

Das Kalium-Argon-Alter von Tektiten

Von W. GENTNER und J. ZÄHRINGER

Aus dem Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg
(Z. Naturforschg. 15 a, 93–99 [1960]; eingegangen am 12. Dezember 1959)

The K-Ar-ages of Bediasites and Moldavites have been measured to be 29,4 and $8,7 \cdot 10^6$ years, while tektites from different localities between Indochina and Australia gave within the experimental errors concordant ages of 610 000 years. These results agree with the ages of the formations on which tektites have lain. The contribution of this work to theories about the origin of tektites is discussed.

In jüngeren geologischen Formationen werden eigenartige natürliche Gläser gefunden, die man nach SUÈSS als Tektite (*τήκτος* = geschmolzen) bezeichnet. Solche Funde wurden bisher in Böhmen und Mähren, in Siam und Malaia, auf fast allen indonesischen Inseln, auf den Philippinen, im südlichen Australien, in Tasmanien, an der Elfenbeinküste, in Texas und Georgia gemacht.

Die Tektite haben mit der Formation, in der sie gefunden werden, sowohl ihrer chemischen Zusammensetzung als auch ihrer äußeren Form nach nichts gemeinsam.

Die vielzähligen aerodynamischen Strukturen (Tropfen, Knöpfe, Walzen, Nadeln, Hanteln, Scheiben u. a.) sind neben dem hohen SiO₂-Gehalt ein charakteristisches Merkmal dieser Fremdlinge.

In den letzten Jahren erschienen viele Arbeiten, die sich mit ihrer Entstehung und Herkunft beschäftigen *.

Bis heute ist man völlig verschiedener Meinung über die wesentliche Frage irdischer oder kosmischer Herkunft. Unter diesen Umständen schien es uns wichtig, unsere Untersuchungen des Kalium-Argon-Alters der Tektite fortzusetzen. Früher wurde gefunden, daß sich die Moldavite mit 8,5 Mill. Jahren deutlich von den Billitoniten, Indochiniten und Australiten mit 0,6 Mill. Jahren unterscheiden¹. Wir hatten schon damals die Vermutung ausgesprochen, daß diese große Gruppe einem einzigen Naturereignis zugeschrieben werden kann.

Versuche anderer Autoren, das K-Ar-Alter von Tektiten zu bestimmen, ergaben obere Grenzwerte von mehreren 10^6 a (SUÈSS, HAYDEN und INGHAM², GERLING und YASCHENKO³). Altersbestimmungen mit

anderen radioaktiven Methoden waren bisher nicht erfolgreich.

Nachdem es uns gelungen war, die Empfindlichkeit der Massenspektrometer und der Aufschlußtechnik zu verbessern, war es möglich, eine größere Anzahl von Argonbestimmungen durchzuführen. Das Ziel unserer Arbeit war, die K-Ar-Alter möglichst vieler Tektite verschiedener Lokalitäten zu bestimmen. Dadurch konnte eine erste Gruppierung der Tektitfundorte vorgenommen werden. Besonderes Interesse verdienen hierbei die Tektite, die recht häufig und fast zusammenhängend von Australien bis Südmelanesien (ca. 8000 km) gefunden werden.

Außer nach Ar-Isotopen wurden auch nach He und Ne Isotopen als mögliche Spallationsprodukte der kosmischen Strahlung gesucht. EHMAN und KOHMAN⁴ haben nämlich Aktivitäten von Al²⁶ und Be¹⁰ in einigen Tektiten nachgewiesen und danach könnten Tektite der kosmischen Strahlung ausgesetzt gewesen sein.

REYNOLDS⁵, der gleichzeitig das Problem der Edelgase in Tektiten behandelte, hat uns freundlicherweise seine Resultate vorzeitig mitgeteilt, so daß in der Diskussion noch darauf eingegangen werden kann.

Experimentelle Methode

Zur Argonbestimmung werden Proben von 1–2 g in einem Molybdän-Tiegel 15 min. auf ca. 1800 °C erhitzt und teilweise verdampft. Jeder Aufschluß wird durch nochmaliges Erhitzen bei höherer Temperatur wiederholt, um die vollständige Entgasung zu kontrollieren. Zur Getterung der unedlen Gase werden Ca, Zr und Cu–CuO verwendet, die nach sorgfältigem Reinigen

* Zusammenfassende Literaturangaben finden sich hierüber in Geochim. Cosmochim. Acta 14 [1958].

¹ W. GENTNER u. J. ZÄHRINGER, Z. Naturforschg. 14 a, 686 [1959].

² H. E. SUÈSS, R. J. HAYDEN u. M. G. INGHAM, Nature, Lond. 168, 432 [1951].

³ E. K. GERLING u. M. L. YASCHENKO, Dokl. Akad. Nauk, SSSR 83 (Nr. 6), 901 [1952].

⁴ W. D. EHMAN u. T. P. KOHMAN, Geochim. Cosmochim. Acta 14, 364 [1958].

⁵ J. H. REYNOLDS, Geochim. Cosmochim. Acta (im Druck) und private Mitteilung.



den erforderlichen Untergrund aufweisen. Ein wesentlicher Vorteil wird durch vorheriges Ausheizen der gesamten Anlage auf 350 °C erreicht. Die Proben selbst werden nur kurzzeitig bei 200 °C vorbehandelt. Ein ausheizbares Massenspektrometer aus Glas ist direkt über einen Metallhahn an die Aufschlußapparatur angeschlossen und wird statisch betrieben.

Das erreichte Vakuum im Massenspektrometer beträgt einige 10^{-9} Torr und die Nachweisempfindlichkeit ist etwa 10^{-12} cm^3 Argon. Zum Ionennachweis dient ein Ionemultiplier mit 7 Stufen. Dieser liefert bei 2 kV eine Verstärkung von $2 \cdot 10^5$. Über einen Gleichstromverstärker werden die Spektren registriert.

Die experimentellen Schwierigkeiten liegen einmal bei dem unvermeidbaren Untergrund von Luftargon, der beim Schmelzen der Probe entsteht. Speziell ausgesuchte Molybdän-Tiegel ergeben nach einem mehrstündigen Ausheizen $10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ A}^{40}$ (siehe Tab. I). Weitere Schwierigkeiten entstanden mit dem Ca-Getter, welches anfangs starke Störlinien mit der Masse 36 lieferte. Durch anhaltendes Ausheizen wurde diese beseitigt. Außerdem

zeigten die Verdampfungsprodukte der Proben selbst Gettereigenschaften, so daß zusammen mit Zr ein verschwindender Untergrund erreicht wurde.

Zur Mengenbestimmung wird eine kalibrierte Menge Argon von ca. 10^{-6} cm^3 zur Probe zugelassen und aus der Änderung der Isotopenzusammensetzung die Menge berechnet.

Nur bei einigen Messungen war eine Korrektur der Masse-Linie 36 erforderlich, der jedoch weniger als $10^{-11} \text{ cm}^3 \text{ A}^{36}$ entsprach. Die Genauigkeit der Argon-Bestimmung kann mit 5–10% angegeben werden.

Die K-Analysen wurden flammenphotometrisch durchgeführt. Von jeder Probe wurden zwei Analysen gemacht, deren Übereinstimmung besser als 5% war. In manchen Fällen wurden jedoch an verschiedenen benachbarten Proben derselben Tektite Abweichungen bis zu 10% festgestellt. Diese Abweichungen sind vermutlich reell, da die Tektite infolge schneller Abkühlung Fließstrukturen besitzen, die eine chemische Inhomogenität bedingen. Als Gesamtfehler der Alterswerte muß man daher ca. 15% zulassen.

B e s c h r e i b u n g d e r P r o b e n

| | | |
|----------------|------------------------------|---|
| Nr. 46 | Lee County, Texas | von Prof. ADAMS, Rice Institute, Dep. of Geology, haselnußförmiger schwarzer Tektit von 6,7 g |
| Nr. 37 | Moldavit, Mähren | von Prof. RAMDOHR, Mineralog. Institut Heidelberg, hellgrüne verwitterte Proben von ca. 5 g |
| Nr. 39 | Insel Tanhai, China | von Prof. ORCEL (M.N.d'H.N.), Paris, hantelförmiger schwarzer Tektit |
| Nr. 35 | Kouang Tchéon Wan, Indochina | von Prof. ORCEL (M.N.d'H.N.) Paris, flache schwarze Scheibe von 25 g |
| Nr. 35a) u. b) | Kouang Tchéon Wan, Indochina | von Prof. ORCEL; Birne von 5 cm Länge und 3 cm größtem Durchmesser, die beim Zersägen mit der Diamantscheibe infolge innerer Spannungen in mehrere Stücke zersprang. 35a) ist ein solcher Splitter aus der Mitte und 35b) aus der unteren Oberfläche. |
| Nr. 40 | Dalat, Indochina | durch Prof. RAMDOHR vom Museum National d'Histoire Naturelle, Paris. Scheibenartiges schwarzes Stück von 6,5 g |
| Nr. 31 | Dalat (Annam), Indochina | von Prof. ORCEL (M.N.d'H.N.) Paris. Flache Scherbe von 4,8 g |
| Nr. 44 | Billitonit, Insel Billiton | erhalten durch Prof. RAMDOHR, Heidelberg, und Prof. WESTERVELD, Amsterdam, von der Billiton-Gesellschaft in Haag. Die Proben bestanden aus einem Splitter und einem glänzenden ellipsoidischen Tektiten von 6,5 g |
| Nr. 41 | Santa Mesa, Philippinen | von Prof. FRONDEL, Harvard Museum, Cambridge USA. 6 durchsichtige Splitter eines blasenreichen Tektiten (ca. 3,1 g) |
| Nr. 49 | Santa Mesa, Philippinen | käuflich von H. NININGER, American Meteorite Museum, erworben. Schwarzes Ellipsoid von 4,1 g |
| Nr. 42 | Bulacan, Philippinen | von Prof. FRONDEL, Harvard Museum, Cambridge USA. Ein halbiertes schwarzes Taubenei, blasenfrei 2,4 g |
| Nr. 48 | Pugad Babuy, Philippinen | von H. NININGER, American Meteorite Museum, käuflich erworben. Schwarzer haselnußähnlicher Tektit von 8,2 g |
| Nr. 36 | Australite, Australien | von Prof. RAMDOHR, Heidelberg, längliche kieselsteinähnliche, dunkelbraune Tektite von 5–8 g, glatte Oberfläche |
| Nr. 38 | Darwin Glas, Tasmanien | von Dr. BRIAN MASON, Museum of Nat. Hist., New York, kieselsteinähnlicher grüner Stein von 2,7 g |

Vor dem Zerkleinern der Proben wurden von allen Tektiten mit wertvollen Oberflächenstrukturen Kopien aus Araldit hergestellt, um die Formen weiteren Untersuchungen zu erhalten.

Ergebnisse

In Tab. 1 sind die Ergebnisse dargestellt. Die laufenden Nummern beziehen sich auf unsere Sammlung. Als Einwaage wurden zwischen 1 – 2 g benutzt. Die letzte Spalte enthält die Luftpargonanteile in % und ist ein Maß für die Güte der Messung. Messungen mit geringerem Luftanteil gelten als zuverlässiger.

Zur Diskussion der Alterwerte ist die geologische Beschreibung der Fundorte notwendig, die leider nicht immer eindeutig angegeben werden kann. Besonders bei Funden in jungen Formationen sind abweichende Meinungen festzustellen. Dies ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß noch keine für alle Erdteile gültige Nomenklatur der Formationen existiert.

Eine Einordnung der Funde nach den geologischen Formationen der Fundorte setzt außerdem voraus, daß die Tektite nicht umgebettet wurden, bzw. daß die Umlagerung innerhalb kurzer geologischer Zeiträume vor sich gegangen ist.

Zur Interpretation der K-Ar-Alter ist hervorzu-

| Nr. | Name | Einwaage in g | Radiogenes Ar ⁴⁰ in 10 ⁻⁸ cm ³ | Ar ⁴⁰ in 10 ⁻⁸ cm ³ /g | % K | 10 ⁻¹⁰ cm ³ Ar ⁴⁰ /gK | Alter in 10 ⁶ a | % Luft |
|-----|------------------------------|---------------------|---|--|------|--|----------------------------------|--------|
| 46 | Lee County Texas | 1,08 | 179 | 166 | 1,44 | 115 | 29,4 | 11 |
| 37 | Moldavit M | 0,60 | 61 | 102 | 2,91 | 35,0 | 8,9 | 10 |
| | | 2,12 | 205 | 97 | 2,91 | 33,3 | 8,4 | 6 |
| | | 1,35 | 125 | 93 | 2,73 | 34,0 | 8,6 | 6,5 |
| 39 | Ile Tan Hai C | 2,10 | 8,5 | 4,1 | 2,04 | 2,01 | 0,51 | 71 |
| 35 | Kouang Tchéon Wan I | 1,37 | 7,2 | 5,3 | 2,06 | 2,56 | 0,65 | 82 |
| | | 1,74 | 9,0 | 5,2 | | 2,52 | 0,64 | 33 |
| 35a | Kouang Tchéon Wan mitte I | 1,82 | 8,2 | 4,5 | 1,91 | 2,36 | 0,60 | 22 |
| 35b | Kouang Tchéon Wan unten I | 1,61 | 7,9 | 4,9 | 1,87 | 2,62 | 0,66 | 26 |
| 31 | Dalat Annam I | 1,78 | 7,8 | 4,4 | | 2,16 | 0,56 | 50 |
| | | 2,18 | 9,8 | 4,5 | 2,04 | 2,20 | 0,56 | 31 |
| | | 1,66 | 8,5 | 5,1 | | 2,50 | 0,64 | 48 |
| 40 | Dalat Annam I | 1,47 | 8,5 | 5,8 | | 2,58 | 0,65 | 60 |
| | | 1,01 | 4,9 | 4,9 | 2,25 | 2,18 | 0,56 | |
| | | 1,70 | 9,6 | 5,6 | | 2,50 | 0,64 | 23 |
| 44 | Billitonit B | 1,13 | 5,2 | 4,6 | | 2,18 | 0,56 | 50 |
| | | 2,17 | 9,5 | 4,4 | 2,11 | 2,08 | 0,53 | 65 |
| | | 1,07 | 5,5 | 5,2 | | 2,46 | 0,62 | 68 |
| 41 | Santa Mesa P | 1,64 | 13,6 | 8,3 | 2,29 | 3,62 | (0,92) | 78 |
| | | 0,82 | 4,5 | 5,5 | | 2,40 | 0,61 | 60 |
| 49 | Santa Mesa P | 1,65 | 8,9 | 5,4 | 1,95 | 2,73 | 0,69 | 39 |
| 42 | Bulacan P | 1,84 | 7,9 | 4,3 | 1,84 | 2,34 | 0,60 | 36 |
| | | 1,63 | 7,4 | 4,5 | | 2,47 | 0,63 | 58 |
| 48 | Pugad Babuy P | 1,65 | 8,1 | 4,9 | 1,80 | 2,71 | 0,69 | 28 |
| | | 1,07 | 4,8 | 4,5 | | 2,50 | 0,64 | 22 |
| 36 | Australit A | 1,97 | 7,5 | 3,8 | 1,54 | 2,48 | 0,63 | 50 |
| | | 2,03 | 9,4 | 4,6 | 1,89 | 2,44 | 0,62 | 80 |
| | | 1,47 | 5,2 | 3,5 | 1,54 | 2,30 | 0,58 | 42 |
| 38 | Darwin Glas T | 1,9 | > 2 · 10 ⁻⁶ | > 10 ⁻⁶ | 1,72 | | | 100 |

M=Mähren, C=China, I=Indochina, B=Billiton, P=Philippinische Inseln, A=Australien, T=Tasmanien.

Tab. 1. Ergebnisse der K-Ar-Alter an Tektiten.

heben, daß das K-Ar-Alter die Zeit seit der letzten vollständigen Entgasung darstellt. Das Tektitenalter könnte also durchaus größer sein als das Alter der Formation, in der sie auftreten, unabhängig davon, ob sie später von einer älteren in eine jüngere Formation umgelagert wurden.

a) *Vergleich der Tektitenalter mit den geologischen Formationen*

Das größte Alter wurde für Bediasite, Texas, gefunden. Nach BARNES⁶ wurden die Bediasite in einer Kiesschicht gefunden, die auf einer Formation des Eozäns lagert. Das Eozän wird mit $35 - 55 \cdot 10^6$ a angegeben. Das gefundene K-Ar-Alter mit $29 \cdot 10^6$ a gehört in die anschließende Formation des Oligozäns.

Die Moldavite wurden in Böhmen und Mähren im Quarzkies des alten Flußbettes (etwa 100 m oberhalb des heutigen) gefunden, der dem mittleren Miozän zugesprochen wird (BARNES und SUESS⁷). Mit $9 \cdot 10^6$ a K-Ar-Alter würde man sie aber eher dem späten Miozän zuschreiben.

Diese beiden K-Ar-Alter stimmen recht gut mit dem Alter der Formationen überein. Es wäre noch zu bedenken, ob wesentliche Ar-Verluste durch Diffusion eingetreten sind. Versuche, die Ar-Diffusion direkt zu messen, sind bereits im Gange. Sie lassen vermuten, daß die Korrektur gering ist.

Für einen Bediasiten fand REYNOLDS⁵ ebenfalls $29 \cdot 10^6$ a. Seine Einwaage bestand aus 5,6 g und der Luftargongehalt betrug 53%. Für einen Moldaviten von 8,7 g bei 51% Luftargon findet er hingegen $13,5 \cdot 10^6$ a, während unsere 3 Messungen alle 9 Mill. Jahre ergaben. REYNOLDS glaubt, daß der große Luftanteil in seiner Messung durch das Pulverisieren entstanden ist. Bei unseren Versuchen war nämlich ohne Zerkleinerung schon nach kurzzeitigem Erhitzen auf 200 °C der Luftargongehalt zehnmal kleiner. Aus demselben Grunde sind seine Meßwerte der indochinesisch-australischen Tektite mit großen Fehlern behaftet. Hierfür wird lediglich ein Bereich von 0 bis 0,8 Mill. Jahre angegeben.

Die Lagerungsverhältnisse um das Südchinesische

Meer beschrieb LACROIX⁸. Nach seinen Ausführungen befinden sich die Tektite von Indochina, Siam, der Malaiischen Halbinsel, Billiton und den Philippinen in identischen Ablagerungen, nämlich in alten Anschwemmungen von pleistozänen Alter. Genauere Angaben über die Philippiniten macht BEYER⁹, der diese auf der Insel Luzon in der Provinz Rizal im Jahre 1926 bei archäologischen Untersuchungen zuerst gefunden hat. Danach liegen die Philippiniten im rötlichen Laterit, der unmittelbar vulkanische Tuffe überlagert und der dem mittleren Pleistozän zugeschrieben wird.

Über die Tektite in Java, die in der Gegend von Solo (Mitteljava) und in Japara (Nordküste von Java) gefunden werden, gibt es genauere Beschreibungen der Lagerstätten von v. KOENIGSWALD¹⁰. Diese Funde treten in einer konglomeratischen Bank auf, die fossile Säugetierreste enthält, wie u. a. der *Elephas namadicus*, der dem europäischen *Elephas antiquus* entspricht und ein typischer Vertreter der Trinilfauna ist.

Außer anderen Säugetieren kommen darin auch primitive Steinwerkzeuge und auch der Unterkiefer eines *Pithecanthropus* vor. v. KOENIGSWALD nimmt für die Trinilfauna mittelpleistozäne Alter an. Die Tektite liegen ziemlich an der Basis dieser Schicht, so daß ihr Mindestalter als Beginn des Mittelpleistozän oder älteres (nicht ältestes) Pleistozän gilt.

Nach EASTON¹¹ und VERBEEK¹² gehören auch die Billitonite, die in Zinnseifen auf Billiton gefunden werden, ins ältere Pleistozän.

Die geologische Lage der Australite hat BAKER¹³ und FENNER¹⁴ beschrieben. Nach seinen Ausführungen gilt als sicher, daß die Australite sowohl im südlichen Australien, auf Tasmanien als auch auf den Inseln von Bass Strait vor Ankunft der Eingeborenen gefallen sind. Auf Grund der Untersuchungen verschiedener Lagerstätten hält man andererseits postpleistozänes Alter für sehr wahrscheinlich. Es wird jedoch zugegeben, daß eine eindeutige Datierung bei den Australiten noch nicht möglich war.

Die Tatsache, daß viele Tektite in gold- und zinn-

⁶ V. E. BARNES, Univ. Tex. Publ. Nr. **3945**, 477 [1940]. — Geochim. Cosmochim. Acta **14**, 267 [1958].

⁷ F. E. SUESS, Jb. Geol. Reichsanst., Wien **50**, 193 [1900].

⁸ A. LACROIX, Arch. Mus. Hist. Nat., Paris (Ser. 6) **8**, 139 [1932] u. (Ser. 6) **12**, 151 [1935].

⁹ H. O. BEYER, Phillipine Magazine **32**, Nr. 11 [1932] u. N. Jb. I, 313 [1936].

¹⁰ G. H. R. VON KOENIGSWALD, Naturk. Tijdsche Ned.-Ind. **96**,

283 [1936]. — Kon. Ned. Akad. v. Wet., Proc. **60**, 371 [1957] u. **61**, 44 [1958].

¹¹ N. W. EASTON, Verh. Akad. Wet. Amst. Sec. **2**, 22, Nr. **2**, 31 [1921].

¹² R. D. M. VERBEEK, Jaarb. Minjw. Ned-Ost. Ind. **20**, 235 [1897].

¹³ G. BAKER, Mem. nat. Mus. Vict. **22**, 8 [1957] u. **23** [1959].

¹⁴ C. FENNER, Trans. Roy. Soc. Sth. Aust. **59**, 125 [1935].

haltigem Kies der Neuzeit nie zusammen mit Funden der Eingeborenen entdeckt wurden, beweist zunächst nur das frühere Vorkommen der Tektite.

Die K-Ar-Alter der in dieser Arbeit gemessenen Proben von Indochina, Billiton, Philippinen und Australien ergeben $0,61 \pm 15\% \cdot 10^6$ a. Innerhalb der Fehlergrenzen ist zwischen diesen Funden kein Unterschied im Alter festzustellen. (Bei der Probe Nr. 39 ist der Nachaufschluß verunglückt.)

Dabei wird vorausgesetzt, daß alle Tektite bei ihrer Entstehung vollständig entgast waren. Auf Grund der recht gleichmäßigen Ar⁴⁰/K-Verhältnisse scheint diese Fehlerquelle nicht allzu groß zu sein. Wie aus weiter unten beschriebenen Beispielen ersichtlich ist, darf man diese Möglichkeit jedoch nicht ganz ausschließen.

Da die Häufigkeit von Tektitenfällen offenbar sehr gering ist und vielleicht in Abständen einiger 10^6 a vorkommt, wäre es ein großer Zufall, wenn in diesem südchinesisch-australischen Raum innerhalb der Fehlergrenzen unserer Messungen in benachbarten Gebieten ähnliche Ereignisse stattgefunden hätten. LACROIX⁸ hat schon auf Grund chemischer Analysen die Vermutung ausgesprochen, daß sich diese Tektite obiger Gruppe alle recht ähnlich sind. In diesem Zusammenhang sei auch auf die Arbeiten von HEIDE¹⁵ hingewiesen. HEIDE hat auf Grund empfindlicher Analysen der Ni- und Cr-Gehalte und aus dem Verhältnis der Dichte und Lichtbrechung versucht, Zusammenhänge verschiedener Tektitengruppen zu finden. Bezuglich der indochin.-australischen Tektite gibt er zwei Gruppen an, eine zentrale (Java, Billiton, Borneo, Indochina Süd) und eine periphere Gruppe (Bo-Ploi, Indochina Nord, Hanai, Tanhais und Philippinen). Die zentrale Gruppe weist einen höheren Ni- und Cr-Gehalt, größere Lichtbrechung und Dichte und ein größeres Ni/Cr-Verhältnis auf als die periphere Gruppe. Dieser Befund kann für die Theorien der Herkunft von Tektiten sehr bedeutend sein. Er steht auch keineswegs im Widerspruch mit unseren Resultaten. Wenn diese Tektite durch ein gemeinsames Ereignis entstanden sind, ist bei dieser riesigen Ausdehnung von 8000 km eine Inhomogenität und Aussortierung durchaus denkbar. Diese können auch evtl. für die Größenunterschiede der Tektite einzelner Lagerstätten verantwortlich sein.

Auf Grund der Gleichaltrigkeit dieser Tektite sei darauf hingewiesen, daß man die vorliegenden Altersbestimmungen sowohl als Zeitmarke als auch als „Leitfossil“ anwenden kann, zumal in den besagten

Gebieten keine einheitliche Meinung über absolute Zeiten der Formationen besteht.

b) Das Darwin-Glas

DARWIN-Glas wird an der Westküste von Tasmanien um Mount Darwin und Jukes gefunden. Die Proben lagern unter einer post-pleistozänen Torfschicht und über älteren Sandstein- oder Kalkschichten. Gelegentlich werden sie durch Erosion freigelegt oder weggeschwemmt. Eine größere Anzahl von Proben fand man daher an der Oberfläche oder in Bächen (SUESS⁷).

Beim Aufschließen von DARWIN-Glas entwickeln sich größere Gasmengen, die bei der verwendeten Induktionsheizung zu einer Entladung führten. Alle übrigen Tektite entwickeln beim Schmelzen wesentlich weniger Gas. Das Schmelzen von DARWIN-Glas kann mit dem von Obsidian verglichen werden, das zu diesem Zweck untersucht wurde. Schon diese großen Anzeichen ließen vermuten, daß es sich um anderes Material als Tektite handelt. Der Argongehalt schließlich bestätigt dies, da er enorm groß und in dem benutzten Spektrometer gar nicht gemessen werden konnte. Dabei kann es sich nicht um oberflächlich absorbiertes Argon handeln, da DARWIN-Glas und Tektite zusammen in demselben Kolben entgast und aufgeschlossen wurden. Die Isotopenzusammensetzung war dieselbe wie Luftargon.

Wir sind überzeugt, daß es sich hier um keinen Tektiten der üblichen Art handelt. Auch die chemische Zusammensetzung ist von den übrigen Tektiten abweichend.

Es ist die Frage zu stellen, ob das DARWIN-Glas zu den Australiten in irgendeiner Beziehung steht. Die geographische Lage legt diese Vermutung nahe. Die weitere Frage, warum dieses Glas chemisch verschieden ist und beachtliche Lufteinschlüsse hat, könnte leichter zu beantworten sein. DARWIN-Glas ist sehr SiO₂-reich und vielleicht hatte das Ausgangsmaterial eine ähnliche Zusammensetzung. Es ist darum nicht so stark verflüssigt worden und die eingeschlossene Luft ist nicht entwichen. Vermutlich stellt das DARWIN-Glas das schon immer gesuchte unvollständig geschmolzene Material dar, von dem das meiste unbeobachtet in anderen Formationen oder im Meeresboden verschwindet.

Das DARWIN-Glas befindet sich in ähnlichen Lageungsverhältnissen wie die übrigen echten indochine-

¹⁵ F. HEIDE, Zbl. Min. A, 289 [1938], Zbl. Min. A, 199 [1939].

sisch-australischen Tektite. Infolge des hohen Luftargongehaltes ist eine K-A-Datierung aber nicht möglich.

Auch eine Probe eines Philippiniten, Nr. 41, die sehr blasenreich war, zeigte ähnliche Erscheinungen. Bei einer Messung wurde ein höheres Alter und ein großer Luftgehalt beobachtet, obwohl die Apparatur unter günstigen Vakuumbedingungen stand. Leider stehen uns z. Zt. ähnliche Proben nicht mehr zur Verfügung.

c) K-Ar-Alter und Tektitenhypotesen

Im folgenden seien zunächst die wesentlichen neuen Ergebnisse festgehalten, die zu den Hypothesen über die Tektitenentstehung einen Beitrag liefern können:

1. Die relativ gute Übereinstimmung der K-Ar-Alter der indochinesisch-australischen Tektite mit der Formation der Fundorte besagt, daß die Tektite vor dem Auffallen vollständig entgast wurden, d. h. sie waren kurzzeitig auf mindestens 1700°C erhitzt oder entsprechend länger bei niedriger Temperatur. Aus demselben Grunde konnten auch keine Spallationsprodukte, wie Ne-, Ar³⁸- und Ar³⁶-Isotope, gefunden werden. Die Neonmengen sind kleiner als $10^{-11} \text{ cm}^3/\text{g}$ in Übereinstimmung mit REYNOLDS⁵. Lediglich ca. $10^{-8} \text{ cm}^3/\text{g}$ He⁴ wurden in allen Proben nachgewiesen. Wegen der hohen Diffusionskonstanten in SiO₂-reichen Gläsern hat dies jedoch keine Bedeutung.

2. An dem jüngsten Tektitenfall im indochinesisch-australischen Gebiet lernen wir, daß die Ausdehnung einer Streufläche bis zu 1/5 des Erdumfanges betragen kann und so mit einer gewaltigen Naturkatastrophe verbunden war.

Leider lassen sich über die Dichte der Tektitfunde keine brauchbaren Abschätzungen machen.

3. Der zeitliche Abstand solcher Ereignisse scheint etwa $10 \cdot 10^6$ a oder kleiner zu sein. Die Tektite von der Elfenbeinküste und Georgia konnten noch nicht beschafft werden. Da noch unentdeckte Funde existieren können, kann der Abstand noch geringer sein. Daß das letzte besonders große Ereignis mit dem Eintreffen der Eiszeit zusammenfällt, kann reiner Zufall sein.

¹⁶ F. A. PANETH, Proc. Roy. Inst. G.B. **34**, 375 [1949].

¹⁷ H. E. SUESS, Geochim. Cosmochim. Acta **2**, 76 [1951].

¹⁸ R. STAIR, Sci. Mon. **83**, 3 [1956].

¹⁹ W. A. CASSIDY, Meteoritics **1**, 426 [1956].

4. DARWIN-Glas unterscheidet sich von den übrigen Tektiten und liefert Anzeichen von teilweise entgastem Material, das vielleicht zu dem indochinesisch-australischen Fall gehört.

Mit diesen Resultaten läßt sich einiges über die verschiedentlich diskutierten Tektitenhypothesen (s. Anm. ^{6-8, 13-21}) aussagen.

Die Tatsache, daß die Tektite mit dem Alter Null niedergefallen sind, macht es unwahrscheinlich, daß sie aus Material von Asteroiden oder Planeten stammen. Man müßte gelegentlich Proben mit höherem Alter (ähnlich wie bei Meteoriten) finden, da es schwer vorstellbar ist, daß jeweils der Schmelzvorgang kurz vor dem Eintreffen auf der Erde stattgefunden hat. Ein völliges Schmelzen beim Flug durch die Atmosphäre ist nicht denkbar, da bei Meteoriten je nach Masse nur ein oberflächlicher oder völliger Abbrand beobachtet wird.

Die riesige Ausdehnung des indochinesisch-australischen Gebietes läßt nicht verstehen, wie aus Vulkanen oder Blitzeinschlägen solche Massen ausgeworfen werden können. Man muß hieraus als sehr wesentliche Tatsache schließen, daß im Falle eines irdischen Ursprungs die Massen weit über die Atmosphäre hinausgeflogen sein müssen und sich draußen abkühlen konnten. Beim Wiedereintreffen in die Atmosphäre kann die zweite oberflächliche Schmelzung eingetreten sein, die für Australite gesichert ist und die daher von jeder Theorie erklärt werden muß. Daß die indochinesisch-australischen Tektite besonders auffällige und vielfältige Strukturen besitzen, kann durchaus mit der Auswurfhöhe bzw. der Ausdehnung des Streufeldes verknüpft sein.

Nach der vorangegangenen Diskussion bleiben für die Deutung der Tektitenentstehung nach unserer Ansicht nur noch folgende Möglichkeiten:

a) Tektite sind bei einem Einschlag eines Asteroiden oder Kometen aus irdischem Material entstanden^{20, 21}. Der Einschlag kann unter Umständen mehrere 1000 km vom Fundort entfernt liegen und ist deshalb nicht leicht aufzufinden. Über die Größe dieses Kraters ist es schwierig etwas auszusagen, da unvorstellbare Energien umgesetzt werden. Nach UREY soll ein Asteroid mit 1–2 Meilen Durchmesser in der Lage sein, 2000 km³ Gestein zu schmelzen. Für den irdischen Ursprung spricht auch sehr stark

²⁰ L. J. SPENCER, Nature, Lond. **131**, 117 u. 876 [1933]; **132**, 571 [1933].

²¹ H. C. UREY, Proc. Nat. Acad., Wash. **41**, 27 [1955]. — Nature, Lond. **179**, 556 [1957].

die chemische Zusammensetzung, bis auf die Anwesenheit der Be^{10} - und Al^{26} -Aktivitäten. Das Fehlen von nur teilweise geschmolzenem Material wurde bisher als Mangel dieser Hypothese angesehen. Da DARWIN-Glas vermutlich solches darstellt, sollte man diesem Argument kein großes Gewicht beimessen. Bei älteren Funden kann es sicher auch leicht übersehen werden.

b) Als weitere Möglichkeit käme ein Einschlag auf dem Mond in Frage. Gegen diese Theorie sprechen die relativ kleinen Streugebiete, da durch die Gravitation der Sonne ein Schwarm praktisch über die ganze Erde zerstreut werden sollte.

VARSAVSKY²² hat jedoch berechnet, daß unter geeigneten Bedingungen die beobachtete Verteilung z. B. in Australien durch einen Mondeinschlag zu verstehen sei. Da nach der vorliegenden Arbeit das Streugebiet von Australien um ein vielfaches größer ist, liegen die Verhältnisse in dynamischer Hinsicht noch günstiger. Im Gesamten gesehen, ist die Entstehung durch einen Einschlag auf der Erde jedoch wahrscheinlicher.

²² C. H. VARSAVSKY, Geochim. Cosmochim. Acta **14**, 291 [1958].

* A n m. b. d. Korr.: Nach einer privaten Mitteilung von Prof. KOHMAN werden auf Grund weiterer Untersuchungen

Die Al^{26} - und Be^{10} -Aktivitäten lassen sich allerdings so auch schwer verstehen, da nur einige Meter der Oberflächenmaterie des Mondes der kosmischen Strahlung ausgesetzt sind.

c) Falls sich die besagten Aktivitäten weiterhin in derselben Größenordnung bestätigen, bleibt die Möglichkeit, daß Tektite als Reste eines aufgelösten Kometen auf die Erde gelangten¹⁶, die z. B. in Sonnen Nähe geschmolzen wurden. Gelegentlich müßte jedoch auch Materie ankommen, die verschieden stark oder gar nicht geschmolzen wurde. Die ähnliche chemische Zusammensetzung der verschiedenen Funde wäre dabei auch sehr seltsam. Auch müßte man Tektite finden, die ein größeres Alter besitzen als die Formation, in der sie liegen, da der Zeitabstand zwischen Schmelzen und Niederafalen auf die Erde offenbar kleiner als 100 000 Jahre ist *.

Den Herren Prof. ADAMS, Prof. FRONDEL, Dr. B. MASON, Prof. ORCELL und Prof. RAMDOHR möchten wir für die Überlassung der Proben danken sowie Herrn Dr. LEUTNER, analytisches Laboratorium der BASF Ludwigshafen, für die Durchführung der K-Bestimmungen.

die Be^{10} - und Al^{26} -Aktivitäten in Tektiten bezweifelt. Dies erhärtet die oben ausgesprochene Vermutung, daß Tektite aus irdischem Material entstanden sind.

Die Bestimmung von Rhenium und Osmium in Eisenmeteoriten durch Neutronenaktivierung

Von W. HERR, W. HOFFMEISTER und J. LANGHOFF

Aus dem Max-Planck-Institut für Chemie (Otto-Hahn-Institut), Mainz
(Z. Naturforschg. **15 a**, 99—102 [1960]; eingegangen am 15. Dezember 1959)

Die Spurenelemente Rhenium und Osmium wurden in 10 Eisenmeteoriten durch Neutronenaktivierung bestimmt. Die Verteilung beider Elemente erwies sich als weitgehend homogen in den einzelnen Meteoriten. — Während die Osmium-Konzentrationen 1—3 ppm betrugen, lagen die Gehalte des natürlichen β -Strahlers Rhenium nur in der Größenordnung von 0,2 ppm. Eine Abweichung dieser Werte um ca. 2 Zehnerpotenzen wurde beim Meteoriten Sichote-Alin festgestellt. Die durchschnittliche Häufigkeit der Elemente Re und Os in Eisenmeteoriten ergab sich für Rhenium zu 0,071 pro 10^6 Fe-Atome und für Osmium zu 0,64 pro 10^6 Fe-Atome.

Die Häufigkeiten der Rhenium- und Osmium-Isootope in Meteoriten sind deshalb interessant, weil sie Schlüsse über die kosmischen Häufigkeiten dieser Elemente zulassen und weil ^{187}Os das Folgeprodukt des natürlichen β -Strahlers ^{187}Re ist^{1, 2}.

Da sich Datierungen von Re-haltigen Mineralien (z. B. von Molybdänglanzen) nach der Re/Os-Methode durchführen lassen^{3, 4} und auch kürzlich beträchtliche Unterschiede in der Isotopenzusammensetzung von irdischem und kosmischem Osmium be-

¹ H. HINTENBERGER, W. HERR u. H. VOSHAGE, Phys. Rev. **95**, 1690 [1954].

² W. HERR, H. HINTENBERGER u. H. VOSHAGE, Phys. Rev. **95**, 1691 [1954].

³ W. HERR u. E. MERZ, Z. Naturforschg. **10 a**, 613 [1955].

⁴ W. HERR u. E. MERZ, Z. Naturforschg. **13 a**, 231 [1958].