmt werden könnte. Die Strahlung nimmt nicht nur bei verschiedenen radioaktiven Stoffen, sondern auch bei einem und demselben Stoff vom Beginn bis zum Schluß des Abklingens sehr verschieden rasch ab. Es hat sich aber herausgestellt, daß die Zeit, welche verstreicht, bis die Energie auf den halben Anfangswert herabgesunken ist, die sogenannte Halbierungskonstante, für jeden radioaktiven Stoff eine für die Strahlungsdauer bezeichnende Größe ist, welche z. B. nach W. Marckwalds Bestimmungen beträgt: beim Radium 2600 Jahre, bei der Radium-Emanation 3·8 Tage, beim Radium A 3 Min., Radium B 26 Min., C 19 Min., D ungefähr 40 Jahre, E<sub>1</sub> 6 Tage, E<sub>2</sub> 4·8 Tage, beim Radium F (Polonium) 140 Tage, beim Thorium 10.000 Millionen Jahre, beim Mesothorium etwa 7 Jahre, Radiothorium 737 Tage, Thorium X 3·64 Tage, bei der Thoremation 54 Sekunden, beim

Thorium A 10·6 Stunden, B 55 Min., Thorium C wenige Sekunden. Rutherford hat ebenfalls viele Halbierungskonstanten bestimmt, die mit den Marckwaldschen im ganzen übereinstimmen bis auf die großen Werte für Radium und Thorium, die Rutherford mit 1300 Jahren, bezw. mit 2400 Millionen Jahren angibt. Wenn man auch diese kleineren Werte gelten läßt, so ergibt sich daraus doch, daß durch den Zerfall des Radiums (und Thoriums) durch ungeheuerere Zeiträume eine Wärmeproduktion stattfindet, die im Wärmehaushalt der Erde zur Geltung kommen muß, sofern das Radium auf der Erde ausreichend verbreitet ist.

Nun hat J. R. Strutt eine ganze Reihe von Gesteinen auf ihren Radiumgehalt untersucht und hat in allen eine gewisse Radiummenge nachgewiesen.<sup>2)</sup> So beträgt nach Strutt der Radiumgehalt, ausgedrückt in Gramm: *a* (erste Kolonne) in einem Gramm und *b* (zweite Kolonne) in einem Kubikzentimeter des Gesteines:

	<i>a</i>	<i>b</i>
Beim Granit von Rhodesia . . .	9·56 · 10 <sup>-12</sup>	25·2 · 10 <sup>-12</sup>
„ Zirkonsyenit von Brevig in Norwegen . . .	9·30 · 10 <sup>-12</sup>	25·5 · 10 <sup>-12</sup>
„ Granit vom Kap der Guten Hoffnung . . .	7·15 · 10 <sup>-12</sup>	19·1 · 10 <sup>-12</sup>
„ Eläolithsyenit von Laurdal in Norwegen . . .	4·88 · 10 <sup>-12</sup>	13·2 · 10 <sup>-12</sup>
„ Blaugrund von Kimberley . . .	3·37 · 10 <sup>-12</sup>	10·3 · 10 <sup>-12</sup>
„ Leucitbasanit vom Vesuv . . .	3·33 · 10 <sup>-12</sup>	9·07 · 10 <sup>-12</sup>
„ Hornblendegranit von Assuan . . .	2·45 · 10 <sup>-12</sup>	6·47 · 10 <sup>-12</sup>
„ Pechstein von der Insel Eigg . . .	2·06 · 10 <sup>-12</sup>	4·97 · 10 <sup>-12</sup>
„ Hornblendediorit v. Schriesheim bei Heidelberg . . .	1·98 · 10 <sup>-12</sup>	5·73 · 10 <sup>-12</sup>
„ Peridotit von der Insel Rum . . .	1·37 · 10 <sup>-12</sup>	4·32 · 10 <sup>-12</sup>
„ Basalt von den Viktoria-Fällen . . .	1·26 · 10 <sup>-12</sup>	3·46 · 10 <sup>-12</sup>
„ Dolerit von der Insel Canna . . .	1·24 · 10 <sup>-12</sup>	3·65 · 10 <sup>-12</sup>
„ Basalt von Giants Causeway, Autrim . . .	1·03 · 10 <sup>-12</sup>	2·89 · 10 <sup>-12</sup>
„ Serpentin von Cadgwith, Lizard . . .	1·00 · 10 <sup>-12</sup>	2·60 · 10 <sup>-12</sup>
„ Olivinfels von der Insel Rum . . .	0·676 · 10 <sup>-12</sup>	2·18 · 10 <sup>-12</sup>
„ Basalt von Ovivak, Grönland . . .	0·613 · 10 <sup>-12</sup>	1·84 · 10 <sup>-12</sup>

Im großen und ganzen sind die sauren Massengesteine radiumreicher als die basischen, jedoch trifft dies nicht ausnahmslos zu, da z. B. ein Granit von der Insel Rum nur 1·89 · 10<sup>-12</sup> g Radium im Kubikzentimeter des Gesteins ergab. Im Mittel fand Strutt in allen von ihm untersuchten Massengesteinen 9·14 · 10<sup>-12</sup> g Radium pro Kubikzentimeter Gestein. Sedimente erwiesen sich im Durchschnitt zwar weniger radiumhaltig, aber dennoch

<sup>1)</sup> Die vulkanische Kraft und die radioaktiven Vorgänge in der Erde. „Zeitschr. d. Deutschen geolog. Gesellschaft.“ 60. Bd., 4. Heft, Berlin 1908 (erschienen 1909), S. 431.

<sup>2)</sup> Außerirdische Eisenmeteorite erwiesen sich als radiumfrei.

ist das Radium auch in ihnen allgemein verbreitet. So z. B. betrug die Radiummenge in je 1 g des Gesteines: im Oolith von Bath  $5.84 \cdot 10^{-12}$ , im Marmor von East Lothian  $3.87 \cdot 10^{-12}$ , in einem Petroleumsandstein aus Galizien  $3.04 \cdot 10^{-12}$ , in einem Dachschiefer aus Wales (?)  $2.57 \cdot 10^{-12}$ , in einem Ton aus Essex  $1.73 \cdot 10^{-12}$ , im Feuerstein aus Essex  $1.06 \cdot 10^{-12}$ , in der Kreide von Cambridgeshire im Liegend  $0.78$ , im Hangend  $0.25 \cdot 10^{-12}$  g.<sup>3)</sup>

Bei dieser universellen Verbreitung des Radiums, dessen Aktivität sich auch den Wässern und der Bodenluft mitteilt, ist die Frage berechtigt, in welchem Verhältnis die durch den Zerfall desselben frei werdende Wärme zu jener Wärmemenge steht, welche die Erde beständig an den Weltraum abgibt. Aus den Berechnungen von Rutherford, Elster und Geitel ergibt sich, daß der gesamte Wärmeverlust der Erde durch einen Gehalt von  $2.5 \cdot 10^{-13}$  g Radium pro Kubikzentimeter der Erdmasse vollkommen parallelisiert werden würde. Nun bewegt sich aber der Radiumgehalt der massigen Gesteine nach der obigen Tabelle zwischen  $25.2 \cdot 10^{-12}$  und  $1.84 \cdot 10^{-12}$  g pro Kubikzentimeter, was sehr viel mehr ist, als zur Herstellung des thermischen Gleichgewichtes auf der Erde erforderlich erscheint. Würde das Radium in der von Strutt in den Massengesteinen ermittelten Menge in der Erde gleichmäßig verteilt sein, so könnte sich diese nicht nur nicht abkühlen, sondern müßte beständig wärmer werden, was ein unmöglicher Schluß ist.

Es ergeben sich daraus zwei Möglichkeiten:

Entweder ist das Radium nicht gleichmäßig in der Erde verteilt, sondern es ist nur in der äußeren Rinde der Erde vorhanden. Die Dicke dieser Radiumschale ist von Strutt zu 22 oder 300 km berechnet worden, je nachdem, ob die kleinste oder größte der von ihm ermittelten Radiummengen in die Rechnung eingestellt wurde.

Oder aber das Radium ist zwar nicht ausschließlich in der Oberflächenkruste, sondern in der ganzen Erde bis in ihren innersten Kern verbreitet, kann aber unter den in der Tiefe herrschenden physikalischen Verhältnissen nicht zerfallen und keine Wärme entbinden. In diesem Falle würde somit die Betätigung der Radioaktivität durch den gegenüber dem Erdinnern geringen Druck in der Oberflächenkruste der Erde überhaupt erst ermöglicht sein. Man müßte sich vorstellen, daß nur in der äußeren Erdrinde die Elemente mit dem höchsten Atomgewicht und offenbar auch kompliziertesten Atombau: Uran, Thorium, Aktinium, Jonium, Radium, dem Zerfall unterliegen und dadurch radioaktiv werden, daß sie aber im Erdinnern stabil und infolgedessen nicht radioaktiv sind, was bis zu jener Grenze gilt, wo der Druck soweit abnimmt, daß der Zerfall dieser Elemente beginnen kann. Es würde hienach die Erde bestehen aus einer radioaktiven Schale und einem inaktiven Kern.

<sup>3)</sup> Diese Angaben basieren auf Strutts Abhandlungen in Proc. Roy. Soc. 1906, p. 472 und 1907, p. 150. In einer neueren Publikation (Philos. Magaz. 151. Bd., 1907, p. 231), führen Strutt und Mc. Intosh die der Halberungskonstante entsprechenden halben obigen Werte an.

Bei der Annahme von 22 km als Dicke der Schale wäre der an ihrer Tiefengrenze herrschende Druck 5940 at, bei 300 km Dicke aber 81.000 at. Innerhalb dieser Druckgrenzen müßte somit ungefähr auch die Stabilitätsgrenze der radioaktiven Elemente liegen. Die Temperatur, die an der unteren Grenze der radioaktiven Schale im Erdinnern herrschen würde, berechnet sich, je nach der Dicke der Schale, mit 350° bis 5000° C, so daß die Maximaltemperatur des Erdinnern hienach verhältnismäßig niedrig und schon in geringer Tiefe erreicht wäre.

Alle diese Berechnungen beruhen auf der Annahme eines stationären thermischen Gleichgewichtes in der Erde, welche Annahme jedoch in der geologischen Entwicklungsgeschichte der Erdoberfläche keine Stütze findet. Denn überblickt man den geologischen Entwicklungsgang der Erde, so erscheint eine zyklische Wiederholung von Perioden großer Umwälzungen und Ruhepausen unverkennbar. Die Ursache dieser zyklischen Wiederholung kann nur in der Erde selbst gelegen sein. Es sind in ihr Kräfte vorhanden, welche allmählich anwachsend, an der Oberfläche Spannungen bewirken, die schließlich unter gewaltigen Umwälzungen zur Auslösung gelangen, bis wieder in der Oberflächenkruste ein neues Gleichgewicht hergestellt ist, während im Innern der Erde das Kräftespiel bis zur Auslösung des nächsten Zyklus fort dauert.

Zu diesen zyklisch wiederkehrenden großen geologischen Ereignissen gehören: die Gebirgsbildung, starke vulkanische Tätigkeit, ausgedehnte Meerestransgressionen und die Eiszeiten, welche Ereignisse sich seit dem Ur-anfang bis zur Gegenwart in fünf Hauptzyklen wiederholt haben, wobei, wenn man ihre Intensität nach Maßgabe unserer dermaligen Kenntnisse abschätzt, sich ungefähr ergibt, daß die Gebirgsbildung in den seit dem Präkambrium bis zur Jetztzeit aufeinanderfolgenden Zyklen an Intensität und Umfang abgenommen hat; daß die Zeiten erhöhter vulkanischer Aktivität kürzer und infolgedessen die geförderten Magmamassen geringer geworden sind; hingegen die Vereisungen an Ausdehnung ständig zugenommen haben. Insbesondere die beiden letztgenannten Erscheinungen: Abnahme des Vulkanismus und Zunahme der Vereisungen bekunden nach v. Wolfs Ansicht, daß ein durch Radiumwärme erzeugtes stationäres Gleichgewicht im Wärmehaushalt der Erde nicht besteht, sondern daß tatsächlich eine fortschreitende Abkühlung der Erde stattfindet. Wohl aber kommt der Wärmeezeugung durch Zerfall des Radiums in der Oberflächenkruste der Erde eine sehr wichtige Aufgabe zu: sie wirkt der Wärmeabgabe durch den Abkühlungsprozeß entgegen und verlangsamt ihn derart, daß sich seit ungeheueren geologischen Zeiträumen die Eigenwärme unseres Planeten in den verhältnismäßig engen Grenzen erhalten konnte, welche die Entfaltung und ungestörte allmähliche Entwicklung des organischen Lebens auf der Erde ermöglicht haben und weiter ermöglichen.