

Spingewicht bezüglich Ringprotonen	für die Niveaus mit		Bezeichnungs- weise der Niveaus ²
	Parität <i>m</i>	Parität <i>K</i>	
5	gerade	gerade	A _e , B _{ze} , E _{1e}
3	gerade	ungerade	B _{xe} , B _{ye} , E _{2e}
3	ungerade	gerade	A _o , B _{zo} , E _{1o}
5	ungerade	ungerade	B _{xo} , B _{yo} , E _{2o}

Es fällt also kein Niveau aus, wie das beim Nitromethan¹ geschieht.

Hinderungspotential

Der in dieser Arbeit gefundene Wert der Amplitude V_6 des sechszähligen Hinderungspotentials für die interne Rotation der Methylgruppe im para-Fluortoluol, $V_6 = 13,82$ cal/Mol, stimmt der Größenordnung nach mit den früher für Nitromethan¹ und Methylbordiäfluorid² angegebenen überein. Zur Zeit werden in unserem Laboratorium die mit para-Fluortoluol isoelektronischen Moleküle 4-Methyl-

Pyridin und Toluol selbst untersucht (die vorliegende Arbeit war wegen der Erleichterung auf Grund des größeren Dipolmoments des p-Fluortoluols als eine Vorstufe zur Untersuchung des Toluols gedacht). Für beide Moleküle wurden inzwischen – wie erwartet – V_6 -Werte ganz in der Nähe des hier angegebenen gefunden. Den von WULFF⁹ für Toluol aus kalorischen Messungen bei tiefen Temperaturen bestimmten Wert

$$V_6 = (200 \pm 25) \text{ cal/Mol}$$

können wir nicht bestätigen.

Für Anregung und Hilfe danken wir unserem verstorbenen Lehrer, Prof. W. MAIER, den Herren Dr. H. DREIZLER und Dr. R. PETER, den Mitarbeitern der mikrowellenspektroskopischen Arbeitsgruppe, sowie der Deutschen Forschungsgemeinschaft, die uns Sachmittel zur Durchführung der Arbeiten überlassen hat.

⁹ C. A. WULFF, J. Chem. Phys. **39**, 1227 [1963].

Tritiumdiffusionsmessungen an vier Steinmeteoriten

H. FECHTIG und W. GENTNER

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

(Z. Naturforsch. **20 a**, 1686–1691 [1965]; eingegangen am 16. September 1965)

Four stony meteorites have been examined for their tritium diffusion constants. Tritium for the diffusion measurements has been produced in the meteoritic material by neutron activation and high energy proton bombardment. The tritium diffusion constants were found to be different for the two tritium production mechanism. Tritium production by high energetic proton bombardment approaches more easily to the production mechanism caused by cosmic radiation and therefore this diffusion constant should be applied for the calculation of tritium losses. In the case of proton produced tritium, values of D/a^2 are of the order of $10^{-18} \text{ sec}^{-1}$, whereas for tritium produced by n-activation, the values are between 10^{-10} and $10^{-14} \text{ sec}^{-1}$. — Using the found D/a^2 values only for one stony meteorite (Alfianello) the tritium loss is of the order of 40% within 10 years. For the other meteorites the tritium loss within 10 years at room temperature is below 1%.

Im Rahmen umfangreicher Diffusionsmessungen an Meteoriten wurde bereits früher über die Diffusion von Edelgasen aus Meteoriten berichtet (FECHTIG, GENTNER und LAEMMERZAH¹). Im Zusammenhang mit den von mehreren Autoren (GOEBEL und SCHMIDLIN², GEISS, HIRT und OESCHGER³, FIREMAN und SCHWARZER⁴, FIREMAN und DEFELICE^{5, 6},

BAINBRIDGE, SUESS und WÄNKE⁷) in den letzten Jahren publizierten Arbeiten über den Tritiumgehalt von Meteoriten interessiert neben der Diffusion des Edelgases aus Meteoriten die Frage, ob die gewonnenen Ergebnisse für Tritium möglicherweise durch Diffusionsverluste verfälscht sein können.

¹ H. FECHTIG, W. GENTNER u. P. LAEMMERZAH¹, Geochim. Cosmochim. Acta **27**, 1149 [1963].

² K. GOEBEL u. P. SCHMIDLIN, The Radiation Age of Meteorites, in: Radioisotopes in the Physical Sciences and Industry, Conference Proceedings Copenhagen, 6. – 17. 9. 1960, IAEA Wien 1962, Bd. 1, S. 13.

³ J. GEISS, B. HIRT u. H. OESCHGER, Helv. Phys. Acta **33**, 590 [1960].

⁴ E. L. FIREMAN u. D. SCHWARZER, Geochim. Cosmochim. Acta **11**, 252 [1957].

⁵ E. L. FIREMAN u. J. DEFELICE, Geochim. Cosmochim. Acta **18**, 183 [1960].

⁶ E. L. FIREMAN u. J. DEFELICE, J. Geophys. Res. **65**, 3035 [1960].

⁷ A. E. BAINBRIDGE, H. E. SUESS u. H. WÄNKE, Geochim. Cosmochim. Acta **26**, 471 [1962].



Dieses Werk wurde im Jahr 2013 vom Verlag Zeitschrift für Naturforschung in Zusammenarbeit mit der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V. digitalisiert und unter folgender Lizenz veröffentlicht: Creative Commons Namensnennung-Keine Bearbeitung 3.0 Deutschland Lizenz.

Zum 01.01.2015 ist eine Anpassung der Lizenzbedingungen (Entfall der Creative Commons Lizenzbedingung „Keine Bearbeitung“) beabsichtigt, um eine Nachnutzung auch im Rahmen zukünftiger wissenschaftlicher Nutzungsformen zu ermöglichen.

This work has been digitalized and published in 2013 by Verlag Zeitschrift für Naturforschung in cooperation with the Max Planck Society for the Advancement of Science under a Creative Commons Attribution-NoDerivs 3.0 Germany License.

On 01.01.2015 it is planned to change the License Conditions (the removal of the Creative Commons License condition "no derivative works"). This is to allow reuse in the area of future scientific usage.

I. Theoretische Grundlagen und experimentelle Meßmethode

Zur theoretischen Behandlung der Tritium-Diffusion kann man nicht ohne weiteres den Diffusionsvorgang allein betrachten. Vielmehr muß man bei den hier vorliegenden Tritiumkonzentrationen, etwa $10^{10} - 10^{12}$ Atome/g Material, auch mit chemischen Effekten, wie z. B. Hydridbildung, und mit Lösungseffekten von Wasserstoff in Festkörpern rechnen. Die Löslichkeit von Wasserstoff in Festkörpern wurde schon weitgehend studiert (siehe z. B. HANSEN⁸).

Im folgenden soll nur die rein physikalische Diffusion von Tritium in Betracht gezogen werden. Sollten sich dabei merkliche Abweichungen im Diffusionsverhalten ergeben, so lassen sich möglicherweise solche Abweichungen durch die oben erwähnten Effekte erklären.

Zur physikalisch-theoretischen Behandlung der Diffusion von Tritium aus Meteoriten kann man den bei der Edelgasdiffusion gebrauchten Formalismus anwenden¹. Danach ergibt sich für eine isotrope Diffusion aus einer Kugel mit dem Radius a bei konstanter Anfangskonzentration des Tritiums nach CARSLAW und JÄGER⁹ folgende Näherungsformel:

$$\frac{C_0 - C}{C_0} = \frac{6}{\sqrt{\pi}} \cdot \left(\frac{Dt}{a^2} \right)^{1/2} - 3 \cdot \frac{Dt}{a^2}, \quad (1)$$

D = Diffusionskonstante, C_0 = Anfangskonzentration, C = Konzentration nach der Diffusionszeit t , t = Diffusionszeit.

Bei der wiederum vielfach verwendeten Methode der sukzessiven Entgasung bei verschiedenen Temperaturen ergibt sich nach WRAGE¹⁰ folgender Zusammenhang:

$$\delta_k = a \cdot \frac{C_{k-1} - C_k}{C_0} + \delta_{k-1};$$

$$D_k = \frac{a}{6 C_0} \cdot \frac{\delta_{k-1} (C_{k-1} - C_k)}{t_k - t_{k-1}}, \quad (2)$$

$C_{k-1} - C_k$ = Gasabgabe bei der k -ten Messung,
 $t_k - t_{k-1}$ = Entgasungszeit bei der k -ten Messung,
 δ_k = oberflächennahe Schicht nach der k -ten Messung.

Aus den bei bestimmten Temperaturen entwichenen Tritiummengen wurde nach Formel (2) die für den Diffusionsverlust maßgebliche Größe D/a^2 ermittelt.

Das Tritium wurde bei den verschiedenen Proben auf zwei Arten erzeugt.

a) Bestrahlung mit Neutronen:

Bei Bestrahlungen, die im Münchner Forschungsreaktor durchgeführt wurden, ergab sich bei einer Bestrahlungsdauer von ca. 150 h vermöge der Reaktion $\text{Li}^6(n, \alpha)\text{T}$ eine Tritiumkonzentration von etwa 10^7 dpm pro g Material.

b) Bestrahlung mit Protonen:

Eine zweistündige Bestrahlung mit 600 MeV-Protonen im Genfer Synchrozyklotron erzeugt in Steinmeteoriten eine Tritiumkonzentration von einigen 10^6 dpm pro g Material. Die Bestrahlungen mit Protonen wurden aus zwei Gründen durchgeführt: 1. wird damit derselbe Erzeugungsmechanismus angewendet, der auch für die Tritiumerzeugung durch die kosmische Strahlung im Weltraum verantwortlich ist, 2. soll durch etwa auftretende Unterschiede der Meßergebnisse zwischen Tritiumerzeugung durch Neutronen und durch Protonen auf die Lokalisation der einzelnen Ausgangselemente geschlossen werden.

Die Tritiumerzeugung bei der Bestrahlung mit Protonen erfolgt durch Verdampfungsprozesse in höheren Kernen. Es ist daher zu erwarten, daß im Vergleich zur Neutronenbestrahlung eine homogenere Anfangsverteilung des Tritiums unmittelbar nach der Bestrahlung vorliegt.

Die bestrahlten Proben werden in einem Temperofen auf Temperaturen zwischen Zimmertemperatur und 1000 °C gebracht, das aus dem bestrahlten Material entweichende Gas wird in einer Glasapparatur aufgefangen und über ein Pd-Ventil geleitet. An diesem Pd-Ventil erfolgt eine Trennung des Wasserstoffs einschließlich Tritium von den übrigen Gasen. (Unter den verbleibenden Gasen befindet sich das radioaktive Argon, an dem die in einer früheren Arbeit¹ berichteten Ergebnisse gewonnen wurden.) Das durch das Pd-Ventil hindurchgetretene Gas (Wasserstoff und Tritium) wird als innere Füllung in ein Zählrohr gepumpt und die Aktivität registriert.

An jeder Probe wurde, bei Zimmertemperatur beginnend, in Schritten von 50 oder 100 °C bis herauf zu etwa 1000 °C gemessen. Diese schrittweise Entgasung wurde im allgemeinen bei jeder Probe mehrere Male durchgeführt. Für jeden Schritt wurde aus Gl. (2) der Wert D/a^2 ermittelt.

II. Ergebnisse

Auf die Eignung des Steinmeteoritenmaterials für Diffusionsmessungen wurde schon in der mehrfach zitierten Arbeit von FECHTIG, GENTNER und LAEMMERZAHN¹ eingegangen. Es sei in diesem Zusammenhang nochmals daran erinnert, daß die Korngröße

⁸ M. HANSEN, Constitution of Binary Alloys, McGraw-Hill Book Co., Inc., New York—Toronto—London 1958.

⁹ H. S. CARSLAW u. J. C. JÄGER, Conduction of Heat in Solids, 2nd Ed., Clarendon Press, Oxford 1959, p. 92.

¹⁰ E. G. WRAGE, Geochim. Cosmochim. Acta 26, 61 [1962].

Meteorit	Typ	Fall	K-Ar-Alter nach ¹¹	angewandte Methode
Alfianello	Hypersthen-Ch.	1883	$0,77 \cdot 10^9 \text{a}$	n
Kapoeta	Howardit	1942	$4,40 \cdot 10^9 \text{a}$	n
Abee	Enstatit Ch.	1952	$4,71 \cdot 10^9 \text{a}$	n, p
Ramsdorf	Hypersthen-Ch.	1958	$0,42 \cdot 10^9 \text{a}$	p

Tab. 1. Übersicht über die gemessenen Meteorite mit Klassifizierung, Falldatum und K-Ar-Alter.
(n=Neutronenbestrahlung, p=Protonenbestrahlung).

der Einzelkristalliten zwischen Bruchteilen von μ und mehreren Hundert μ variiert, wobei der größte Teil der Körner einen Durchmesser $< 10 \mu$ besitzt. Diese Ausgangsvoraussetzung muß bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden.

Tab. 1 gibt eine Übersicht über die untersuchten Steinmeteorite.

II, 1. Diffusionsergebnisse an neutronenbestrahlten Proben

Proben der Steinmeteorite Alfianello, Kapoeta und Abee wurden so zerkleinert, daß die Stücke Durchmesser zwischen 0,6 und 1 mm hatten. Damit ist sichergestellt, daß die natürlichen Korngrößen der Einzelkristallite nicht beeinflusst wurden. Die solcherweise vorbehandelten Proben wurden im Münchner Forschungsreaktor 150 h lang bestrahlt. Durch Aufschmelzen eines Teiles der bestrahlten Probe mit Hilfe eines HF-Generators wurde der Gesamtgehalt an Tritium in der bestrahlten Materie ermittelt. Gemäß der Beziehung (2) wurde für jeden einzelnen Schritt die Größe D/a^2 ermittelt. Abb. 1 zeigt die gemessenen D/a^2 -Werte in logarithmischer Auftragung als Funktion der Variablen $1/T$ (T =absolute Temperatur).

Vergleicht man mit den von FECHTIG, GENTNER und LAEMMERZAHL¹ gewonnenen Ergebnissen der Diffusion von Ar^{37} in solchen Meteoriten, so zeigen die Ergebniskurven $\log D/a^2$ vs. $1/T$ im wesentlichen nur eine einzige Gerade, falls man von der zweiten Meßreihe für Temperaturen unterhalb 300°C bei Kapoeta absieht. Dieses Ergebnis läßt sich dadurch erklären, daß der Wasserstoff mit seinem im Vergleich zum Argon kleineren Ionenradius innerhalb der fraglichen Gitterstörungen doch so beweglich ist, daß sich in solchen Versetzungen kein Reservoir an Wasserstoff ausbilden kann. Es ist immerhin auch bei Kapoeta bemerkenswert, daß die Werte für die erste Meßreihe bei niederen

Temperaturen in etwa auf der ausgezogenen Gerade liegen, was durchaus mit obiger Hypothese im Einklang steht, d. h., daß ein solches Reservoir in den Gefügestörungen bei längerem Warten (ca. 4 Wochen) sich entleeren kann.

Vor allem ist festzustellen, daß die Geraden im $\log D/a^2$ - vs. $1/T$ -Diagramm viel flacher verlaufen als die entsprechenden Geraden bei der Diffusion von Argon. Aus diesem Grund sind auch die D/a^2 -Werte für Zimmertemperatur entsprechend höher. Quantitativ wird dieser Sachverhalt durch die Berechnung der Aktivierungsenergie Q gemäß folgender Beziehung erfaßt:

$$D/a^2 = D_0/a^2 \cdot \exp\{-Q/(RT)\}, \quad (3)$$

D = Diffusionskonstante (cm^2/s), D_0 = Konstante (cm^2/s), a = Korngröße (cm), Q = Aktivierungsenergie (kcal/mol), R = absolute Gaskonstante ($\text{cal}/^\circ\text{K} \cdot \text{mol}$), T = absolute Temperatur ($^\circ\text{K}$).

In Tab. 2 sind die nach Gl. (3) ermittelten Werte für die Aktivierungsenergien Q und die D/a^2 -Werte bei Zimmertemperatur angegeben. Zum Vergleich

Meteorit	$Q(\text{T})$ kcal/mol	$Q(\text{Ar}^{37})$ kcal/mol	D/a^2 für T (Z. T.) s^{-1}	Verlust bei Lagerung von 10 a bei Z. T. %	D/a^2 für Ar^{37} (Z. T.) s^{-1}
Alfianello	6,5	45 (23)	10^{-10}	40	10^{-17}
Kapoeta	17,3	39 (23)	10^{-16}	0,04	10^{-25}
Abee	13,9	— (30)	10^{-14}	0,4	10^{-26}

Tab. 2. Aktivierungsenergien, D/a^2 -Werte und Verluste nach 10 a Lagerung auf der Erde aus neutronenbestrahlten Steinmeteoriten. (Z.T.=Zimmertemperatur.)

sind die für die Diffusion von Argon gültigen Werte der Aktivierungsenergie und die Größe D/a^2 bei Zimmertemperatur angegeben. Die für $Q(\text{Ar}^{37})$ in Klammern angegebenen Werte sind nicht auf den Auslauseffekt korrigiert.

¹¹ T. KIRSTEN, D. KRANKOWSKY u. J. ZÄHRINGER, Geochim. Cosmochim. Acta **27**, 13 [1963].

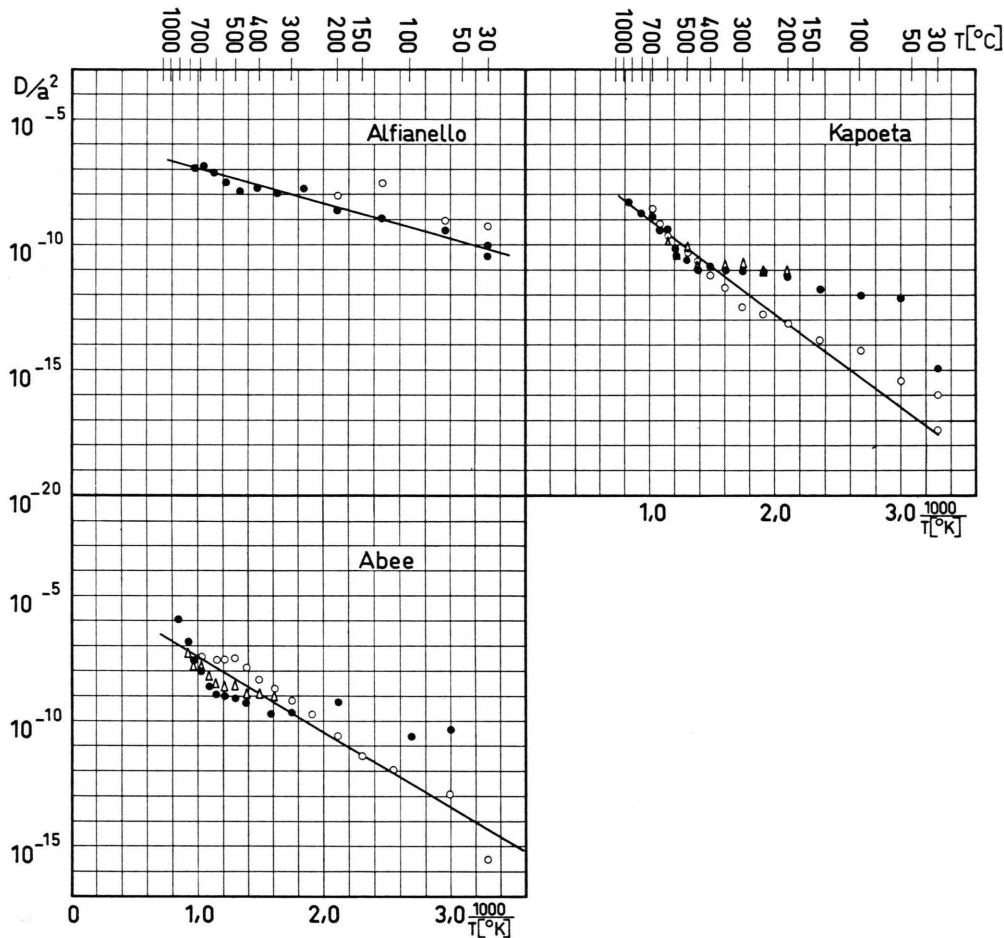


Abb. 1. Diffusion von Tritium aus Steinmeteoriten (mit Neutronen bestrahlt).
 ○ erste, ● zweite, △ dritte Meßreihe.

Die im Vergleich mit dem Argon viel niedrigeren Aktivierungsenergien des Tritiums sind ebenfalls durch den kleineren Radius des Wasserstoffs zu erklären. Obwohl bei der Diffusion des Tritiums durchaus auch noch mit chemischen Einflüssen gerechnet werden muß, scheint eine Übereinstimmung der Meßergebnisse mit der rein physikalischen Diffusionsvorstellung doch recht gut zu sein.

Nach unseren Ergebnissen wäre innerhalb 10 Jahren nach dem Fall mit Verlusten von 40% bei Alfianello, 0,04% bei Kapoeta und 0,4% bei Abee zu rechnen. Hierbei fällt der sehr hohe Verlustwert für Alfianello auf. Dieser Wert dürfte ausnahmsweise hoch sein, wie auch der Argonverlustwert für diesen Meteorit ausnahmsweise groß ist.

Es wurde daher Alfianello von EL GORESY mineralogisch untersucht und festgestellt, daß dieser Meteorit viel Klnoenstatit $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ führt, der mit großer Wahrscheinlichkeit Lithium in Form von $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ enthält. Diese Li-haltige Phase ist zwar auch bei anderen Meteoriten enthalten und erklärt nicht unbedingt die hohen Werte der Diffusionszahlen D/a^2 . Jedoch zeigt dieser Meteorit außerdem zahlreiche Bruchschmelzzonen, die vermutlich von Zusammenstößen im Weltraum herrühren. Derartige Bruchschmelzzonen zeigen eine vergleichsweise feinere Körnigkeit, die somit den Wert D/a^2 beträchtlich zu erhöhen vermag. Damit wäre auch die erhöhte Diffusionskonstante für Argon und das niedrige K-Ar-Alter für Alfianello erklärt.

II, 2. Diffusionsergebnisse an protonenbestrahlten Proben

Von den Meteoriten Abee und Ramsdorf wurden zur Bestrahlung Proben auf Stückchen mit Durchmessern zwischen 0,6 und 1 mm ausgesiebt, wobei die kleinen Einzelkristalliten sicher nicht merklich beschädigt wurden. Die Bestrahlung erfolgte mit 600 MeV-Protonen im Genfer Synchrozyklotron und dauerte ca. 2 Stunden. Die Proben wurden nach Beendigung der Bestrahlung solange aufbewahrt, bis die kurzlebige Radioaktivität abgeklungen war. Die Messung selbst wurde genau so durchgeführt wie bei den mit Neutronen bestrahlten Proben. Wiederum wurden also drei Meßreihen durchgeführt, bei Zimmertemperatur beginnend. Die aus den einzelnen Meßschritten gewonnenen Ergebnisse wurden gemäß Gl. (2) berechnet. Die daraus resultierenden Werte für D/a^2 wurden im logarithmischen Maßstab gegen $1/T$ aufgetragen. Das Ergebnis ist in Abb. 2 dargestellt.

Die Kurven für diese beiden Meteoriten zeigen für die erste Meßreihe weitgehend eine Gerade, nur bei den niedrigsten Temperaturen ist eine Abweichung vorhanden. Die 2. und 3. Meßreihe dagegen zeigen auch hier deutlich das Vorhandensein eines zweiten Reservoirs, das wir hypothetisch den Gefügestörungen zuordnen. Hierin haben wir also eine Ab-

weichung gegenüber den Ergebnissen an neutronenbestrahlten Proben. Während der ca. vierwöchigen Abklingzeit konnte sich das Gefügestörungsreservoir entleeren, doch wurde dasselbe bei der Diffusion der ersten Meßreihe wieder aufgefüllt. Die kurze Zeit zwischen den einzelnen Meßreihen war zu klein, als daß die Entleerung sich so schnell einstellen konnte. Diese Unterschiede im Diffusionsverhalten der auf verschiedene Weise erzeugten Tritiumkonzentration ist auf eine entsprechende Lokalisation des Lithiums zurückzuführen.

Auch in diesem Falle ist festzustellen, daß im Vergleich zu den Ergebnissen der Argondiffusion die Geraden flacher verlaufen und aus diesem Grunde, wie im Falle der durch Neutronenbestrahlung erzeugten Tritiumkonzentration, die Werte D/a^2 bei Zimmertemperatur höher sind als die entsprechenden Werte bei der Argondiffusion. Nach Gl. (3) wurde die Aktivierungsenergie bestimmt. Die Ergebnisse sind mit den entsprechenden Vergleichswerten der Argondiffusion in Tab. 3 angegeben.

Ein Vergleich der Aktivierungsenergien von Abee bei neutronen- und protonenbestrahlten Proben gibt mit 14 bzw. 24 kcal eine erhebliche Diskrepanz. Eine solche Abweichung kann entstehen durch den Auslauffeffekt der kleinen Körner. In diesem Falle scheint diese Abweichung eher mit der speziellen Lokalisa-

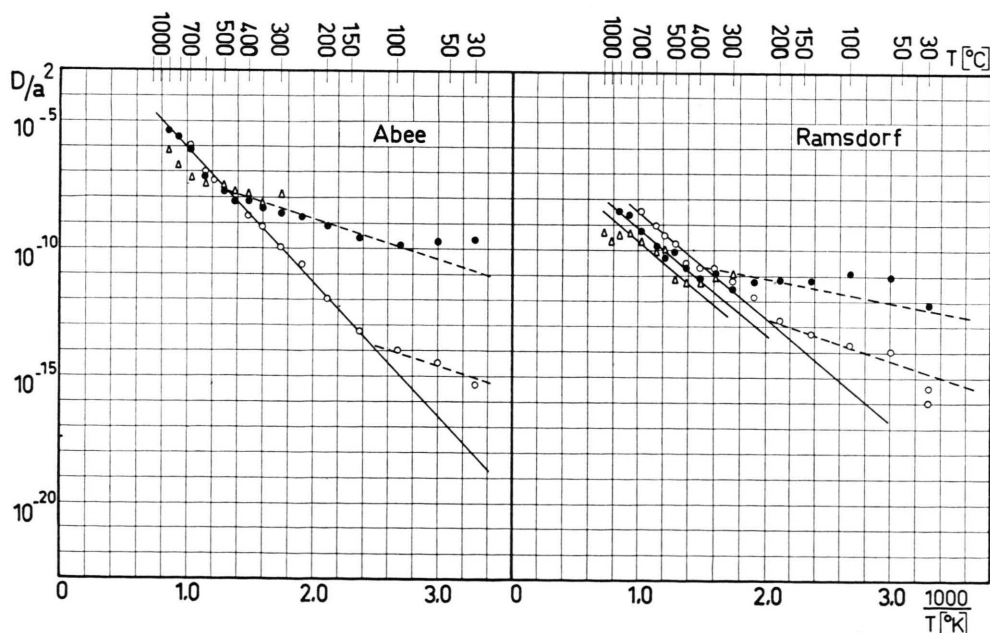


Abb. 2. Diffusion von Tritium aus Steinmeteoriten (mit Protonen bestrahlt). ○, ●, △ wie bei Abb. 1.

Meteorit	$Q(T)$ kcal/mol	$Q(Ar)$ kcal/mol	D/a^2 für T (Z. T.) s^{-1}	Verlust bei Lagerung von 10 a bei Z. T. %	D/a^2 für Ar^{37} (Z. T.) s^{-1}
Abee	24,1	34 (25)	10^{-18}	0,01	10^{-29}
Ramsdorf	18,7	43 (27)	10^{-18}	0,01	10^{-32}

Tab. 3. Aktivierungsenergien, D/a^2 -Werte und Verluste nach 10 a Lagerung auf der Erde aus protonenbestrahlten Steinmeteoriten.

tion des Lithiums erklärbar. Für diese Deutung spricht das Vorhandensein eines Reservoirs nach der ersten Meßreihe, was auf die Aktivierungsenergie eine vergrößernde Wirkung ausübt. Tatsächlich wurden in einer Arbeit von SHIMA und HONDA¹² Schwankungen des Lithiumgehaltes in den verschiedenen Phasen von Steinmeteoriten gemessen. Diese Autoren geben dabei Konzentrationsunterschiede bis zu einem Faktor 30 an. Nach diesen Ergebnissen bleiben die Tritiumverluste innerhalb von 10 Jahren nach dem Fall vernachlässigbar klein.

III. Zusammenfassung

Das Ziel dieser Arbeit war es, Meteorite auf ihre möglichen Tritium-Diffusionsverluste hin zu überprüfen. Zu diesem Zweck wurden Meteoritenproben mit Neutronen oder Protonen bestrahlt, um auf

diese Weise mittels der Reaktion $Li^6(n,\alpha)T$ und den Kernverdampfungsprozessen eine erhöhte Tritiumkonzentration in den Meteoritenproben zu erzeugen. An dem so vorbehandelten Material wurden dann Tritium-Diffusionsmessungen ausgeführt.

Die Ergebnisse an Steinmeteoriten waren im Vergleich zu den schon früher¹ referierten Ergebnissen der Edelgasdiffusion erwartungsgemäß. Es ergab sich dabei, daß man bei der Lagerung der Meteorite bei Zimmertemperatur in einigen Fällen mit Tritiumverlusten rechnen muß, doch scheint im allgemeinen innerhalb der Halbwertszeit des Tritiums ein Verlust durch Diffusion unter 1% des Gesamttritiumgehaltes zu bleiben. Falls man die Meteoritentemperatur auf der Asteroidenbahn betrachtet (nach WILDT¹³ ca. -130 bis $-150^\circ C$), so sind sicherlich keinerlei Diffusionsverluste zu befürchten.

Die Bestrahlungen mit Neutronen wurden im Forschungsreaktor Garching bei München durchgeführt. Hierfür danken wir Herrn Prof. MAIER-LEIBNITZ und seinen Mitarbeitern. Für die im Genfer Synchrozyklotron erfolgten Protonenbestrahlungen sei Herrn Dr. GOEBEL, CERN, gedankt. Herrn Dr. EL GORESY danken wir für die mineralogische Untersuchung einer Probe des Meteoriten Alfianello.

¹² M. SHIMA u. M. HONDA, J. Geophys. Res. **68**, 2849 [1963].

¹³ R. WILDT, Physik der Planeten und Monde, Landolt-Börnstein, Band III: Astronomie und Geophysik, Springer-Verlag, Berlin—Göttingen—Heidelberg 1952.