

## Rubidium-Strontium-Messungen an Gläsern vom Bosumtwi-Krater und an Elfenbeinküsten-Tektiten

HANS J. LIPPOLT und GERALD J. WASSERBURG

California Institute of Technology, Pasadena, California

(Z. Naturforsch. 21 a, 226–231 [1966]; eingegangen am 2. Oktober 1965)

A Rb-Sr isotopic study of 5 glasses from the Bosumtwi crater in Ghana and of three Ivory Coast tektites was made. The  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$  ratios for the glasses lie between 0.716 and 0.734 and those for the tektites between 0.721 and 0.726. The ratios of Rb/Sr are between 0.196 and 0.328 for the crater glasses and between 0.197 and 0.287 for the tektites. The Ivory Coast tektites lie in a region of the Sr evolution diagram which is distinctly lower than for the other tektite groups<sup>1</sup>. The Bosumtwi glasses define an approximately linear array on the Sr evolution diagram which contains the Ivory Coast tektite points. These results show that the IC tektites are distinctive from other tektite occurrences and suggest that the glasses and the tektites may represent fusion products of similar material.

Der Bosumtwi-Krater Ghanas liegt inmitten präkambrischer Gesteine, von denen ein großer Teil sicher älter als 1,9 Milliarden Jahre ist<sup>2</sup>. Diese Gesteine sind in drei Gruppen gegliedert, Tarkwaian Sedimente (Quarzite), Birrimian Sedimente und metamorphe Gesteine (Grauwacken, Phyllite, Schiefer) und Granite, deren Alter zwischen denen der Sedimente liegen<sup>3</sup>. Die Kraterbildung selbst ist pleistozän und wird durch eine gewaltige Explosion erklärt. Als Ursache dieser Explosion wurde schon 1931 von MACLAREN der Einschlag eines Meteoriten diskutiert<sup>4</sup>. Indizien dafür sind *shatter cones* in Quarzitaufschlüssen am Bosumtwi-Krater (ROHLEDER<sup>5</sup>) und das Hochdruckmineral Coesit in einer tuffartigen Brekzie des Kraters (LITTLER, FAHEY, DIETZ und CHAO<sup>6</sup>). GENTNER, LIPPOLT und MÜLLER bestimmten für zwei Gläser, die in den Brekzien des Kraters vorkommen, niedere Rb-Zirkon-Verhältnisse, welche nach SCHÜLLER und OTTEMANN<sup>7</sup> nahelegen, daß sie keine vulkanischen Gläser sind<sup>8</sup>. EL GORESY fand mittels Auflichtmikroskopie in diesen Gläsern Fe-Ti-Erze, welche als Thermometerminerale höhere Bildungstemperaturen anzeigen als in den üblichen vulkanischen Prozessen auftreten ( $>1500^\circ\text{C}$ )<sup>9</sup>.

COHEN hat als erster darauf hingewiesen, daß das Bosumtwi-Ereignis die 300 km entfernt aufgefundenen Elfenbeinküsten-Tektite (EKT) erzeugt haben könnte<sup>10</sup>. Diese Tektite werden in jungen, pleistozänen Sedimenten gefunden. GENTNER, LIPPOLT und MÜLLER bestimmten das K-Ar-Alter der Bosumtwi-Gläser zu  $(1,3 \pm 0,3)$  Millionen Jahren, wodurch gezeigt wurde, daß das Bosumtwi-Ereignis gleichzeitig mit der Entstehung der Elfenbeinküsten-Tektite (ZÄHRINGER<sup>11</sup>) ist<sup>8</sup>. Vergleiche der K/Zr-, Rb/Zr-, Ni/Fe- und Cr/Ni-Verhältnisse in den Gläsern und in einem EK-Tektiten sind ebenfalls mit dieser Hypothese vereinbar<sup>8</sup>.

Exkursionen zum Bosumtwi-Krater, die 1963 von GENTNER, LIPPOLT, MONOD und SMIT und 1964 von CHAO durchgeführt wurden, erbrachten größere Mengen von Kraterglas, welche weitergehende Messungen ermöglichten<sup>12</sup>.

GENTNER, LIPPOLT und MÜLLER hatten mittels RÖNTGEN-Fluoreszenz gezeigt, daß der von ihnen untersuchte EK-Tektit ein wesentlich kleineres Rb/Sr-Verhältnis (0,20) hat als andere Tektite<sup>1</sup>, deren Rb/Sr-Verhältnisse zwischen 1,1 und 0,44 liegen. Ihre Messungen zeigen weiterhin, daß die Rb/Sr-Verhältnisse der beiden Kratergläser ebenfalls nied-

<sup>1</sup> C. C. SCHNETZLER u. W. H. PINSON, *Geochim. Cosmochim. Acta* **28**, 953 [1964].

<sup>2</sup> L. CAHEN, *Ann. New York Acad. Sci.* **91**, 535 [1961].

<sup>3</sup> N. R. JUNNER, *Gold Coast Geol. Survey Bull.* **8**, 5 [1937].

<sup>4</sup> M. MACLAREN, *Geograph. J.* **78**, 270 [1931].

<sup>5</sup> H. P. T. ROHLEDER, *Centr. Bl. Min. Geol. Paläont.* 316 [1934].

<sup>6</sup> J. LITTLER, J. J. FAHEY, R. S. DIETZ u. E. C. T. CHAO, *Bull. Geol. Soc. Amer. Special papers* **68**, 218 [1962].

<sup>7</sup> A. SCHÜLLER u. J. OTTEMANN, *Neues Jahrb. Mineral. Abhandl.* **100**, 1 [1963].

<sup>8</sup> W. GENTNER, H. J. LIPPOLT u. O. MÜLLER, *Z. Naturforsch.* **19 a**, 150 [1964].

<sup>9</sup> A. EL GORESY, *Geochim. Cosmochim. Acta* **28**, 1881 [1964].

<sup>10</sup> A. COHEN, *J. Geophys. Res.* **66**, 2521 [1961].

<sup>11</sup> J. ZÄHRINGER, *Radioactive Dating*, Intern. Atomic Energy Agency, 289, Wien 1962.

<sup>12</sup> A. F. G. SMIT, *Nature* **203**, 179 [1964].



rig sind und für das eine Glas nahezu identisch ist mit dem des Tektiten. Dadurch stellte sich die Frage, ob diese Übereinstimmung auch für andere EK-Tektite besteht und ob die  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Isotopen-Verhältnisse ebenfalls eine Verknüpfung von Kraterglas und Tektiten andeuten. Nehmen wir an, daß die Kratergläser tatsächlich Schmelzungsprodukte präkambrischer Gesteine sind, deren Alter nicht wesentlich verschieden waren, so sollte sich das in den  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnissen widerspiegeln, falls die Rb/Sr-Verhältnisse der originalen Gesteine verschieden waren. Der Zuwachs an radiogenem Strontium 87 während der letzten 1,3 Millionen Jahren ist für diese Proben jedoch zu klein, um gemessen zu werden.

Zur Beantwortung der obigen Fragen erhielten wir von GENTNER (Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg) zwei Kratergläser vom Buonim- und vom Ata-Tal des Kraters und von CHAO (U. S. Geological Survey, Washington) eine andere Glasprobe des Atafuflusses und drei Proben von Elfenbeinküsten-Tektiten-Glas sowie eine Tonschieferprobe aus dem Kratergebiet. Die Tektite waren mit 364, 764 und 1064 bezeichnet, das Kraterglas mit BCC 8a64, der Schiefer mit BCC 964.

### Experimente

Wir bestimmten die Rb- und Sr-Gehalte dieser Proben sowie die  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnisse nach dem Isotopenverdünnungsverfahren unter Verwendung von  $\text{Rb}^{87}$ - bzw.  $\text{Sr}^{84}$ -Spike. Bei Verwendung von  $\text{Sr}^{84}$ -Spike kann man Gehalt und isotopische Zusammensetzung gleichzeitig messen<sup>13</sup>. Die Messungen wurden mit einem 30 cm einfachfokussierenden Massenspektrometer durchgeführt. Der Ionennachweis erfolgte mittels Elektronenmultiplier. Als Heizfadenmaterial wurde oxydiertes Ta verwendet. Für die wichtigsten Proben wurde die isotopische Zusammensetzung außerdem an einem Bruchteil der ungespikten Lösung in einem gesonderten Experiment bestimmt. Alle Resultate sind zu  $\text{Sr}^{86}/\text{Sr}^{88}=0,1194$  normalisiert. Die Bestimmung der Gehalte an Rb und Sr ist genauer als 2%, die  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnisse sind genauer als 2 Teile in

Probe	Einwaage mg	$\left(\frac{\text{Sr}^{87}}{\text{Sr}^{86}}\right)_c$	Sr ppm	Rb ppm	$\frac{\text{Rb}^{87}}{\text{Sr}^{86}}$
Buonim A	172	0,7327 0,7330 c	236	78,9	0,970
Buonim B	31	0,7252	104	26,1	0,726
	32	0,7249	101	28,7	0,824
Buonim C	191	0,7165	47,2	9,6	0,587
Buonim GG	2120	0,7335	243	79,8	0,951
Ata A	173	0,7168 0,7165 c	349	64,7	0,538
Ata B	196	0,7187	197	38,9	0,572
Ata C I	275	0,7154	349	64,5	0,534
II	244	0,7152	353	65,3	0,535
EKT 364 I	135	0,7222 0,7225 c	305	60,4	0,573
II	120	0,7219	300	59,1	0,570
EKT 764 I	121	0,7260 0,7257 c	257	73,0	0,833
II	57	0,7247	252	73,4	0,842
EKT 1064 I	77	0,7221 0,7210 c	296	58,4	0,573
Tonschiefer	1038	0,7028	523	22,3	0,124

Tab. 1. Rubidium-Strontium-Messungen an Gläsern vom Bosumtwi-Krater und von Elfenbeinküsten-Tektiten.

700. Alle Proben wurden zuerst in verdünnter Salzsäure gewaschen und anschließend mittels Perchlorsäure und Flußsäure gelöst. Dann wurde der Spike hinzugefügt und die Lösung eingedampft. Die Trennung von Rb und Sr erfolgte mit einer Ionenaustauschersäule. Leerversuche ergaben 5 bzw.  $1 \cdot 10^{-9}$  g Sr und Rb. Selbst bei den Proben mit kleiner Einwaage und kleinen Gehalten war die gemessene Menge 500-mal größer als im Leerversuch. Um unsere Werte an solche anderer Laboratorien anschließen zu können, wurden Meerwasserproben aus dem Nordatlantik gemessen. Wir erhielten 0,7074 und 0,7086, während der Mittelwert aus der Arbeit von FAURE<sup>14</sup>  $0,7093 \pm 0,0005$  ist, d. h. unsere Werte liegen etwas unter diesem Mittelwert.

Die Ergebnisse sind aus der Tabelle und aus dem Diagramm 1 ersichtlich. Das Diagramm ist ein Rb-Sr-Entwicklungsdiagramm<sup>15-17</sup>. In ihm liegen Proben gleichen Alters und gleicher ursprünglicher Sr-Zusammensetzung auf einer Geraden, falls sie ein für Rb und Sr geschlossenes System gebildet haben.

<sup>13</sup> G. J. WASSERBURG, T. WEN u. J. ARONSON, *Geochim. Cosmochim. Acta* **28**, 407 [1964].

<sup>14</sup> G. FAURE, P. M. HURLEY u. J. L. POWELL, *Geochim. Cosmochim. Acta* **28**, 209 [1965].

<sup>15</sup> W. COMPTON u. P. M. JEFFREY, *Nature* **184**, 1792 [1959].

<sup>16</sup> L. O. NICOLAYSEN, *Ann. NY Acad. Sci.* **91**, 198 [1961].

<sup>17</sup> M. A. LANPHERE, G. J. WASSERBURG, A. L. ALBEE u. G. R. TILTON, *Isotopic and Cosmic Chemistry* 1963, North-Holland Publ. Company, Amsterdam.

Die Steigung dieser Geraden ist ein Maß für das Alter der Proben, der Schnittpunkt mit der  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Achse gibt das ursprüngliche Isotopenverhältnis.

Das Diagramm enthält weiterhin zwei von SCHNETZLER, PINSON und FAIRBAIRN veröffentlichte Daten von Elfenbeinküsten-Tektiten<sup>18</sup>.

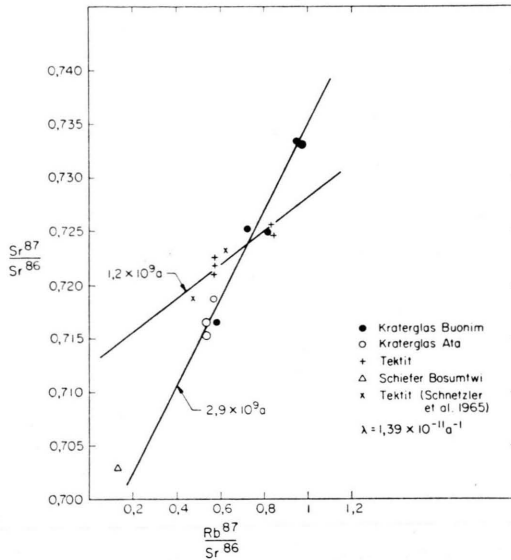


Abb. 1. Die isotopische Sr-Zusammensetzung von Elfenbeinküsten-Tektiten und Gläsern vom Bosumtwi-Krater.

### Die Proben

*Probe Buonim A* bestand aus einem Pulver ( $\phi$  0,1 mm), das durch Zerschlagen von mehreren cm großen Glasstücken und Aussieben der gewünschten Fraktion gewonnen war. Dabei wurde sorgfältig jede Verunreinigung mit nichtglasigem Material vermieden. Die Messungen ergaben 236 ppm Sr und 79 ppm Rb. Der Rb-Wert ist wesentlich niedriger als der von GENTNER, LIPPOLT und MÜLLER gefundene Wert von 127 ppm. Mit dem neuen Wert folgt ein Rb/Zr-Verhältnis von 0,51, das sich nun ohne weiteres zu den Rb/Zr-Werten für Glas Ata und den EK-Tektit fügt (0,45 bzw. 0,39). Um jeglichen Zweifel über den richtigen Rb-Gehalt auszuschließen, nahmen wir ein frisches ca. 2 g schweres Stück des Buonim-Glases, wuschen es in verdünnter Säure und brachten es in Lösung (BGG). Wir erhielten 80 ppm

Rb und 243 ppm Sr. Aus Dünnschliffen des un bearbeiteten Buonim-Glases konnten wir sehen, daß im Glas Buonim noch eine andere seltene glasige Komponente vorhanden war. Wir versuchten daher eine Schweretrennung und fanden in diesem Gesteinspulver zwei Nebenkomponten, eine schwerere Komponente (Buonim B) zu etwa 1 Gew.-Proz. und eine leichtere (Buonim C) zu etwa 10%. Durch Zerschlagen eines neuen Stückes des Glases und anschließende Schweretrennung versicherten wir uns, daß dieses andersartige Glas wirklich im Glas Buonim war und nicht eine Verunreinigung darstellte. Diese selteneren Gläser ergaben niedrigere Rb- und Sr-Werte und auch andere Rb/Sr-Verhältnisse (Faktor 1,6). Das zeigt, daß das Glas Buonim im kleinen Maßstab nicht homogen ist.

*Probe Ata A* bestand aus einem groben ( $\phi$  1 mm) Pulver braun-grünen Glases, das durch Herauspräparieren von bis zu cm großen glasigen Einschlüssen aus der Wirtsbrekzie gewonnen worden war. Mit schweren Lösungen konnte daraus eine leichtere und hellere Fraktion abgetrennt werden: Ata B.

*Probe Ata C* ist die von CHAO an anderer Stelle im Ata-Tal entnommene Probe braunen Glases, das wir sehr sorgfältig unter dem Mikroskop von nichtglasigem Material befreit haben. Es zeigte sich, daß dieses Glas nahezu die gleichen Rb- und Sr-Gehalte hat wie Probe Ata A.

Für die Tektitenversuche wurden die Lösungen in zwei Aliquoten geteilt, um an einem die Konzentration und Komposition und am anderen nur die Komposition der Probe allein zu bestimmen (I). Von den Proben 364 und 764 wurde jeweils noch ein zweites Stück gelöst und die ganze Lösung gespikt (II).

### Verdampfungs-Experiment

Im Zusammenhang mit der Tektitenbildung ist die Frage interessant, wie sich bei Schmelzen und Verdampfen von Silikatmaterial das Rb/Sr-Verhältnis ändert. Von verschiedenen Gruppen<sup>19-21</sup> ist die Verdampfung von Alkalien im Vakuum und unter Atmosphärendruck experimentell untersucht worden. Wir führten ein kurzes Vakuumexperiment durch.

<sup>18</sup> C. C. SCHNETZLER, W. H. PINSON u. H. W. FAIRBAIRN, Trans. Geophys. Union **46**, 118 [1965]. — Ein vollständiger Bericht über diese Arbeit wird in Science (1966) veröffentlicht werden.

<sup>19</sup> I. FRIEDMAN, A. THORPE u. F. E. SENFTLE, Nature **187**, 1089 [1960].

<sup>20</sup> J. F. LOVERING, Nature **186**, 1028 [1960].

<sup>21</sup> L. S. WALTER u. M. K. CARRON, Geochim. Cosmochim. Acta **28**, 937 [1964].

Wir schmolzen 5,6 g eines Mikroklinkristalls, der 558 ppm Rb und 95,5 ppm Sr aufwies, und erhöhten dann die Temperatur bis zu etwa 2000 °C. Das abgedampfte Material wurde mittels eines Quarzzyllinders, der über den Tiegel reichte, aufgefangen. Der erste Versuch erbrachte 510 µg Rb und, verglichen mit dem Leerversuch dieses Experiments, kein Sr (0,5 µg).

Der zweite Versuch am selben Material ergab 190 µg Rb und wieder kein Sr. Das Schmelzgut wog 4,3g und hatte einen Rb-Gehalt von 523 ppm und einen Sr-Gehalt von 93,8 ppm. Während das Ausgangsmaterial ein Rb/Sr-Verhältnis von 5,84 aufwies, hatte die Schmelze nur noch den Wert 5,58. Die beiden Evaporate müssen Rb/Sr-Verhältnisse gehabt haben, die größer als 1160 bzw. 442 waren. Dieses Experiment deutet darauf hin, daß bevorzugte Verdampfung von Rb eine etwaige Isochrone des Schmelzgutes steiler macht. Das setzt jedoch voraus, daß überall derselbe Prozentsatz von Rb verloren geht. Andererseits würde eine Isochrone der Evaporate flacher aussehen.

### Diskussion

Die isotopische Zusammensetzung des Sr einer Probe kann von Nutzen sein, wenn die Herkunft des Materials bestimmt werden soll. Die darauf gegründeten Schlüsse brauchen jedoch nicht stichhaltig zu sein, wie z. B. CRAIG<sup>22</sup> für den Fall des Kohlenstoffs dargelegt hat.

Wir beschränken hier unsere Diskussion dieser Frage auf die Bosumtwi-Kratergläser und Elfenbeinküsten-Tektite. Sie berührt jedoch auch die von SCHNETZLER und PINSON<sup>1</sup> erzielten Resultate an den anderen Tektiten.

Die EK-Tektite weisen eine beträchtliche Anreicherung (ca. 3%) von Sr<sup>87</sup> auf, verglichen mit einer Großzahl eruptiver Gesteine und den Anfangsgehalten in Graniten während der letzten zwei Milliarden Jahre<sup>23, 24</sup>. Vorläufige Ergebnisse von PINSON und BOTTINO<sup>25</sup> an Obsidianen zeigen einen ziemlich weiten Bereich für das Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup>-Verhältnis, jedoch steht die Klärung dieser Frage noch aus. Werte um 0,725 liegen anscheinend außerhalb des Bereichs, den man für die Anfangsverhältnisse von Eruptivgesteinen

findet, welche kein Krustenmaterial hohen Alters oder hohen Rb/Sr-Verhältnisses (Zeit·Rb/Sr) aufgenommen haben. Wie früher von SCHNETZLER und PINSON dargelegt wurde, ist ein solches Verhältnis deutlich verschieden von denen in Steinmeteoriten, obwohl eine Mischung von chondritischem und „normalem“ irdischem Material solche Verhältnisse hervorbringen könnte<sup>1</sup>. Wir schließen deshalb aus unseren Messungen, daß die Kratergläser und die Tektite Einschmelzungsprodukte von irdischem Krustenmaterial sind, hervorgerufen durch einen Meteoriteneinschlag. Die Möglichkeit, daß dieser Schmelzprozeß vulkanischen Ursprungs ist, erscheint nach der Entdeckung von Coesit in einer der Kraterbrekzien<sup>6</sup> als unwahrscheinlich, da nach der derzeitigen Auffassung Coesit und Drucksuturen<sup>5</sup> nur in meteoritischen Einschlägen vorkommen.

Eine Schiefer-Probe aus dem Kratergebiet wurde gemessen, um zu sehen, ob sie als etwaiges Ausgangsmaterial für die Gläser in Frage kommen kann. Das Sr<sup>87</sup>/Sr<sup>86</sup>-Verhältnis (0,7028) war jedoch deutlich zu klein. Dieser Schiefer könnte nur der Ursprung der Kratergläser oder der Tektite sein, wenn partielle Schmelzung einer radiogenen Phase des Gesteins eine wichtige Rolle spielte. Eine ausführliche Suche nach anderen möglichen Ausgangsmaterialien innerhalb des Bosumtwi-Gebietes ist dringend nötig.

Wären die Kratergläser und die Tektite das Ergebnis vollständiger Schmelzung von Teilen eines Gesteins oder von Teilen einer kogenetischen Folge von Gesteinen, dann sollten die Meßergebnisse eine Gerade im Sr-Entwicklungsdiagramm definieren, welche das Alter dieser Gesteine festlegt, jedoch nicht den Zeitpunkt der Tektiten- und Glasbildung. Da jedoch eine beträchtliche Elementfraktionierung stattgefunden haben könnte, kann man die Ergebnisse nur sehr schwer an Hand des Rb-Sr-Entwicklungsdiagramms interpretieren, und nach dem Ausgleichsverfahren eine Gerade durch die Punkte zu legen ist sehr gefährlich<sup>1</sup>. Nehmen wir an, daß die EKT durch vollständige Schmelzung verschiedener Phasen einer Suite kogenetischer Gesteine entstanden sind, und zwar ohne Fraktionierung von Rb und Sr, dann können wir innerhalb der analytischen Fehler sagen, daß deren Alter zwischen 0,8 und 1,8 Milliarden Jahren liegen sollte. SCHNETZLER, PINSON und FAIRBAIRN hatten dafür aus ihren Ergebnissen  $2 \cdot 10^9$  a

<sup>22</sup> H. CRAIG, *Econ. Geol.* **48**, 600 [1953].

<sup>23</sup> G. FAURE u. P. M. HURLEY, *J. Petrol.* **4**, 31 [1963].

<sup>24</sup> C. E. HEDGE u. F. G. WALTHALL, *Science* **140**, 1214 [1963].

<sup>25</sup> W. H. PINSON u. M. L. BOTTINO, *Geol. Soc. Amer. Program of 1961 Meeting*, 122 A—123 A.



abgeschätzt<sup>18</sup>. Mit denselben Annahmen folgt für die Kratergläser ein Bereich von 2,4 bis 3,2 Milliarden Jahren. Da die Punkte für die Ata-Gläser innerhalb des Bereichs liegen, der durch die verschiedenen Buonim-Gläser definiert ist, scheint für diese beiden Glasvorkommen die obige Annahme erfüllt. Es ist jedoch zu bemerken, daß jede mögliche Isochrone durch die Punkte der Kratergläser einen sehr niederen Schnittpunkt mit der  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Achse hat, z. B. 0,696 für die Gerade im Diagramm. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem für Achondrite und läßt vermuten, daß ein chemischer Prozeß die Steigung der „Isochronen“ beeinflusst hat.

Alterbestimmungen an post-Birrimian Graniten und Pegmatiten und Modellalter von Bleiglanzen aus dem Elfenbeinküsten- und Ghana-Gebiet liefern ein Minimalalter von  $1,9 \cdot 10^9$  a für die Birrimian Sedimente<sup>2, 26, 27</sup>. Die Tarkwaian Sedimente sollten dagegen jünger sein. Obwohl eine spezielle Altersuntersuchung der Bosumtwi-Kratergesteine noch aussteht, können wir folgern, daß unsere eingrenzenden Sr-Modell-Alter der Kratergläser mit den regionalen Altern der Bosumtwi-Gesteine verträglich sind. Dieses Ergebnis zeigt, daß diese Gläser nicht durch eine bedeutende Beimischung junger Laven mit hohem Rb-Sr-Verhältnis zu aufgeschmolzenen alten präkambrischen Gesteinen entstanden sind.

Das Vorkommen verschiedener Dichtefractionen in derselben Probe des Buonim-Kraterglases besagt zusammen mit der beträchtlichen Variation des  $\text{Sr}^{87}/\text{Sr}^{86}$ - und des  $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Verhältnisses, daß bei der Bildung des Glases keine Homogenisierung zustande kam, nicht einmal in kleinem Maßstab ( $< \text{ca. } 1 \text{ cm}$ ). Andererseits ist das Material sehr gut entgast worden<sup>8</sup>. Es sollte auf jeden Fall geprüft werden, ob solche isotopische Inhomogenitäten auch innerhalb eines einzelnen EK-Tektiten auftreten.

Die Kratergläser und Tektite liegen in einer annähernd linearen Anordnung im Sr-Entwicklungsdiagramm. Alle  $\text{Rb}^{87}/\text{Sr}^{86}$ -Werte liegen niedriger als die Tektiten-Ergebnisse von SCHNETZLER und PINSON (mindestens Faktor 1,5) und zeigen, daß die EK-Tektite sich nicht nur in ihrem K-Ar-Alter<sup>12</sup>, sondern auch hinsichtlich der Rb-Sr-Gesetzmäßigkeiten von den anderen Tektiten unterscheiden. Da die Streuung der Ergebnisse an verschiedenen Proben jedoch außerhalb des experimentellen Fehlers liegt, können wir nicht folgern, daß diese Materialien den Voraussetzungen einer Rb-Sr-Isochrone genügen. Das Ergebnis läßt jedoch vermuten, daß zwischen den Kratergläsern und den EK-Tektiten eine genetische Beziehung besteht.

Die Tektite könnten durchaus Schmelzprodukte desselben Materials wie die Gläser sein. Blieben die

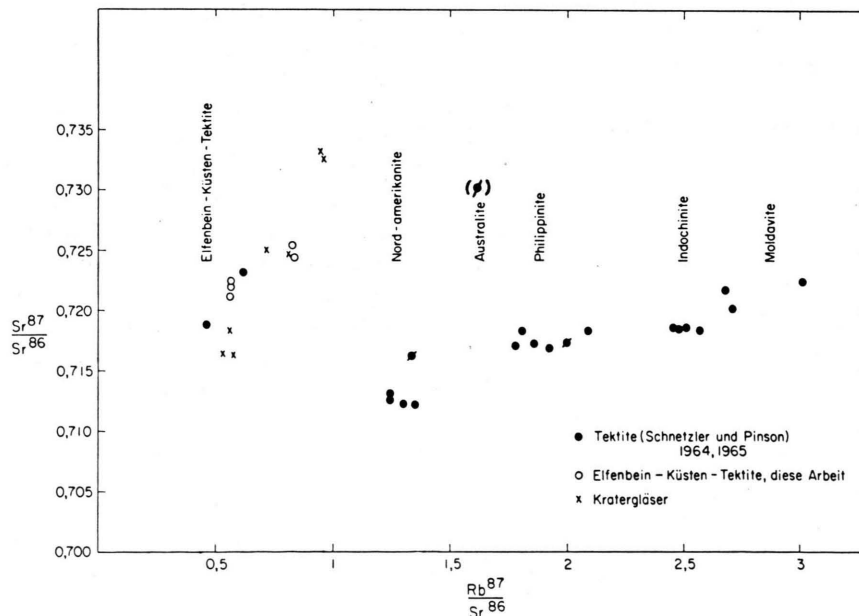


Abb. 2. Vergleich der Elfenbeinküsten-Tektite und Bosumtwi-Gläser mit anderen Tektiten hinsichtlich der Sr-Daten.

<sup>26</sup> M. BONHOMME, Ann. Faculté Sciences de L'Université Clermont, No. 5 [1962].

<sup>27</sup> M. VACHETTE, C. R. Acad. Sci. Paris **258**, 1569 [1964].

Gläser geschlossene Rb-Sr-Systeme während des Einschmelzens, und sind die Tektite von ähnlichem Ausgangsstoff abzuleiten, dann muß man jedoch Fraktionierung von Rb und Sr annehmen, um die Abweichung der Tektitenresultate von der „Isochrone“ der Gläser zu erklären. Demnach ist es nicht möglich, genauere Folgerungen aus unseren Messungen hinsichtlich des Ursprungs der EK-Tektite zu gewinnen.

nen. Es ist jedoch gesichert, daß eine deutliche Ähnlichkeit zwischen den Rb-Sr-Beziehungen beider Glasarten besteht.

Wir danken Professor W. GENTNER und Dr. E. T. C. CHAO für die Überlassung des Probenmaterials und Diskussion einschlägiger Fragen. Die Arbeit wurde unterstützt durch die National Aeronautics and Space Administration (NGR-05-002-028) und eine Beihilfe der National Science Foundation.

## Remarks on Lunar and Asteroidal Meteorites

K. SITTE

Max-Planck-Institut für Kernphysik, Heidelberg

(Z. Naturforschg. 21 a, 231—237 [1966]; received 23 December 1965)

Based on the experimental results of GAULT et al., and on the orbit calculations of ARNOLD, the relative strength of the contributions from impacts of bodies in solar orbit on the asteroids and on the moon has been estimated. It is concluded that the asteroidal belt accounts for at least a considerable fraction of all stony meteorites, but lunar impacts occurring at a rate of about one in a few  $10^5$  years cannot be ruled out. Small bodies produced in asteroidal collisions which remain orbiting in the belt, can escape from it as a result of repeated “elastic” collisions by multiple scattering. Their life time in the belt is only about  $1.4 \times 10^5$  years. Satisfactory values are found for the mass loss and for the replenishment of the debris in the asteroidal belt.

### I. Basic Data and Assumptions

The dominant view on the origin of stony meteorites is that they are part of the debris ejected in the impact of bodies in solar orbits on other members of the planetary system. But how and where they are ejected has long been a subject of controversy. As to the first, the experimental work of GAULT et al.<sup>1</sup> has provided most of the answers. In the following we shall make use of their data on the velocity dependence of the cumulative mass of the ejecta, on the height or range distribution of the fragment mass in lunar impacts (showing, in particular, that at a projectile velocity of 28 km/sec the total mass of the escaping fragments is about ten times that of the incident body), and of the relation between the mass  $\mu$  of all ejecta and the projectile mass  $m$ ,

$$\mu = b m^\beta \quad (1)$$

with  $\beta < 1$  because of the larger loss rate to irreversible processes at higher impact energies. The value  $\beta = 3/4$  appears to give the best fit to their data. We shall also refer to their observation that the mass of

the largest fragment ejected is roughly proportional to the projectile mass.

As to the place of origin of stony meteorites, the asteroidal belt has been favoured for a long time. Recently, however, the possibility of lunar origin at least of certain types — the bronzites, enstatites and pigeonites — has again been seriously discussed (ZÄHRINGER<sup>2</sup>, WÄNKE<sup>3</sup>). Their short exposure age can easily be explained on this basis but is hard to understand if a more distant source region is involved. For others like the hypersthènes and amphoterites whose exposure ages are in general significantly higher, this argument may not hold and the question must be raised whether these two groups of meteorites do not originate in different regions of space. In Section II of this note we shall attempt to derive an answer to this question from very general considerations. The problem will be treated in a crudely simplifying form only, but it is believed that the results do not depend critically on the approximations used.

Briefly, the argument can be put as follows: Although the nature of the projectiles impinging on

<sup>1</sup> D. GAULT, E. M. SHOEMAKER, and H. J. MOORE, NASA Technical Note D-1767, Washington, D.C. 1963.

<sup>2</sup> J. ZÄHRINGER, Meteoritika 1965, in press.

<sup>3</sup> H. WÄNKE, Berichte über Meteoritenforschung No. 74, Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz.