

Mit  $D = \text{const}$  liefern die Gln. (1) und (2) für variables  $s$  die Absorptionskurven der Stoßprotonen. Bei der Messung wurde die Protonenabsorption durch die Aluminiumplatten Al bewirkt. Die Absorptionskurven in Abb. 3 sind mit einer Paraffindicke  $D = 1,78 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  aufgenommen. Zum Vergleich mit den berechneten Werten (ausgezogene Kurven) wurde bei der Al-Dicke 0 auf 100% normiert. Für Al-Dicken größer als  $1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$  waren wegen der Geometrie der Versuchsanordnung Korrekturen erforderlich, die in den gestrichelt gezeichneten Werten berücksichtigt sind. Die Messungen zeigen, daß Neutronenenergien bis etwa 45 MeV vorkommen.

### Altersbestimmungen nach der Kalium - Argonmethode unter Berücksichtigung der Diffusion des Argons

Von W. Gentner, R. Präg, und F. Smits

Aus dem Physikalischen Institut  
der Universität Freiburg i. Brg.

(Z. Naturforschg. **8a**, 216-217 [1953]; eingeg. am 4. Dezember 1952)

In einer früheren Veröffentlichung<sup>1</sup> sind bereits Werte über den Argongehalt von tertiären Sylvinen aus dem Kaliwerk Buggingen (Oligozän des Oberrheins) mitgeteilt worden. Es hatte sich danach herausgestellt, daß die Menge des radiogenen Argons 40 für die gleiche Kaliummenge in den verschiedenen Schichten, die wohl als Jahresringe anzusehen sind, in gewissen Grenzen schwankt. Eingehendere Messungen mit einem eigens dazu konstruierten Massenspektrometer haben nun gezeigt, daß der Gehalt an radiogenem Argon 40 einen eindeutigen Zusammenhang mit der Kristallgröße aufweist. Von den verschiedenen Schichten wurden Schlämme hergestellt und durch Auszählung der Einkristalle die mittlere Kristallgröße jeder Schicht bestimmt. Es lag nahe, die Unterschiede im Argongehalt auf Diffusionsvorgänge zurückzuführen, besonders da ein wesentlicher Altersunterschied der Schichten nicht angenommen werden kann und auch keine geologischen Ursachen für diese Unterschiede denkbar sind. Aus der Schwankungsbreite des Argongehaltes, die maximal etwa 1:2 beträgt, kann geschlossen werden, daß es sich wohl hauptsächlich um eine Volumendiffusion handelt, da eine reine Oberflächendiffusion wesentlich kleinere Unterschiede ergeben müßte. Zur Berechnung der Diffusionskonstanten wurde angenommen, daß die physikalischen Bedingungen in den verschiedenen Schichten immer die gleichen waren und daß das radiogene Argon nur von innen nach außen diffundierte. Diese Annahme erscheint berechtigt, da das radiogene Argon von dem Luftargon durch die massenspektrometrischen Messungen unterschieden wird.

<sup>1</sup> F. Smits u. W. Gentner, *Geochim. cosmochim. Acta* [London] **1**, 22 [1950]; M. Pahl, J. Hiby, F. Smits u. W. Gentner, *Z. Naturforschg.* **5a**, 404 [1950].

Die Frage, ob die hier nachgewiesenen Neutronen aus dem Prozeß  $P + \mu^- \rightarrow N + \mu_0$  (Anm. 3) stammen, bei dem überwiegend Neutronen mit einer Energie bis zu ca. 20 MeV emittiert werden, kann auf Grund der bisherigen Messungen noch nicht mit Sicherheit entschieden werden.

Herrn Professor Kirchner sind wir für zahlreiche Anregungen und Diskussionen zu großem Dank verpflichtet.

<sup>3</sup> J. Tiomno u. J. A. Wheeler, *Rev. mod. Physics* **21**, 153 [1949].

Ist die Diffusionskonstante  $D$  von der Konzentration  $c$  des diffundierenden Stoffes ( $\text{Ar}^{40}$ ) unabhängig, was bei kleinen Konzentrationen in erster Näherung erfüllt ist, so schreibt sich das zweite Ficksche Gesetz der Diffusion in der Form

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \Delta c.$$

Hinzu kommt, daß der diffundierende Stoff ( $\text{Ar}^{40}$ ) dauernd aus dem radioaktiven Zerfall des  $\text{K}^{40}$  nachgebildet wird. Dies führt zu

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \lambda_K \cdot c_{K_0} - \lambda c.$$

Hierin ist  $\lambda = \lambda_K + \lambda_\beta$  und  $\lambda_K, \lambda_\beta$  die Zerfallskonstanten von  $\text{K}^{40}$  für K- bzw.  $\beta$ -Zerfall.  $c_{K_0}$  ist die Konzentration des  $\text{K}^{40}$  zur Zeit  $t = 0$ . Die beiden obigen Gleichungen ergeben addiert die Gesamtänderung wieder

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \Delta c - \lambda c + \lambda_K c_{K_0}.$$

Durch Reihenentwicklung läßt sich diese Differentialgleichung lösen, man kommt so zu einem Ausdruck für die räumliche Verteilung der Argonkonzentration innerhalb eines Kristalls. Nimmt man einen kubischen Kristall mit der Kantenlänge  $d$  an, so ergibt sich für die mittlere Konzentration des radiogenen Argon 40

$$\bar{c} = c_{K_0} \cdot f\left(\frac{D}{d^2}, \lambda_K, \lambda, t\right),$$

worin  $f$  eine dimensionslose Funktion darstellt.

In Abb. 1 ist diese Funktion numerisch ausgewertet für verschiedene Werte der Diffusionskonstante und verschiedene mögliche Alter des Sylvinitaggers. Für die Ermittlung von  $\lambda_K$  wurde ein Mittelwert von  $(3,3 \pm 0,3)$  K-Übergänge pro g Kalium und Sekunde zugrunde gelegt (vgl.<sup>2</sup>), für  $\lambda_\beta$  ein solcher von  $28,3 \pm 3$  Übergänge pro g Kalium und Sekunde.

Es zeigt sich, daß die gemessenen Werte einer einzigen theoretischen Kurve zugeordnet werden können. Damit erhalten die Vorstellungen über die Volumen-

<sup>2</sup> F. G. Houtermans, O. Haxel u. J. Heintze, *Z. Physik* **128**, 657 [1950].



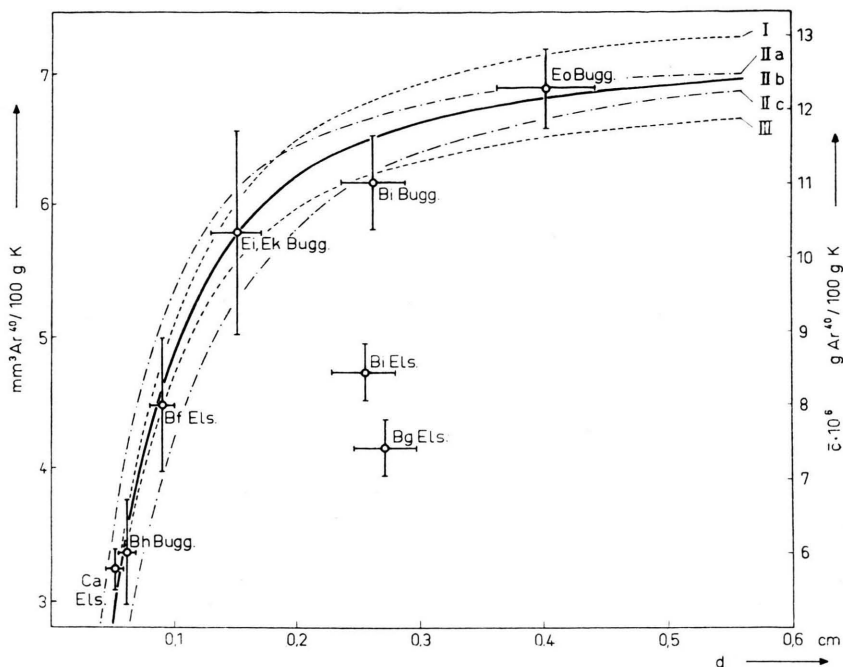
diffusion eine wesentliche Stütze. Das Herausfallen der beiden Meßpunkte Bi Els und Bg Els kann auf Grund von Besonderheiten in der Kristallstruktur dieser Schichten leicht erklärt werden.

Durch diese Überlegungen erhält auch der für das untere Oligozän gefundene Alterswert von  $21 \pm 3$  Millionen Jahren möglicherweise noch eine Korrektur. Nach unseren Abschätzungen kann allerdings dieser

Abb. 1. Abhängigkeit des Argongehaltes von der Kristallgröße.

Es bedeutet:

- I  $t = 22 \cdot 10^6 a$ ,  
 $D = 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ,  
 IIa  $t = 21 \cdot 10^6 a$ ,  
 $D = 1 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ,  
 IIb  $t = 21 \cdot 10^6 a$ ,  
 $D = 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ,  
 IIc  $t = 21 \cdot 10^6 a$ ,  
 $D = 2,5 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{sec}$ ,  
 III  $t = 20 \cdot 10^6 a$ ,  
 $D = 1,5 \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{sec}$ .



Der Wert der neuen Methode besteht also darin, daß man gleichzeitig das absolute Alter und die Diffusionskonstante des Argons in KCl-Kristallen findet. Das untersuchte Sylvanlager besitzt heute bei einer Tiefe von rund 800 m eine Temperatur von etwa  $40^\circ\text{C}$ . Es erscheint aber nicht erlaubt, dem Argon die gefundene Diffusionskonstante  $D = (1,5 \pm 1) \cdot 10^{-19} \text{ cm}^2/\text{sec}$  im KCl-Kristall allgemein für diese Temperatur von  $40^\circ\text{C}$  zuzuschreiben. Dazu müßte man den zeitlichen Temperaturverlauf dieses Lagers seit dem Tertiär genauer kennen. Man könnte zunächst annehmen, daß die Temperatur allmählich auf den heutigen Wert angestiegen ist, da das Lager durch verschiedene geologische Vorgänge in immer größere Tiefen gelangt ist. Es ist aber nicht die Möglichkeit auszuschließen, daß die geothermische Tiefenstufe in der oberrheinischen Tiefebene infolge vulkanischer Tätigkeit vorübergehend kleiner gewesen ist. Allerdings ist die Temperatur sicherlich nie höher als  $80^\circ\text{C}$  gewesen.

Wert selbst bei besonders ungünstigen geologischen Bedingungen höchstens um 25% zu niedrig liegen. Somit würde das absolute Alter des unteren Oligozäns immer noch kleiner anzusetzen sein, als man bisher aus der Extrapolation von Altersbestimmungen an einer lamariden Pechblende, die dem Paleozän zuzuordnen ist, geschätzt hat.

Mit dieser Methode ist es zum erstenmal möglich, die Diffusion von Gasen bei Altersbestimmungen quantitativ zu erfassen. Bei der Helium-Methode spielt die Diffusion sicherlich eine stärkere Rolle, da die Diffusionskonstante sehr wahrscheinlich größer ist. Es ist daher vorgesehen, ähnliche Untersuchungen für die Helium-Methode durchzuführen.

Eine ausführlichere Darstellung dieser Ergebnisse erscheint in der „Geochimica et Cosmochimica Acta“. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat diese Untersuchungen durch eine Sachbeihilfe unterstützt.

### 188Re<sup>m</sup>, ein neues Kern-Isomer von $T = 18,7$ min Halbwertszeit

Von A. Flammersfeld

Aus dem Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz

(Z. Naturforschg. 8 a, 217–218 [1953]; eingeg. am 11. Februar 1953)

Bei der Bestrahlung von Rhenium mit Neutronen tritt außer den bisher durch Neutronen erzeugten Aktivitäten noch eine neue von  $T = 18,7 \pm 0,3$  min Halb-

wertszeit auf, die wegen ihrer sehr weichen Strahlung schwierig nachzuweisen ist. Verwendung fand chemisch reines Rhenium-Metall der Firma Siebert, Hanau, das in Schichtdicken von 1 bis 5 mg/cm<sup>2</sup> angewendet wurde. Die Bestrahlungs- und Meßanordnungen waren dieselben wie bereits früher angegeben<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> A. Flammersfeld, Z. Naturforschg. 5a, 687 [1950].